

FALAZOTT SZERKEZETEK MÉRETEZÉSE

- OKTATÁSI SEGÉDLET -

Pozsonyi Norbert
okl. szerkezet-építőmérnök
Wienerberger zRt. műszaki szaktanácsadó

A segédlet a 2013. november 19-én a SZE építész- és építőmérnök hallgatóinak tartott előadás melléklete. A kiadott anyag felhasználása kizárólag oktatási célra megengedett, egyéb felhasználás céljából a szerző hozzájárulása szükséges! Az itt szereplő képletekkel, eljárásokkal kapcsolatban a szerző felelősséget nem vállal. Kapcsolat: norbert.pozsonyi@wienerberger.hu; +36 30/459-4667

Győr, 2013. november 19.

TARTALOM

1.	A falazott szerkezetekkel kapcsolatos fogalmak	4
1.1.	A falazat alkotóelemei	4
1.1.1.	A falazóelem	4
1.1.2.	A kötőanyag	4
1.1.2.1.	A falazóhabarcs	4
1.1.2.2.	A ragasztóhab	5
1.2.	Kötési mód	5
1.3.	Falazóelemek átfedése	6
1.4.	A falazatok típusai	7
1.4.1.	Vasalatlan falazat	7
1.4.2.	Vasalt falazat	7
1.4.3.	Abronsolt falazat	8
1.5.	Falazatok méretezéséhez szükséges anyagjellemzők	8
1.5.1.	Falazóelem osztály	8
1.5.2.	Falazóelem-csoport	9
1.5.3.	Szilárdsági adatok	9
1.5.3.1.	A falazóelem nyomószilárdsága	9
1.5.3.2.	A falazóhabarcs nyomószilárdsága	9
1.5.3.3.	A falazat nyomószilárdsága	10
1.5.3.4.	A falazat nyírószilárdsága	11
1.5.3.5.	Falazat hajlítószilárdsága	13
1.5.3.6.	Wienerberger Porotherm Profi falazatok szilárdsági adatai	14
1.5.4.	A falazat alakváltozási jellemzői	15
1.5.4.1.	Feszültség-alakváltozás diagram	15
1.5.4.2.	Rugalmassági és nyírási modulusok, kúszás	15
1.5.4.3.	Nedvesség okozta duzzadás és hőtágulás	15
1.6.	Falazatok méretezésénél alkalmazott határállapotok	16
1.6.1.	Teherbírási határállapot - tartós tervezési helyzet	16
1.6.2.	Teherbírási határállapot - szeizmikus tervezési helyzet	17
1.6.3.	Használhatósági határállapot	17
1.6.4.	Tartósság	17

1.6.5.	A parciális tényező értékei	18
2.	Falazott szerkezetek szerkesztési szabályai	19
2.1.	Tetherhordó fal minimális keresztmetszete	19
2.2.	Mikor alkalmazzunk vasalatlan, vasalt vagy abroncsolt falazatot?	19
2.2.1.	A falazat típusának megválasztása	19
2.2.2.	Az épület tartószerkezeti rendszerének megválasztása	19
2.2.3.	Az egyes falazattípusokra jellemző szerkesztési szabályok	20
2.2.3.1.	Vasalatlan falazat	21
2.2.3.2.	Abronsolt falazat	21
2.2.3.3.	Vasalt falazatok	22
3.	Falazott szerkezet ellenőrzése ismert igénybevétel kombinációra	23
3.1.	Kiindulási adatok	23
3.1.1.	A fal geometriai adatai	23
3.1.2.	Igénybevételek	24
3.1.3.	Anyagjellemzők és biztonsági tényezők	24
3.1.4.	Külpontosságok a fal síkjára merőlegesen	25
3.1.5.	Külpontosságok a fal síkjában	26
3.2.	A vasalatlan fal ellenőrzése	27
3.2.1.	A fal ellenőrzése külpontos hajlításra	27
3.2.2.	A fal ellenőrzése nyírásra	27
3.3.	Koncentrált teherrel terhelt fal ellenőrzése	28
3.3.1.	Ellenőrzés pecsétnyomásra	28
3.3.2.	Ellenőrzés a falmagasság felében	29
4.	Idézett forrásmunkák	30

1. A FALAZOTT SZERKEZETEKEL KAPCSOLATOS FOGALMAK

Az EC6 megkülönböztet **falazatot és falazott szerkezetet**.

A **falazat** falazóelemből és kötőanyagból összeépített, homogénnek tekinthető test, viselkedését az alkotóelemek tulajdonságai és a kötési mód határozza meg. Tönkremenetele jellemzően szilárdsági okokra vezethető vissza.

A **falazott szerkezet** falazatból készített tartószerkezeti elem (pl. fal, pillér), melynek ellenállása függ a falazat mechanikai jellemzőitől, a falazott szerkezet méretétől és annak megtámasztási módjától. Tönkremeneteli módja szilárdsági ok (pl. elnyíródás) vagy stabilitásvesztés (pl. kihajlás) vagy ezek kombinációja.

1.1. A FALAZAT ALKOTÓELEMEI

1.1.1. A falazóelem

A falazott szerkezetek építéséhez használt elemek gyűjtőneve.

1.1.2. A kötőanyag

A kötőanyag biztosítja az elemek közötti erőátadást, mely lehet falazóhabarcs vagy ragasztóhab. A habarcs a falazóelemek méretepontatlanságainak kiegyenlítésére is szolgál.

1.1.2.1. A falazóhabarcs

A falazóhabarcs összetétel szerint lehet

- általános rendeltetésű falazóhabarcs - vastaghabarcs, csiszolatlan téglákhoz
- vékony rétegű falazóhabarcs - csiszolt téglákhoz
- könnyű (hőszigetelő) falazóhabarcs - kis hővezetési tényezőjű vastaghabarcs, csiszolatlan téglákhoz

Összetételének meghatározási módja szerint lehet

- tervezett összetételű falazóhabarcs
- recepthabarcs - jelölése az előírt összetevőkkel, pl. 1:1:5 cement-mész-homok térfogatarány

Előállítási módja szerint lehet

- gyári habarcs (előadagolt vagy előkevert) - EN 998-2 szerint
- félkész gyári habarcs - EN 998-2 szerint
- munkahelyi habarcs - EN 1996-2 szerint

A habarcsvastagság különböző habarcsok esetén:

- általános és könnyűhabarcsnál: 6,0 és 15,0 mm között
- vékony rétegű falazóhabarcsnál: 0,5-3,0 mm között

1.1.2.2. A ragasztóhab

Magyarországon 2009 óta van jelen a Wienerberger Zrt. **Porotherm Profi DRYFIX ragasztóhabja**, melyet a felfekvő felületein síkra csiszolt (Porotherm Profi) téglák kötőanyagaként használják. A DRYFIX technológia már nem a klasszikus értelemben vett falazóhabarcsot használja az egyes falazóelemek rögzítésére, hanem az erre a célra kifejlesztett **poliuretán alapú ragasztóhabot**. A kötőanyagot nem a teljes keresztmetszetben, csupán sávokban kell elhelyezni, ezzel a falazat hőszigetelése jelentősen javul. Mivel a ragasztóhab vizet nem tartalmaz, ezért a falazás télen, akár -5°C hőmérsékletig elvégezhető.



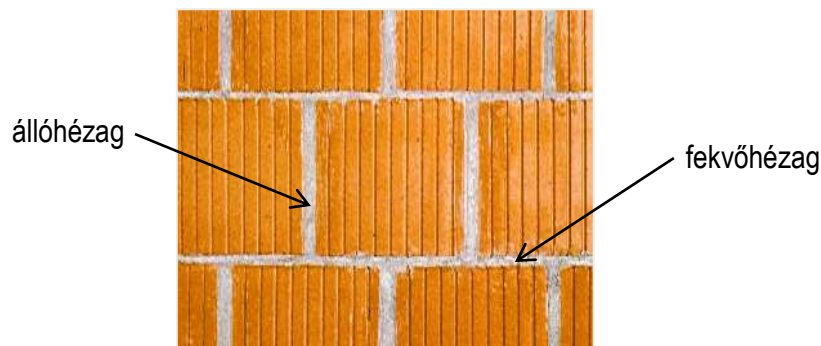
1. ábra: Porotherm Profi DRYFIX ragasztóhab [4]

Az EC6 nem ismeri a ragasztóhab fogalmát, de a szabvány 1.1.2 (2) bekezdése nem zárja ki az új építőanyagok, és a szokásostól eltérő körülmények alkalmazását. Ilyen esetekben a szabvány által megadott alapelvek és szabályok alkalmazhatók, és azokat a gyártó egészíti ki (lásd 1.5.3.6 pont).

1.2. KÖTÉSI MÓD

A **fekvőhézag** a falon végigfutó, általában vízszintes, a fő igénybevétel (nyomás) irányára merőleges habarcs hézag, fuga. A fekvőhézagba szokták tenni a kötőanyagokat, amiket általában teljes szélességében kell alkalmazni (kivétel pl. Porotherm DRYFIX ragasztóhab).

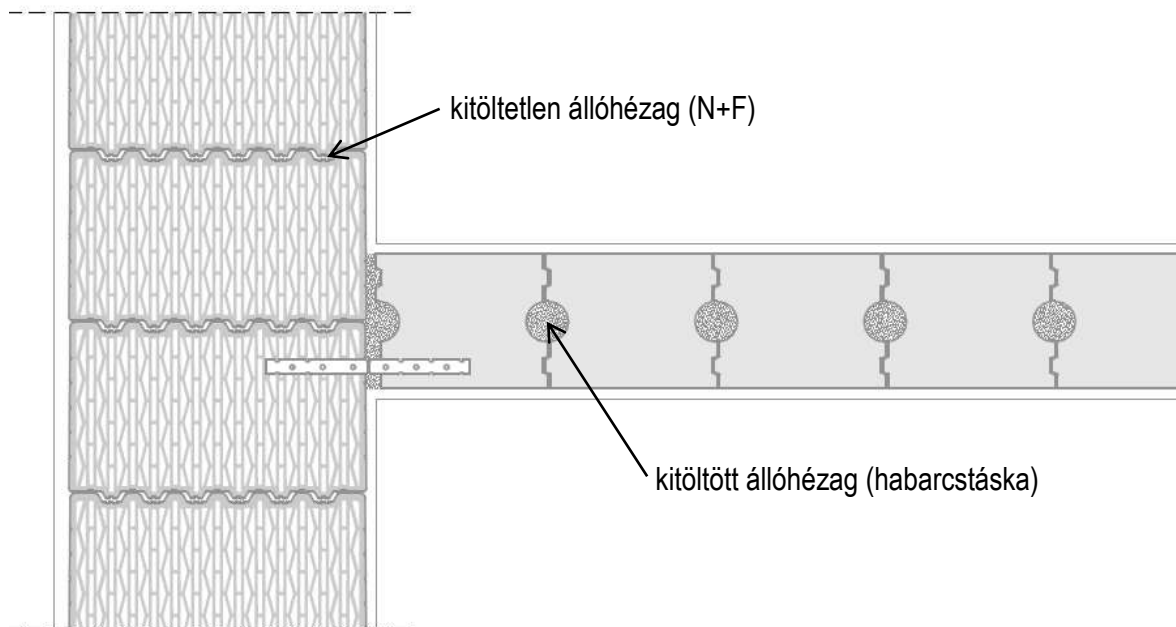
Az **állóhézag** általában függőleges, a fő igénybevétel (nyomás) irányával párhuzamos habarcs hézag. Az állóhézag a fal síkjával párhuzamosan is futhat (pl. 25 cm vastag kisméretű falazatnál). A hosszában végigfutó állóhézagot tartalmazó falazat nyomószilárdsága kedvezőtlenebb, mint a hosszhézag nélküli (lásd 1.5.3.1. fejezet).



2. ábra: álló- és fekvőhézag

A kötési mód lehet:

- **kitöltött állóhézag** - az érintkező függőleges felületek min. 40%-ában van habarcs pl. habarcstáskában (Wienerberger Porotherm pincetégla vagy Macuphon 20)
- **kitöltetlen állóhézag** - az elemek közötti függőleges kapcsolatot nem a habarcs, hanem **horony-eresztékes (nút-féderes=N+F)** kapcsolat biztosítja (pl. Wienerberger Porotherm 44 K)



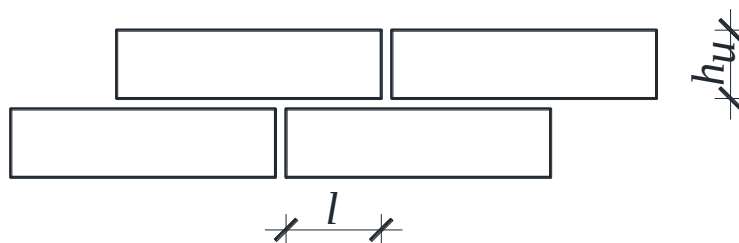
3. ábra: Porotherm 44 K homlokzati főfal és Macuphon 20 hanggátló fal csatlakozása [5]

1.3. FALAZÓELEMENK ÁTFEDÉSE

A falazóelemeket kötésben kell rakni az egymást követő sorokban úgy, hogy a fal egyetlen szerkezeti elemként működjön. **A falazóelemek l minimális átfedése a falazóelem h_u magasságának függvénye:**

$$h_u \leq 250 \text{ mm} \rightarrow l = \max \left\{ 0,4 h_u \right. \\ \left. 40 \text{ mm} \right\} \quad h_u > 250 \text{ mm} \rightarrow l = \max \left\{ 0,2 h_u \right. \\ \left. 100 \text{ mm} \right\}$$

249 mm magas Porotherm Profi csiszolt téglák esetén $l = 0,4 \cdot 249 \approx 100 \text{ mm}$



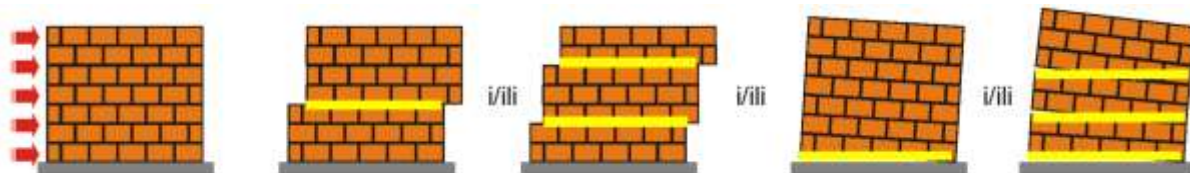
4. ábra: a falazóelemek átfedése

1.4. A FALAZATOK TÍPUSAI

Az EC6 és EC8 megkülönböztet **vasalatlan, vasalt és keretezett/abroncsolt falazatot**.

1.4.1. Vasalatlan falazat

Olyan falazat, ami nem tartalmaz elegendő vasalást ahhoz, hogy vasalt falazatnak lehessen tekinteni. Alkotóeleme **falazóelem + kötőanyag**.

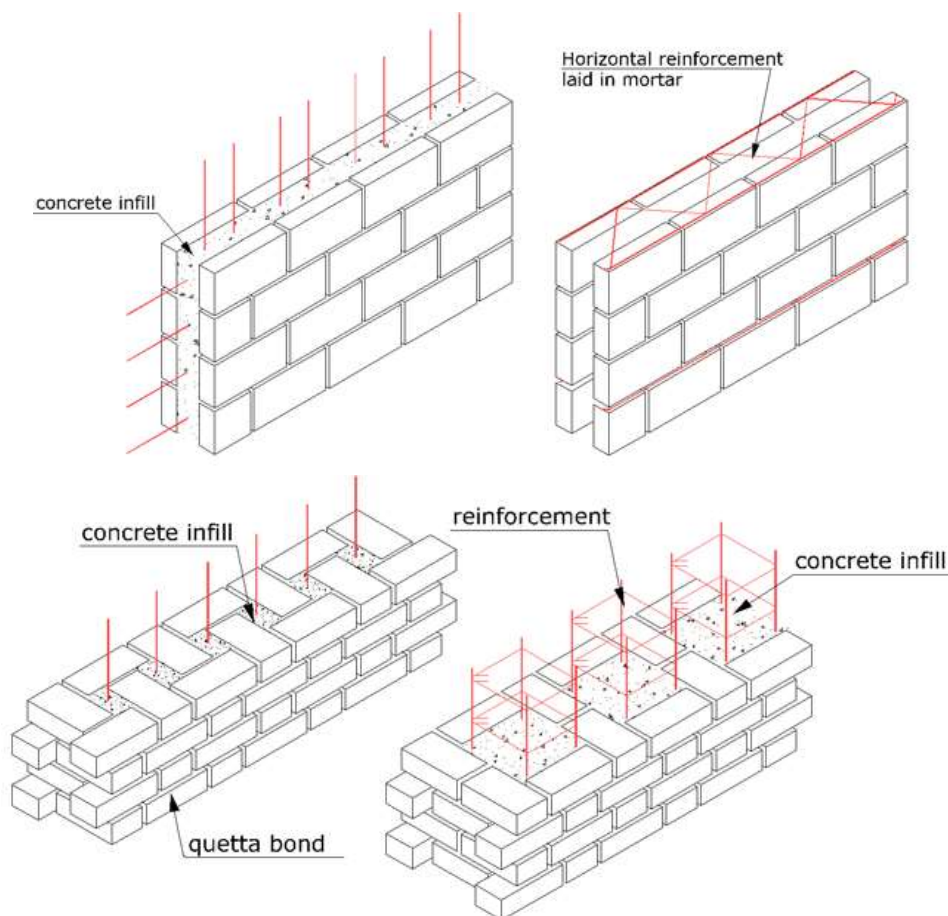


5. ábra: vasalatlan fal és erőjátéka vízszintes teherre [6]

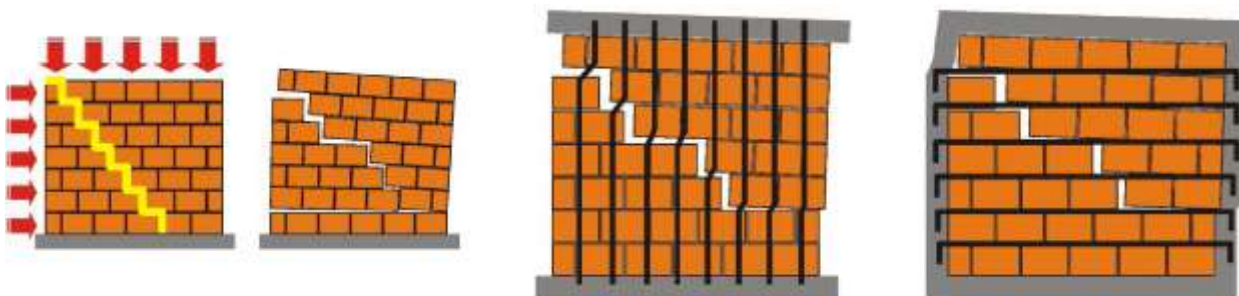
1.4.2. Vasalt falazat

Olyan falazat, amiben **habarcsba vagy betonba ágyazott acélbetét vagy háló** van beépítve úgy, hogy minden anyag együtt dolgozik és így áll ellen a terhelési hatásoknak. A megerősítés lehet **vízszintes** (fekvőhézagban), **függőleges** (pl.: habarcs táskákban vagy függőleges üregekben), vagy akár **mindkét irányú**.

A falazat alkotóeleme **falazóelem + habarcs/beton + vasalás**.



6. ábra: példák vasalt falazatokra [7]

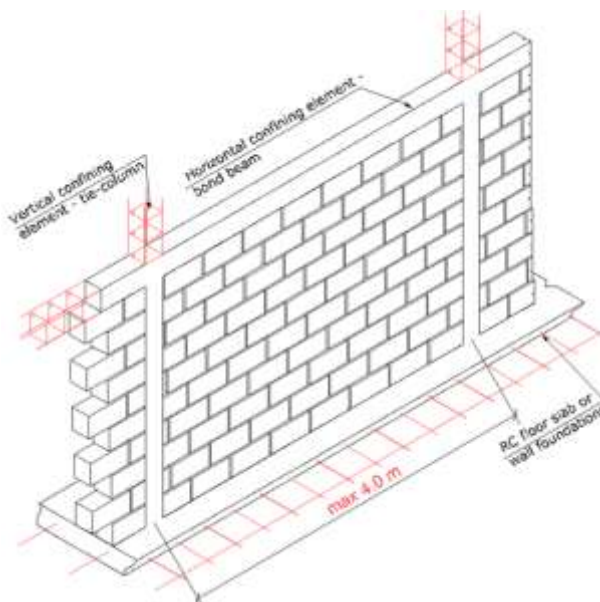


7. ábra: vasalt fal és erőjátéka vízszintes teherre [6]

1.4.3. Abroncsolt falazat

Az EC6 szerinti *keretezett falazatot* az EC8 *abroncsolt falnak* nevezni, amelybe a teherbírás növelése érdekében a falak csatlakozásánál vagy nyílások mellett **vízszintes és függőleges koszorúkat** (vasbeton vagy vasalt falazott közrefogó elemeket) építenek be, melyeket a szükséges távolságban a falba bekötnek. **A betonozás a fal elkészülte után történik**, ezzel is növelve ez együttműködést.

Alkotóeleme **falazóelem + kötőanyag + beton + vasalás**.



8. ábra: példa közrefogott/abroncsolt falazatra [7]

1.5. FALAZATOK MÉRETEZÉSÉHEZ SZÜKSÉGES ANYAGJELLEMZŐK

1.5.1. Falazóelem osztály

A falazóelemek az EC6 szerint 2 osztályba sorolhatók:

- I. falazóelem osztály: a gyártó a karakterisztikus szabványos nyomószilárdságot garantálja, melyet külső intézet által tanúsított üzemi gyártásellenőrzéssel szavatolnak
- II. falazóelem osztály: a gyártó az átlagos szabványos nyomószilárdságot garantálja, és nincs üzemi gyártásellenőrzés

Ezek az osztályok nem minőségi kategóriát jelentenek, hanem **a tervezéshez alkalmazandó biztonsági tényezők (lásd 1.6. fejezet) megállapításához szükségesek**.

1.5.2. Falazóelem-csoport

A falazóelemek az EC6 szerint 4 csoportba sorolhatók:

- 1. falazóelem-csoport (pl. pórusbeton, műkö és méretre vágott természetes kő)
- 2. falazóelem-csoport
- 3. falazóelem-csoport
- 4. falazóelem-csoport (vízszintes üregelésű falazóelemek)

Égetett agyagtermékek esetén az EC6 3.1 táblázata adja meg azokat a geometriai követelményeket (lyuktérfogat/teljes térfogat aránya, borda- és kéregvastagság), mely alapján a besorolást a gyártó elvégzi.

A falazóelemek 1-4. csoport szerinti besorolásával lehet figyelembe venni az elem geometriájának és üreghálójának a falazat szilárdságára gyakorolt hatását.

1.5.3. Szilárdsági adatok

A szilárdsági adatok az elem kontúrja által meghatározott **teljes elemfelületre vonatkoznak.**

1.5.3.1. A falazóelem nyomószilárdsága

A tervezéshez a falazóelem f_b szabványos nyomószilárdságára van szükség. I. falazóelem osztály szerint a gyártó ezt garantálja, II. falazóelem osztály esetén az f_{med} átlagos nyomószilárdsági értéket adja meg, és ezt a falazóelem geometriájától függő MSZ EN 772-1 szerinti δ alaktényezővel kell átszámítani:

$$f_b = f_{med} \cdot \delta \quad [N / mm^2]$$

A falazóelem nyomószilárdságára vonatkozó követelmények az EC6 3.6.1.2 (2) bekezdése szerint:

- általános rendeltetésű habarcs alkalmazása esetén $f_b \leq 75 N / mm^2$
- vékony rétegű falazóhabarcs alkalmazása esetén $f_b \leq 50 N / mm^2$

A falazóelem nyomószilárdságára vonatkozó követelmények az EC8 NA 9.2 pontja szerint:

- fekvőhézagra merőlegesen $f_b \geq 5 N / mm^2$, fekvőhézaggal párhuzamosan $f_{bh} \geq 2 N / mm^2$

1.5.3.2. A falazóhabarcs nyomószilárdsága

A falazóhabarcsokat az f_m nyomószilárdságuk alapján jellemezzük.

Jelölésük az M betűt követő, N/mm²-ben kifejezett nyomószilárdság, pl. M10.

A falazóhabarcs nyomószilárdságára vonatkozó követelmények az EC6 3.6.1.2 (2) bekezdése szerint:

- általános rendeltetésű habarcs alkalmazása esetén $f_m \leq 20 N / mm^2$ és $f_m \leq 2 \cdot f_b$
- könnyű (hőszigetelő) falazóhabarcs alkalmazása esetén $f_m \leq 10 N / mm^2$

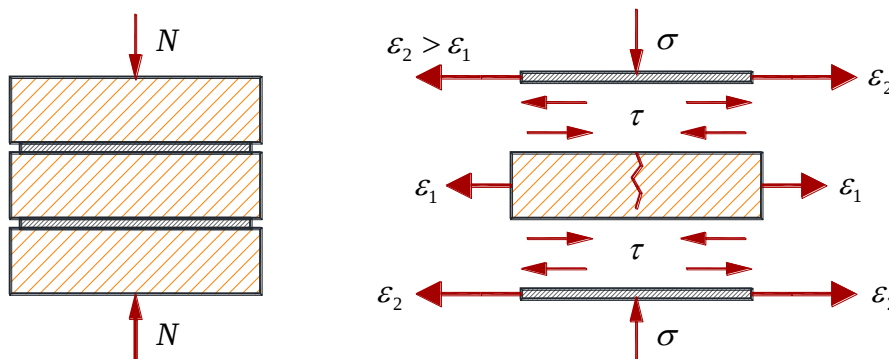
A falazóhabarcs nyomószilárdságára vonatkozó követelmények az EC8 NA 9.3 pontja szerint:

- vasalatlan és abroncsolt falak esetén $f_m \geq 1 N / mm^2$, vasalt fal esetén $f_m \geq 10 N / mm^2$

1.5.3.3. A falazat nyomószilárdsága

A falazatban a fekvőhézagra merőleges nyomás hatására a következő folyamat játszódik le:

- a falazóelemben és a habarcsban egyaránt nyomóerő keletkezik,
- a kisebb modulusú habarcs jobban összenyomódik, mint a falazóelem, a Poisson-hatás miatt a keresztirányú (vízszintes) alakváltozása nagyobb,
- a habarcs és a falazóelem keresztirányú alakváltozás-különbségét az elemek közötti súrlódás, húzási-nyírási ellenállás akadályozza, ezért a falazóelemben a nyomás irányával párhuzamos (függőleges) repedések keletkeznek.



9. ábra: a falazóelemben és a habarcsban keletkező igénybevételek nyomás hatására

A falazat teherbírása az alkalmazott falazóelem és habarcs jellemzőitől függ. **A falazat f_k karakterisztikus nyomószilárdsági értéke kísérlettel meghatározható, vagy a falazóelem (f_b) és a habarcs (f_m) szilárdsági adataiból számítható:**

- Általános rendeltetésű és könnyű falazóhabarcs esetén: $f_k = K \cdot f_b^{0,7} \cdot f_m^{0,3} \quad [N / mm^2]$
- Vékony rétegű falazóhabarcs, 1. vagy 4. falazóelem-csoportba tartozó égetett agyag falazóelem esetén:

$$f_k = K \cdot f_b^{0,85} \quad [N / mm^2]$$

- Vékony rétegű falazóhabarcs, 2. vagy 3. falazóelem-csoportba tartozó égetett agyag falazóelemnél:

$$f_k = K \cdot f_b^{0,7} \quad [N / mm^2]$$

Falazóelem		Általános rendeltetésű habarcs	Vékony rétegű habarcs (a fekvőhézag 0,5-3,0 mm között)	Könnyű habarcs térfogatsúly szerint	
				$600 \leq \rho_d \leq 800 \text{ kg} / m^3$	$800 < \rho_d \leq 1300 \text{ kg} / m^3$
Égetett agyagtermék	1. csoport	0,55	0,75	0,30	0,40
	2. csoport	0,45	0,70	0,25	0,30
	3. csoport	0,35	0,50	0,20	0,25
	4. csoport	0,35	0,35	0,20	0,25

1. táblázat: égetett agyagtermékből készülő falazatok K értékei különböző falazóelem-csoportok és falazóhabarcsok esetén

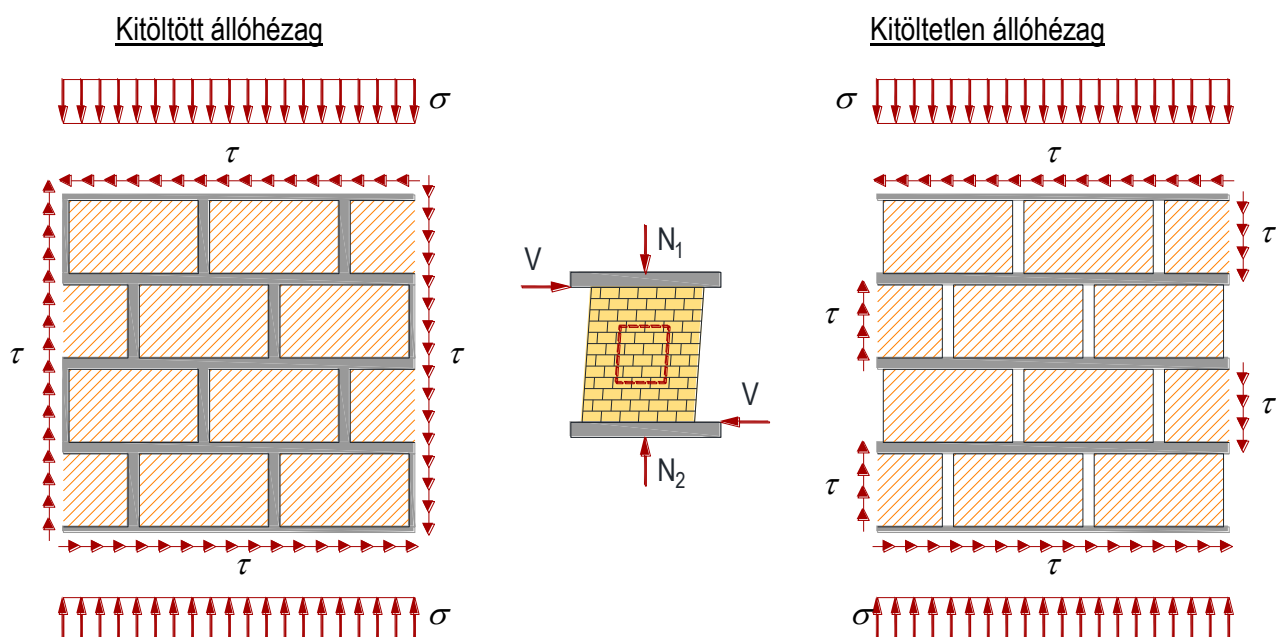
Falsíkkal párhuzamos habarcsréteget/állóhézagot tartalmazó falazat (pl. 25 cm vastag kisméretű falazat) esetén K értékét 0,8 szorzóval csökkenteni kell.

1.5.3.4. A falazat nyírószilárdsága

Vízszintes erő (pl. szél, földrengés) hatására a fal síkjában és a falsíkra merőlegesen nyírás keletkezik.

A fal síkjában működő (tárcsa jellegű) nyírás erőjátéka:

- A fal síkjában működő nyíróerőből nyírófeszültségek keletkeznek, ami a dualitás miatt bármely két egymásra merőleges (pl. függőleges-vízszintes) metszeten ugyanakkora.
- A „vízszintes” nyíróerőket a falazóelem és a fekvőhézagban lévő kötőanyag közvetíti.
- A „függőleges” nyíróerőket a falazóelem és az állóhézagban lévő kötőanyag közvetíti.
- Ha az állóhézag kitöltetlen (N+F falazat), a „függőleges” nyíróerő közvetítésében csak a kötésben elhelyezett falazóelemek vesznek részt.
- A falazaton a nyíróerő mellett általában függőleges nyomóerő is működik, ami a falazat nyírási teherbírását pozitívan befolyásolja.



10. ábra: nyírófeszültségek a falazatban kitöltött és kitöltetlen állóhézag esetén

A falazat f_{vk} karakterisztikus nyírószilárdsági értéke kísérlettel meghatározható, vagy a falazat kezdeti karakterisztikus nyírószilárdsága (f_{vk0}), a falazóelem szabványos nyomószilárdsága (f_b) és a vizsgált keresztmetszetben ébredő függőleges átlagos nyomófeszültség (σ_d) ismeretében számítható:

- kitöltött állóhézag (habarcstáskás falazat) esetén:

$$f_{vk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{vk0} + 0,4 \sigma_d \\ 0,065 f_b \end{array} \right\} \quad [N / mm^2]$$

- kitöltetlen állóhézag (N+F kapcsolat) esetén:

$$f_{vk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 f_{vk0} + 0,4 \sigma_d \\ 0,045 f_b \end{array} \right\} \quad [N / mm^2]$$

Falazóelem	Általános szilárdsági osztályú, általános rendeltetésű falazóhabarcs		Vékony rétegű habarcs (a fekvőhézag 0,5-3,0 mm között)	Könnyű falazóhabarcs
Égetett agyagtermék	M10 - M20	0,30	0,30	0,15
	M2,5 - M9	0,20		
	M1 - M2	0,10		

2. táblázat: égetett agyagtermékből készülő falazatok f_{vk0} értékei különböző habarcscok esetén

A fal síkjára merőleges (lemez jellegű) nyírás működik közvetlen szél- vagy földnyomásnak kitett falazaton. Jellegzetes tönkremeneteli mód a fekvőhézag mentén történő elcsúszás (pl. fal tetején, alján). Ellenőrzéskor a fekvőhézag menti elcsúszáshoz tartozó f_{vk0} kezdeti karakterisztikus nyírósilárdság használható.

Két fal sarok- vagy T-csatlakozásánál függőleges irányú nyíróerő is keletkezhet. A kapcsolat nyírósilárdságát kísérlettel lehet meghatározni, vagy ha pontos adat nem áll rendelkezésre, akkor a figyelembe vehető karakterisztikus nyírósilárdság az $f_{vk} = f_{vk0}$; $\sigma_d = 0$ leterhelő erő mellett.

Kitöltött és kitöltetlen állóhézagú falazat karakterisztikus nyírósilárdságának összehasonlítása

- A kitöltetlen állóhézag miatt a falazat f_{vk0} kezdeti nyírósilárdsága 50%-os értékkel vehető figyelembe.
- Kérdés: kijelenthetjük-e, hogy az N+F falazat f_{vk} karakterisztikus nyírósilárdsága 50 %-a egy hagyományos, habarcsrákás falazatnak?

Vizsgáljuk meg egy népszerű, 30 cm vastag, hagyományos habarccsal készülő falazat nyírási teherbírását kitöltött (habarcsrákás) és kitöltetlen (N+F) állóhézaggal:

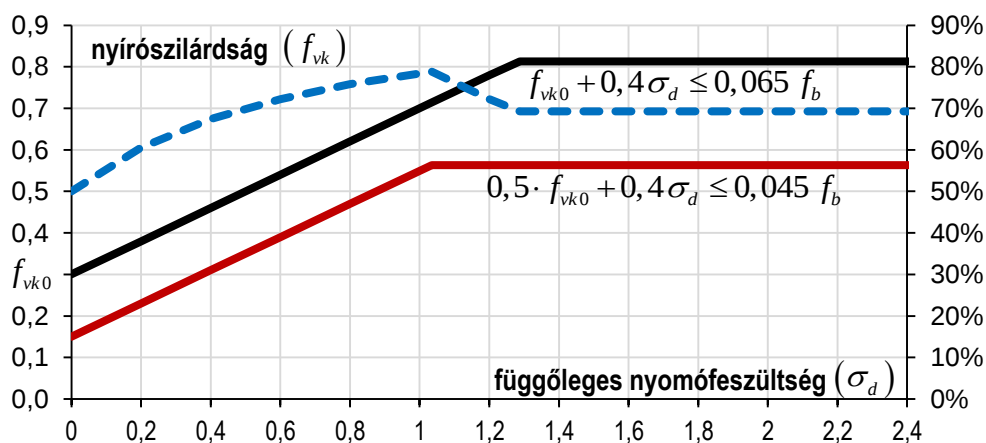
Falazat: POROTHERM 30 N+F + M10 falazóhabarcs

Falazóelem karakterisztikus nyomósilárdsága: $f_b = 12,51 \text{ N / mm}^2$ [5]

Falazat karakterisztikus nyomósilárdsága: $f_k = 5,26 \text{ N / mm}^2$ [8]

Falazat karakterisztikus nyírósilárdsága: $f_{vk0} = 0,30 \text{ N / mm}^2$ [8]

A falazat nyírósilárdsága a keresztmetszetre ható függőleges nyomófeszültség függvényében:



1. diagram: a falazat nyírósilárdsága kitöltött (—) és kitöltetlen (—) állóhézag esetén; a két érték aránya (- - -)

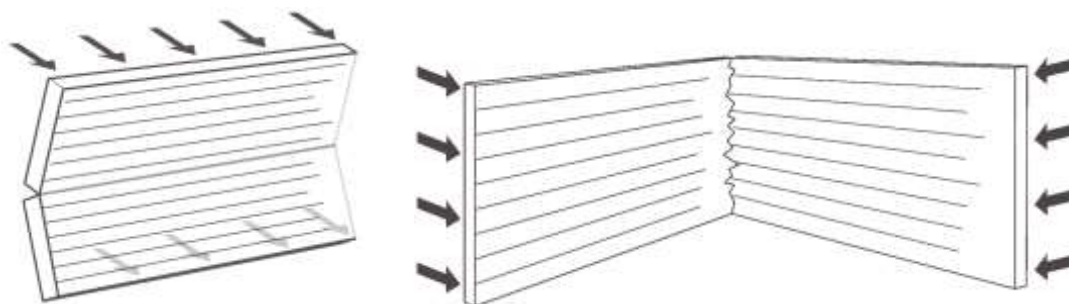
- Az f_{vk0} kezdeti nyírószilárdság aránya kitöltött/kitöltetlen állóhézag esetén 50%, de ezt még egy bizonyos mértékben ($\sim 1,0 \text{ N/mm}^2$ σ_d függőleges nyomófeszültségig) növeli a leterhelő erő.
- $1,0-1,3 \text{ N/mm}^2$ között a nyírószilárdságok aránya 70-80 %.
- $>1,3 \text{ N/mm}^2$ függőleges nyomófeszültség felett a nyírószilárdságok aránya $\sim 70\%$.
- A falazat tervezési nyomószilárdsága¹ $f_d = f_k / \gamma = 5,26 / 2,2 = 2,39 \text{ N/mm}^2$. Látható, hogy $\sim 40\%$ -os nyomási kihasználtság mellett alakul ki a falazatban a $\sim 1,0 \text{ N/mm}^2$ nyomófeszültség.
- Ez alapján megállapítható, hogy a kitöltetlen állóhézagú falazat kis leterhelő erőnél jelent 50 %-os nyírószilárdság-csökkenést, $\sim 40\%$ -os kihasználtság felett a csökkenés $\sim 30\%$ -os.

1.5.3.5. Falazat hajlítószilárdsága

Csekély függőleges terhelésű, a síkjára merőlegesen hajlított falak (pl. vázkitöltő falak, válaszfalak) csak hajlítási ellenállásuk révén tudják egyensúlyozni a terheket. A fal a hajlítás következtében kialakuló húzófeszültség vagy a fekvőhézagok nyírási teherbírásának kimerülése miatt megy tönkre.

A tönkremenetel módja alapján kétféle hajlítási ellenállást különböztetünk meg:

- **a fekvőhézaggal párhuzamos** tönkremeneteli síkhoz tartozó f_{xk1} karakterisztikus hajlítószilárdság
- **a fekvőhézagra merőleges** tönkremeneteli síkhoz tartozó f_{xk2} karakterisztikus hajlítószilárdság



11. ábra: fekvőhézaggal párhuzamos (f_{xk1}) és fekvőhézagra merőleges (f_{xk2}) tönkremeneteli mód [9]

A falazat hajlítószilárdságának f_{xk1} és f_{xk2} karakterisztikus értékét a falazaton végrehajtott kísérletek eredményeiből kell meghatározni, vagy ha nem áll rendelkezésre kísérleti adat, akkor az adatok az alábbi táblázatból felvehetők:

Égetett agyag falazóelem	Általános rendeltetésű falazóhabarcs		Vékony rétegű falazóhabarcs	Könnyű falazóhabarcs
	$f_m < 5 \text{ N/mm}^2$	$f_m \geq 5 \text{ N/mm}^2$	$f_m \geq 5 \text{ N/mm}^2$	$f_m \geq 5 \text{ N/mm}^2$
$f_{xk1} [\text{N/mm}^2]$	0,10	0,10	0,15	0,10
$f_{xk2} [\text{N/mm}^2]$	0,20	0,40	0,15	0,10

3. táblázat: égetett agyagtermékből készülő falazatok f_{xk1} és f_{xk2} értékei különböző habarcsok esetén

¹ A parciális tényező felvételét lásd 1.6. fejezetben.

1.5.3.6. Wienerberger Porotherm Profi falazatok szilárdsági adatai

A Wienerberger Porotherm Profi csiszolt téglák kétféle kötőanyaggal készíthetők:

- **Vékony rétegű falazóhabarcs** - az EC6 szerint egyszerűen számíthatók a falazat szilárdsági adatai. Ezzel a kötőanyaggal készülő falazatok adatai a műszaki adatlapokon a Profi oszlopban található.
- **DRYFIX extra ragasztóhab** - az EC6 nem ismeri a ragasztóval készített falazat fogalmát. Az ilyen kötőanyaggal készített falazat szilárdsági adatait a gyártó kísérlettel határozza meg, és az adatokat tervezési útmutatóban teszi közzé:

MŰSZAKI ADATOK (kötőanyag függően)		DRYFIX	Profi	habarcs	dimenzió
I. kategóriába tartozó LD égetett agyag falazóelem					
A TÉGLA JELLEMZŐI					
Hosszúság	l_u	250	250	250	mm
Szélesség (falazat vastagsága)	w_u	380	380	380	mm
Magasság	h_u	249	249	238	mm
TARTÓSZERKEZETI JELLEMZŐK					
Tégla deklarált nyomószilárdság	-	11	11	11	N/mm ²
Alaktényező	δ	1,15	1,15	1,138	-
Tégla szabványos nyomószilárdság	f_b	12,65	12,65	12,51	N/mm ²
Falazóelem csoport (MSZ EN 1996-1-1 szerint)	-	2.	2.	2.	-
Falazat karakterisztikus nyomószilárdsága	f_k	2,50	EC 6	EC 6	N/mm ²
Falazat karakterisztikus nyírószilárdsága	f_{vk0}	0,13	EC 6	EC 6	N/mm ²

12. ábra: a Porotherm 38 N+F műszaki adatlapja (részlet) [5]

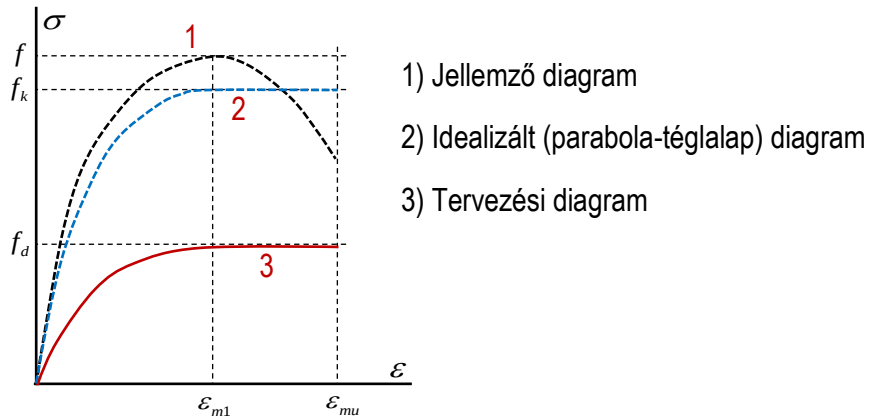
Falazóelemek	f_k, f_{vk0} és E ill. f_{ak1}, f_{ak2} értékek (N/mm ²) az EC 6 alapján, illetve méréssel							
	PTH Profi vékony-habarcs		PTH TM habarcs		M10 szilárdságú habarcs		M3 szilárdságú habarcs	
POROTHERM 44 T Profi	4,60 0,15	0,26 0,15			f_k f_{vk0}	f_{ak1} f_{ak2}		
POROTHERM 44 K	2,76 0,15	0,30 0,15	1,78 0,10	0,15 0,10				
POROTHERM 38 K	2,76 0,15	0,30 0,15	1,78 0,10	0,15 0,10				
POROTHERM 38 N+F	4,14 0,15	0,30 0,15			5,26 0,10	0,30 0,40	3,67 0,10	0,20 0,20
POROTHERM 30 N+F	4,14 0,15	0,30 0,15			5,26 0,10	0,30 0,40	3,67 0,10	0,20 0,20
POROTHERM 25 N+F	4,14 0,15	0,30 0,15			5,26 0,10	0,30 0,40	3,67 0,10	0,20 0,20
POROTHERM 38 Pince			2,81 0,10	0,15 0,10	6,23 0,10	0,30 0,40	4,34 0,10	0,20 0,20

13. ábra a gyártó a leggyakrabban alkalmazott falazóelem-kötőanyag párokra megadja a falazatok szilárdsági adatait [5]

1.5.4. A falazat alakváltozási jellemzői

1.5.4.1. Feszültség-alakváltozás diagram

A fekvőhézagra merőleges nyomáshoz tartozó $\sigma - \varepsilon$ diagram nemlineáris, de megengedhető, hogy a falazat keresztmetszetének méretezéséhez lineárisnak, parabolikusnak, parabola-téglalapnak vagy téglalapnak vegyük.



14. ábra: a falazat feszültség-összenyomódás diagramja

1.5.4.2. Rugalmassági és nyírási modulusok, kúszás

Az E rövid idejű rugalmassági modulusot kísérletekkel kell meghatározni, de pontosabb adatok hiányában a falazat f_k karakterisztikus nyomószilárdságának függvényében a következőképpen vehető fel:

$$E = K_E \cdot f_k \quad [N / mm^2] \quad 1$$

Lehajlás számításához az $E_{longterm}$ tartós rugalmassági modulus a rövid idejű modulusból származtatjuk a ϕ_∞ kúszási tényező végértékével csökkentve:

$$E_{longterm} = \frac{E}{1 + \phi_\infty} = \frac{E}{1 + 1,5} = \frac{E}{2,5} = E \cdot 40\% \quad [N / mm^2] \quad 2$$

A G nyírási modulus pontosabb adatok hiányában $\nu = 0,25$ Poisson-tényezőt feltételezve:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} = \frac{E}{2,5} = E \cdot 40\% \quad [N / mm^2]$$

1.5.4.3. Nedvesség okozta duzzadás és hőtágulás

Az EC6 NA4. táblázata alapján égetett agyagtermékek

- nedvesség okozta tartós duzzadása vagy zsugorodása: zérus
- hőtágulási együtthatója: $\alpha_t = 10^{-6} \quad [1 / K]$

¹ Égetett agyagtermékek esetén $K_E = 1000$, DRYFIX ragasztóhab esetén $K_E = 600$ [5].

² Égetett agyagtermékek esetén az EC6 NA4. táblázata alapján $\phi_\infty = 1,5$.

1.6. FALAZATOK MÉRETEZÉSÉNÉL ALKALMAZOTT HATÁRÁLLAPOTOK

A határállapotok vizsgálatánál a következő feltétel teljesülését kell igazolni: $E_d \leq R_d$, tehát a hatások tervezési értéke $\leq$ az ellenállások tervezési értéke.

Hatások - a hatások parciális tényezőit az MSZ EN 1990, a hatásokat az MSZ EN 1991 (EC1) szerint kell meghatározni. A szeizmikus terhek felvételét az EC8 szerint kell elvégezni, a falazatokra vonatkozó egyedi szempontokat, követelményeket az EC6 tartalmazza.

Falazott szerkezetek esetén vizsgálni kell:

- teherbírási határállapotot
- használhatósági határállapotot
- tartósságot

Ellenállások - a falazott szerkezetek ellenállásának meghatározásához szükséges parciális biztonsági tényezőket az EC6 tartalmazza. A γ_M parciális tényező a geometria és a modellezés bizonytalanságait tartalmazó anyagi biztonsági tényező. Értékét a tervező határozza meg az EC6 Nemzeti mellékletében található táblázatok alapján a következő paraméterek figyelembe vételével:

- a kivitelezés körülményei (képzett munkaerő),
- a minőségellenőrzés módja (független ellenőr, próbatestek, laboratóriumi vizsgálatok),
- falazóhabarcs típusa (gyári falazóhabarcs, recepthabarcs),
- hézagok habarcsstelítettsége,
- darabolt elemek minimális mérete (1/2 vagy 1/4),
- falazóelemek darabolási módja (gépi vagy kézi fűrészt),
- falazóelem osztálya (I. vagy II. osztály).

Az EC6 NB5. fejezet alapján a tervezésnél alkalmazott kivitelezési paramétereket a tervben meg kell adni.

1.6.1. Teherbírási határállapot - tartós tervezési helyzet

Teherbírási határállapotban szilárdsági tönkremenetel, stabilitásvesztés, helyzeti állékonyság elvesztésével szembeni biztonságot határozzuk meg.

Tartós tervezési helyzetben a **hatások** számításában nincs a falazott szerkezetekre vonatkozó egyedi jellemző, az MSZ EN 1990 és 1991 alapján lehet a terhek tervezési értékét alkalmazni:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$G_{k,j}$ a j-edik állandó hatás, $Q_{k,1}$ a domináns (kiemelt) esetleges hatás, $Q_{k,i}$ a többi esetleges hatás; γ_G és γ_Q az állandó és esetleges terhek parciális biztonsági tényezője; $\psi_{0,i}$ a nem domináns esetleges terhek egyidejűségi tényezője.

Az **ellenállások** oldalán a falazott anyagokra jellemző γ_M parciális tényezőt kell alkalmazni (lásd kivonatban az 4. táblázatban).

1.6.2. Teherbírási határállapot - szeizmikus tervezési helyzet

Szeizmikus tervezési helyzetben a **hatások** oldalán az **épület tömegének** számításánál az önsúlyteher alapértékével és a hasznos teher kvázi-állandó kombinációjával kell számolni:

$$G_{k,j} + \sum \psi_{E,i} \cdot Q_{k,i}$$

$\psi_{E,i}$ veszi figyelembe annak valószínűségét, hogy a hasznos terhek nincsenek a teljes értékükkel jelen a szerkezeten a földrengésteher alatt, számítása: $\psi_{E,i} = \varphi \cdot \psi_{2,i}$ ¹.

A teherkombináció:

$$G_{k,j} + A_{Ed} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

A_{Ed} a szeizmikus teher tervezési értéke², $\psi_{2,i}$ a kvázi-állandó egyidejűségi tényező.³

Szeizmikus helyzetben az **ellenállások** oldalán alkalmazott parciális tényezőket lásd a 1.6.5. fejezetben.

1.6.3. Használhatósági határállapot

A használhatósági határállapotok vizsgálatához minden anyag parciális tényezőjét $\gamma_M = 1,00$ lehet felvenni. **Az EC6 7. fejezetének szabályait alkalmazva elkerülhető a használhatósági állapot vizsgálata. Néhány fontosabb szabály:**

- Vasalatlan és közrefogott falazott szerkezetekben - ha a teherbírási határállapotok teljesülnek, a repedésekre és az alakváltozásokra vonatkozó használhatósági határállapotot nem szükséges külön ellenőrizni.
- Oldalirányban terhelt vasalatlan falszerkezetekben - ha a teherbírási határállapotok teljesülnek, és a falazat méreteit az EC6 F melléklete szerint korlátozzuk, a használhatósági határállapotot nem szükséges külön ellenőrizni.
- Koncentrált erővel terhelt falak - a teherbírási határállapotnak eleget tevő szerkezet a használhatósági határállapotokat is teljesíti.

1.6.4. Tartósság

A falazat anyagát úgy kell megválasztani, hogy a szerkezet tervezett élettartama során a környezeti hatásoknak károsodás nélkül ellenálljon. Az EC6 4. fejezete foglalja össze azokat a környezeti osztályokat, és az osztályokra vonatkozó előírásokat, melyek betartásával a falazat alkotóelemeinek tartóssága biztosítható. Részletes tervezési és beépítési útmutatásokat az MSZ EN 1996-2 tartalmaznak.

¹ $\psi_{2,i}$ értékei az MSZ EN 1990 alapján, az épület típusától függ (pl. lakóépületek esetén $\psi_{2,i} = 0,3$). φ értéke az esetleges hatások típusának és a szintek használata közötti kapcsolat függvénye (pl. lakóépületek, egymástól független használt szintek esetén $\varphi = 0,5$), lásd EC8 4.2 táblázata. Közelítésként felvehető $\varphi = 1$.

² $A_{Ed} = \gamma_I A_{Ek}$, ahol γ_I az épület kategóriájától függő fontossági tényező (lásd **Hiba! A hivatkozási forrás nem található..** fejezet).

³ A szél és hóteher esetén $\psi_{2,i} = 0$, ezért ezeket a hatásokat nem kell a szeizmikus terhekkel együtt figyelembe venni.

1.6.5. A parciális tényező értékei

Kivitelezési szempontok ¹ (X jelöli a teljesítendő követelményeket)		Besorolási osztály				
		1.	2.	3.	4.	5.
A munka felügyeletét az építési vállalkozó által alkalmazott, megfelelően képzett és tapasztalt személy végzi.		X	X	X	X	X
A munka ellenőrzését az építési vállalkozó alkalmazottaitól független, megfelelően képzett és tapasztalt személy végzi.		X	X	X		
A habarcs és a kitöltőbeton szilárdságának laboratóriumi ellenőrzése a helyszínen készített próbatesteken. ²		X	X			
Tervezett összetételű, gyári falazóhabarcsot kell használni.		X				
Helyszínen keverhető receptbeton és recepthabarcs is használható a falazáshoz.				X	X	X
A hézagok habarcselítettsége legalább ³		100%	100%	100%	90%	80%
Legkisebb falazóelem méret ⁴	Félméterű vagy annál nagyobb ⁵	X	X			
	Negyedméterű vagy annál nagyobb			X	X	X
Falazóelem darabolásának módja ⁴	Gépi	X	X			
	Kézi			X	X	X
Anyag		γ_M				
		1.	2.	3.	4.	5.
A készülő falazat	I. osztályú ⁶ falazóelem, tervezett összetételű habarcs	1,50	1,70	2,00	2,20	2,50
	I. osztályú falazóelem, recepthabarcs	1,70	2,00	2,20	2,50	2,70
	II. osztályú falazóelem, tetszőleges habarcs	2,00	2,20	2,50	2,70	3,00
Betonacél és feszítőacél		1,15				

4. táblázat: az EC6 NA1. táblázatának kivonata a γ_M értékeihez teherbírési határállapotban⁷

Tartós tervezési határállapotban javasolt értékek:

Általános körülmények között (I. osztályú falazóelem, tervezett összetételű habarcs és a kivitelezőtől független műszaki ellenőr alkalmazása) a következő értékek használhatók:

- falazatnál: $\gamma_M = 2,2$
- betonacélnál (vasalt/abroncsolt falnál): $\gamma_s = 1,15$

Szeizmikus tervezési határállapotban javasolt értékek:

- falazatnál: γ_M a tartós tervezési érték 2/3-a, de $\gamma_M \geq 1,5$
- betonacélnál: $\gamma_s = 1,00$

¹ Kivitelezési körülmények az MSZ EN 1996-2 szerint

² Habarcs előírásai az MSZ EN 998-2 szerint. A habarcs laboratóriumi ellenőrzése feleljen meg az MSZ EN 1015-2 és MSZ EN 1015-11 előírásainak. A beton feleljen meg az MSZ EN 206-1 és MSZ 4798-1 előírásainak. A beton vizsgálata az MSZ EN 12390 szerint történjen.

³ Az állóhézagok habarcselítettsége a termék beépítési útmutatója szerint.

⁴ A falazási mód a gyártó beépítési útmutatója szerint.

⁵ Elsősorban a gyári félméterű falazóelem használata javasolt.

⁶ Minden Porotherm termék az I. osztályú falazóelem osztályba tartozik (szűrített háttérrel jelölve).

⁷ A szabvány táblázatában még a betonacél lehorgonyzására, a kiegészítő elemekre és a kiváltókra további értékek találhatók.

2. FALAZOTT SZERKEZETEK SZERKESZTÉSI SZABÁLYAI

2.1. TEHERHORDÓ FAL MINIMÁLIS KERESZTMETSZETE

A falazat nyomószilárdságát csökkenteni kell, ha kicsi a keresztmetszete:

- A teherhordó fal minimális hasznos alaprajzi területe $A \geq 0,04 \text{ m}^2$ legyen, tetszőleges falhorony vagy falbeugrás figyelembevételével (ez min. $0,2 \times 0,2 \text{ m}$ keresztmetszetű falazott pillért jelent).
- Ha $A < 0,1 \text{ m}^2$ (pl. $0,3 \times 0,3 \text{ m}$ -es pillér), a falazat f_d tervezési nyomószilárdságát $(0,7 + 3A) < 1,00$ tényezővel szorozzuk.

2.2. MIKOR ALKALMAZZUNK VASALATLAN, VASALT VAGY ABRONCSOLT FALAZATOT?

Az EC6 és EC8 megkülönböztet **vasalatlan, vasalt és keretezett/abroncsolt falazatot**.

Az EC6 tartalmazza a falazatra és falazott szerkezetre vonatkozó szabályokat.

Az EC8 9. fejezete kiegészíti az EC6 előírásait, és ismerteti a falazott szerkezetű épületekre vonatkozókat.

Ennek megfelelően két irányból kell megvizsgálnunk a kérdést:

- Milyen legyen a falazatunk?
- Milyen legyen a tartószerkezeti rendszerünk?

2.2.1. A falazat típusának megválasztása

Az EC6 nem tartalmaz egyértelmű utasítást arra, hogy milyen körülmények határozzák meg azt, hogy milyen legyen egy épület falazatának típusa. A szabványban méretezési eljárásokat találunk a különböző típusú szerkezetek méretezéséhez.

Kézenfekvő és gazdaságos megoldás, ha elsősorban vasalatlan falazatban gondolkodunk és csak olyan falakat erősítünk meg (pl. abroncsolással), melyek nem felelnek meg az adott igénybevételre.

2.2.2. Az épület tartószerkezeti rendszerének megválasztása

Az Eurocode szabványok nem tartalmaznak egyértelmű utasítást arra, hogy milyen körülmények határozzák meg azt, hogy milyen legyen egy épület falazatának típusa.

Ha az épület földrengéssel szembeni állékonyságát számítás nélkül, szerkesztési szabályok betartásával szeretnénk igazolni (lásd EC8 9.7. fejezete), akkor a szerkesztési szempontok határozzák meg, hogy az adott szintszám és talajgyorsulás esetén milyen falazattípusok választhatók.

Falazott szerkezetekre vonatkozó javaslatok Dr. Dulácska Endre [10] szerint:

- Az 5. zónába¹ ne tervezzünk földszint + emeletnél magasabb vasalatlan falazatú épületet.
- A 4. zónába ne tervezzünk földszint + 2 emeletnél magasabb vasalatlan falazatú épületet.
- A 3. zónába ne tervezzünk földszint + 3 emeletnél magasabb vasalatlan falazatú épületet.
- Szobaméretű ablakkal (üvegfallal) a 4. és 5. zónába ne építsünk falazott épületet.

¹ Zónabeosztások lásd EC8 mellékletében szereplő térkép és táblázat.

- A falazott épületeknél mindig alkalmazzunk zárt rendszerű vasbetonkoszorút, jól átkötött sarokkialakításokkal.

Falazott szerkezetekre vonatkozó javaslatok Dr. Kegyes Csaba [11] szerint:

Jól kiegyensúlyozott, szabályos, közel azonos méretű sejtyszerkezetű fal esetében **négy szintig alkalmazható a vasalatlan fal (megfelelő méretezéssel).**

Abroncsolt falnál a teherbírás növelése érdekében és a használhatósági feltételek biztosítása miatt a falak csatlakozásánál függőleges vasbeton koszorúkat helyezünk el. Abroncsolt falat javasolnak a cellaszerkezetű és teremszerű épületeknél, nagy homlokzati áttörtség vagy akár sejtyszerkezet esetén is.

Vasalt falazatot akkor használunk, amikor a falazat önmagában nem tudja átvenni a csavarást és a húzást, amikor a vasbeton pillérrel és koszorúkkal kialakított abroncsolt-keretezett fal a funkciók vagy egyéb követelmények miatt nem elégíti ki az egységes megoldást. Nagy helyszíni gyorsulású ($a_g \geq 0,14g$) zónákban épülő cellaszerkezetű vagy teremszerű épület esetén függőlegesen vasalt falazatot javasolnak. Vízszintesen vasalt falat javasolnak a teremszerű épületek végfalainál.

Ezen szerkesztési szabályok betartása nem kötelező, pontos méretezéssel ezektől a javasolt értékektől el lehet térni. Ha méretezve van az épület földrengésre, nem korlátozott sem a szintek száma, sem a merevítőfalak irányonkénti minimális keresztmetszete ([11] 52. oldal).

2.2.3. Az egyes falazattípusokra jellemző szerkesztési szabályok

Általános szerkesztési szabályok:

- A falazott épületek födémekből és falakból állnak, melyeket két egymásra merőleges vízszintes irányban és függőleges irányban is össze kell kötni.
- A födémek és falak közötti kapcsolatot acél falkötő vasakkal vagy vasbeton koszorúkkal kell megoldani.
- Bármilyen födém használható, feltéve, hogy a folytonosság és a hatékony tárcsahatás követelményeit teljesíti.
- Merevítőfalakat (nyírt falakat) kell alkalmazni legalább két egymásra merőleges irányban.
- A merevítőfalak feleljenek meg a következő mértani követelményeknek:¹
 - a merevítőfalak t_{ef} effektív vastagsága ne legyen kisebb, mint a $t_{ef,min}$ minimális érték;
 - az effektív falmagasság és az effektív falvastagság h_{ef} / t_{ef} karcsúsági aránya ne lépje túl a $(h_{ef} / t_{ef})_{max}$ maximális értéket; és
 - a faltest l hosszának és a faltesttel szomszédos nagyobbik nyílás h szabad magasságának aránya ne legyen kisebb, mint az $(l / h)_{min}$ minimális érték.

¹ A geometriai adatok részletes magyarázatát lásd 3. fejezetben.

A falazat típusa	$t_{ef, \min}$	$(h_{ef} / t_{ef})_{\max}$	$(l / h)_{\min}$
Vasalatlan terméskő falazat	350	10	0,50
Bármilyen más vasalatlan falazat	240 ¹	15	0,40
Bármilyen más vasalatlan falazat kis szeizmicitású zónában	170	20	0,35
Abronsolt/keretezett falazat	240	20	0,30
Vasalt falazat	240	20	Nincs korlátozás

5. táblázat: merevítőfalakra vonatkozó geometriai követelmények

2.2.3.1. Vasalatlan falazat

Az EC8 szerint vasalatlan fal nem alkalmazható, ha a talaj tervezési gyorsulása $a_g \cdot S > 0,20$ ². Magyarországon a legnagyobb talajgyorsulás nem éri el ezt az értéket, így a szabvány szerint nincs akadálya annak, hogy a vasalatlan falakat teherhordó vagy merevítőfalként alkalmazzuk.

EC8 szerinti további szabályok:

- vízszintes vasbeton gerendákat vagy az acél falkötővasakat a fal síkjában kell elhelyezni minden födémszinten, de **egymástól 4 m-nél nem nagyobb függőleges távolságban**. Ezeket a gerendákat vagy falkötő vasakat folytonos kötélemként, egymáshoz kapcsolva kell kialakítani (lényeges, hogy a gerendák vagy falkötő vasak a teljes területen folytonosak legyenek).
- A gerendák hosszanti vasalásának keresztmetszete legalább 200 mm² legyen.

2.2.3.2. Abronsolt falazat

Abronsolt falazatokra vonatkozó szerkesztési szabályok az EC8 szerint:

- A vízszintes és a függőleges abroncsolóelemeket össze kell kötni és le kell horgonyozni a fő szerkezeti rendszer elemeibe.
- Az abroncsoló-keretező elemek betonját a falazat elkészítése után kell kiönteni, hogy tényleges kötést kapjunk a falazat és az abroncsoló-keretező elemek között.
- A vízszintes és függőleges abroncsoló-keretező elemek keresztmetszeti mérete ne legyen 150 mm-nél kisebb. Kétrétegű falak esetén az abroncsoló-keretező elemek vastagságának biztosítania kell a két réteg közötti kapcsolatot és a tényleges abroncsolást.
- Függőleges elemeket kell elhelyezni:
 - a szerkezeti falelemek szabad szélén;
 - az 1,5 m²-nél nagyobb felületű falnyílások mindkét oldalán;
 - a falon belül, ha szükséges ahhoz, hogy az abroncsoló-keretező elemek közötti távolság 5 m-nél ne legyen nagyobb;
 - a szerkezeti falak találkozásánál, ha az előző szabály szerint elhelyezett abroncsoló-keretező elemek 1,5 m-nél nagyobb távolságra vannak.
- vízszintes abroncsoló-keretező elemeket a fal síkjában kell elhelyezni minden födémszinten, illetve minden esetben legfeljebb 4 m-es függőleges kiosztásban.

¹ Gyakorlatilag 25 cm a minimális falazat vastagság, ami Magyarországon merevítőfalként alkalmazható.

² Lásd **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** fejezet.

2.2.3.3. Vasalt falazatok

Vasalt falazatok szerkesztési szabályai az EC8 szerint:

- Vízszintes vasalást kell elhelyezni a fekvőhézagokba vagy alkalmas horonyba, függőleges irányban egymástól legfeljebb 600 mm távolságban.
- A hornyos falazóelemek vasalása a parapetekben és az áthidalókban folytonos legyen.
- A falak végénél elhelyezett függőleges vasalást legalább 4 mm átmérőjű acélbetétekkel kell kengyelezni.
- A falban legalább a bruttó keresztmetszete 0,05%-ának megfelelő keresztmetszetű vízszintes vasalást kell alkalmazni.
- Kerülni kell a nagy százaléku vízszintes vasalás alkalmazását, mely az acél megfolyása előtti nyomási tönkremenetelhez vezet.
- A falban legalább a bruttó keresztmetszete 0,08%-ának megfelelő keresztmetszetű, egyenletesen kiosztott függőleges vasalást kell alkalmazni.
- A függőleges vasalást a falazóelemben kialakított fészkekben, üregekben vagy lyukakban kell elhelyezni.
- Legalább 200 mm² keresztmetszetű függőleges vasalást alkalmazzunk:
 - □ minden fal mindkét szabad szélén;
 - □ minden falkereszteződésnél;
 - □ minden falban, ha a függőleges vasalások közötti távolság nagyobb, mint 5 m.
- Az áthidalókat és parapeteket a csatlakozó falhoz szabályos kötésben kell falazni, és folytonos vízszintes vasalással kell hozzákapcsolni.

Abronsolt és vasalt falakra egyaránt érvényes szabályok:

- A hosszanti vasalás körüli kengyelek átmérője legalább 5 mm, kiosztása pedig legfeljebb 150 mm legyen.
- Az abroncsolás vasalata az EN 1992-1-1:2004 C1. táblázata szerinti B vagy C osztályú legyen.
- **Az átfedéses toldások legalább 60 acélbetét-átmérőnek megfelelő hosszúságúak legyenek.**

3. FALAZOTT SZERKEZET ELLENŐRZÉSE ISMERT IGÉNYBEVÉTEL KOMBINÁCIÓRA

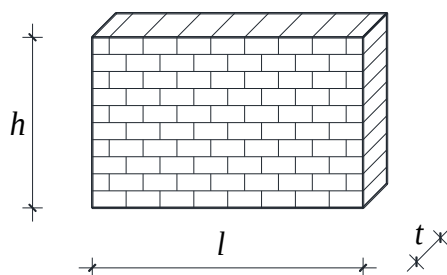
Az EC8 szerint minden esetben igazolni kell az épület összeomlás elleni biztonságát. Az összeomlás elleni igazolásakor minden szerkezeti elem tervezési ellenállását az **EC6 szerint** kell figyelembe venni.

Tegyük fel, hogy ismerjük a falra ható igénybevételeket (később ismertetem az igénybevétel meghatározásának lehetséges módjait). Ez esetben egy fal ellenőrzésének lépései **szeizmikus vagy teherbírási határállapotban** az EC6 szerint külpontos nyomásra és a fal síkjában működő nyíróerőre:

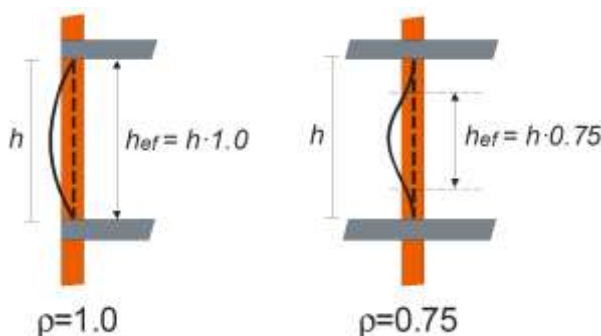
3.1. KIINDULÁSI ADATOK

3.1.1. A fal geometriai adatai

- A fal vastagsága¹, magassága,² hossza³ $t, h, l \quad [m]$
- Kihajlási hossz csökkentő tényező⁴ ρ_n
- Kihajlási hossz $h_{ef} = \rho_n \cdot h \quad [m]$
- Karcsúság⁵ $\lambda = h_{ef} / t_{ef}$



15. ábra: a fal geometriája



16. ábra: kihajlási hossz csökkentő tényező [6]

¹ Légréteges fal esetén t_{ef} hatékony vastagsággal számolunk, az EC6 5.5.1.3. fejezete szerint.

² A fal szabad emeletmagassága, a földemék alsó és felső síkja közötti távolság.

³ A fal síkjában nyíróerővel terhelt fal esetén a nyomott zóna számításához szükséges.

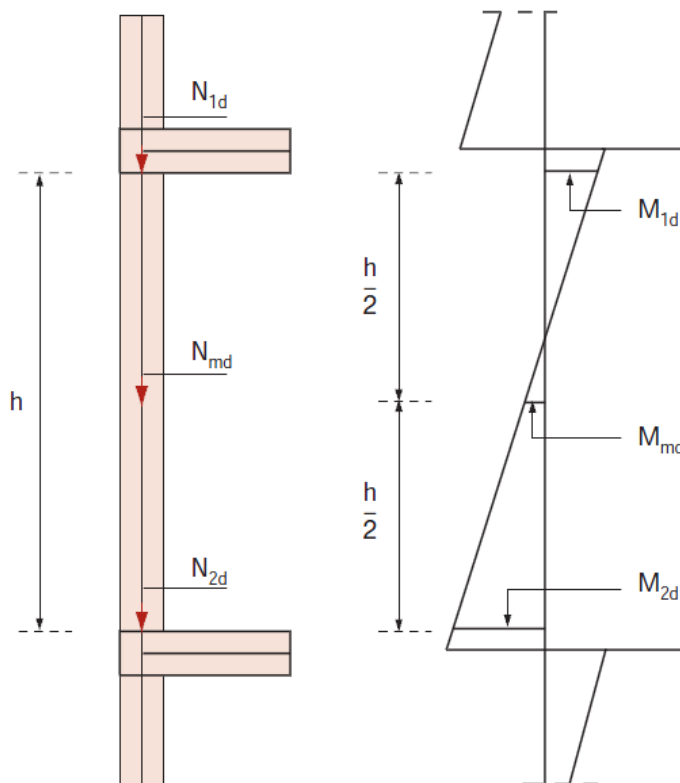
⁴ A fal peremének megfogási viszonyaitól függő szám. Pontos értéke az EC6 5.5.1.2. (10) bekezdése alapján vehető fel. Alul-felül a falvastagság 2/3-án, de min. 85 mm-en feltámaszkodó vasbeton földmennél $\rho_n = 0,75$.

⁵ A falazott fal karcsúsága $\lambda \leq 27$. Ha $\lambda \leq 15$, nem kell kúszást figyelembe venni.

3.1.2. Igénybevételek

A falat a magasság mentén 3 keresztmetszetében kell ellenőrizni: a fal tetején - földem alatt ($i=1$), a falmagasság felében ($i=m$) és a fal alján - a földem felett ($i=2$).

A falra ható igénybevételeket alul-felül befogott elemként számítjuk.



17. ábra: a falazatra ható igénybevételek [9]

- Normálerők¹ $N_{id} \quad [kN; kN / m]$
- Nyomatékok¹ $M_{id} \quad [kNm; kNm / m]$
- A fal síkjában ható vízszintes erő² $V_d \quad [kN; kN / m]$

3.1.3. Anyagjellemzők és biztonsági tényezők

- Falazat parciális tényezője³ γ_m
- Falazat karakterisztikus nyomószilárdsága⁴ $f_k \quad [N / mm^2]$
- Rugalmassági modulus (égetett agyagtermék)⁵ $E = 1000 \cdot f_k \quad [N / mm^2]$

¹ A fal teljes hosszára vagy 1 m szélességére ható nyomóerő/nyomaték tervezési értéke.

² A fal síkjában szélteherből/földrengésből származó nyíróerő tervezési értéke.

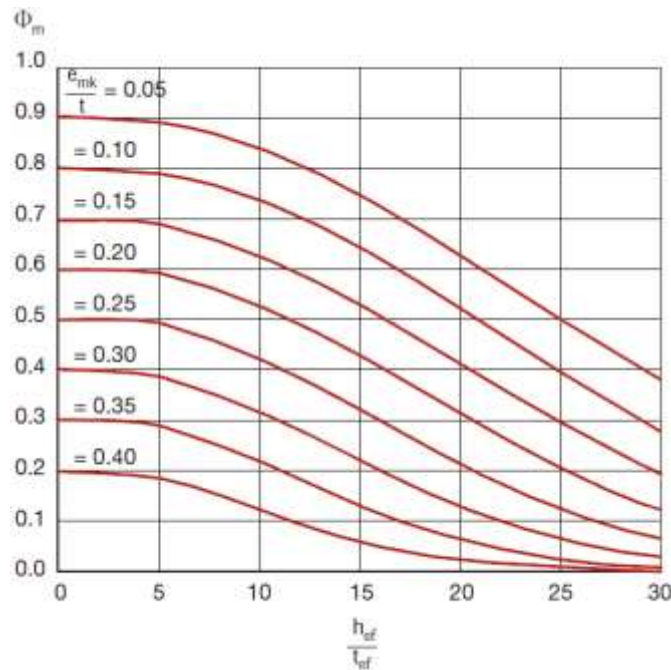
³ Javasolt értékeket lásd a dolgozat 1.6. fejezete.

⁴ Nyomószilárdsági értékek számítása lásd 1.5.3. fejezet.

⁵ Porothem DRYFIX ragasztóhab esetén $E = 600 \cdot f_k$, lásd 1.5.4.2. fejezet.

3.1.4. Külpontosságok a fal síkjára merőlegesen

- Kezdeti külpontosság¹ $e_{init} = h_{ef} / 450 \quad [mm]$
- Vízszintes teher okozta külpontosság² $e_{hm} \quad [mm]$
- Kúszás miatti külpontosság³ $e_k = 0,002 \cdot \phi_{\infty} \cdot \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \cdot \sqrt{t \cdot e_m} \quad [mm]$
- Teher okozta külpontosság⁴ $e_m = \frac{M_{id}}{N_{id}} + e_{hm} \pm e_{init} \quad [mm]$
- Teljes külpontosság a fal tetején, alján $e_i = e_m \geq 0,05t \quad [mm] \quad i = 1, 2$
- Teljes külpontosság a falmagasság felében $e_{mk} = e_m + e_k \geq 0,05t \quad [mm]$
- Csökkentő tényező a fal tetején és alján⁵ $\Phi_i = 1 - 2 \frac{e_i}{t} \quad i = 1, 2$
- Csökkentő tényező a falmagasság felében $\Phi_m = \left\{ f_k; E; h_{ef} / t_{ef}; e_{mk} / t \right\}$ ⁶



18. ábra: a csökkentő tényező értékei az EC6 melléklete szerint [9]

¹ Az építési imperfekciók figyelembe vételére szolgál, a fal teljes magasságában állandó értékkel.

² Vízszintes teherből pl. szélteherből.

³ Kúszást csak a falmagasság felében kell figyelembe venni, ha $\lambda \geq 15$. $\phi_{\infty} = 1,5$ (lásd 1.5.4.2. fejezet).

⁴ Igénybevételek tervezési értéke, figyelembe véve a külpontosan működő terheket is (pl. részlegesen feltámaszkodó földm.).

⁵ A karcsúság és külpontosság miatti Φ_i csökkentő tényező veszi figyelembe, hogy az erők külpontossága miatt nem a teljes fal keresztmetszet nyomott.

⁶ Φ_m értéke a E , h_{ef} / t_{ef} és e_{mk} / t paraméterek függvényében az EC6 G mellékletében található diagramokról leolvasható.

A szabvány mellékletében szereplő, a diagram alapjául szolgáló képletek segítségével Φ_m bármilyen falazatra számítható, leprogramozható.

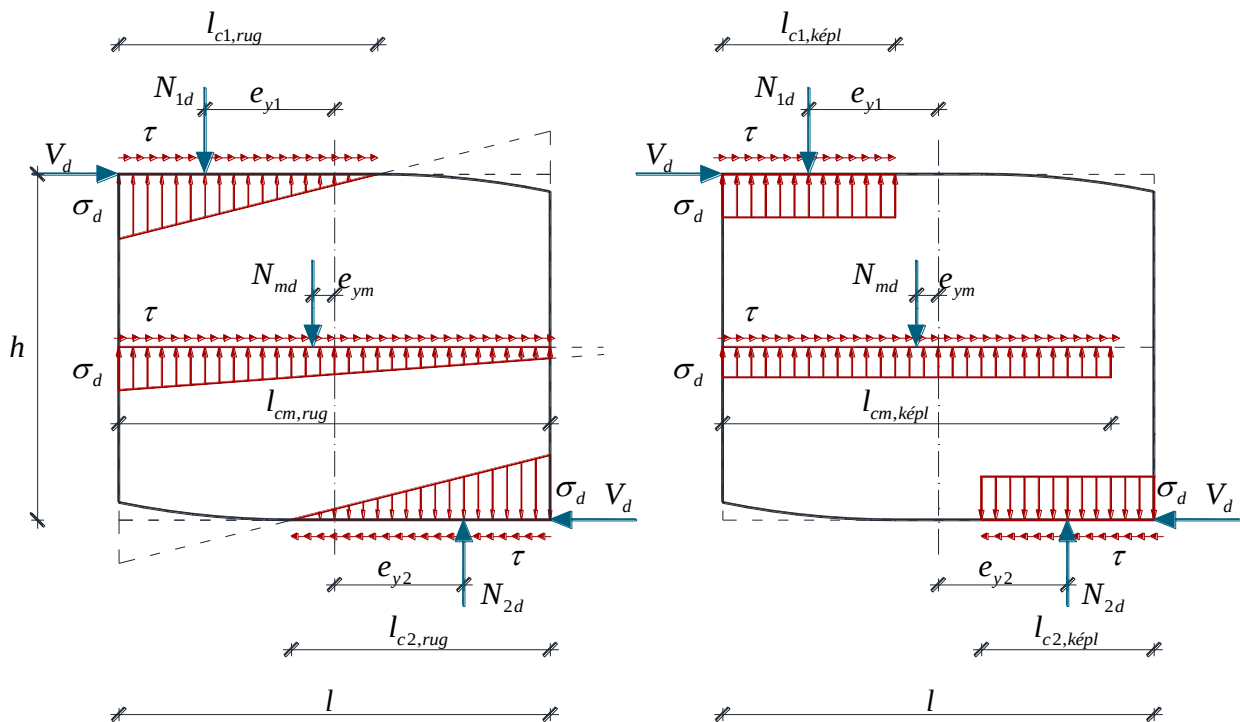
3.1.5. Külpontosságok a fal síkjában

Ha a fal síkjában V vízszintes erő, nyíróerő is hat, akkor a fal hosszirányban is külpontosan terhelt:¹

- Az erő külpontossága a fal tetején
$$e_{y1} = \frac{V_d \cdot h}{N_{1d} + N_{2d}} \quad [mm]$$
- Az erő külpontossága középen
$$e_{ym} = \frac{V_d \cdot h / 2 - N_{1d} \cdot e_{y1}}{N_{1d}} \quad [mm]$$
- Az erő külpontossága a fal alján
$$e_{y2} = \frac{V_d \cdot h}{N_{1d} + N_{2d}} \quad [mm]$$

Az erők külpontosságából meghatározható a nyomott zóna hossza:

- Nyomott zóna hossza rugalmas állapotban
$$l_{ci, rug} = 3 \cdot (l / 2 - e_{yi}) \leq l \quad [m] \quad i = 1, 2, m$$
- Nyomott zóna hossza képlékeny állapotban
$$l_{ci, képl} = 2 \cdot (l / 2 - e_{yi}) \leq l \quad [m] \quad i = 1, 2, m$$



19. ábra: a nyomott zóna hosszának számítása rugalmas és képlékeny állapotban

¹ Az EC8-ban nem szereplő képletek. Az itt közölt képletek a [8] mintapéldán alapulnak.

3.2. A VASALATLAN FAL ELLENŐRZÉSE

3.2.1. A fal ellenőrzése külpontos hajlításra

Kiszámítjuk, mekkora a fal nyomási ellenállása a három keresztmetszetben:

- **A fal nyomási ellenállása** $N_{Rd,i} = \Phi_i \cdot l_{ci,képl} \cdot t \cdot f_k / \gamma_M \quad [kN; kN / m] \quad i = 1, 2, m$

Ha $N_{Rd,i} \geq N_{id} \Rightarrow$ a keresztmetszet külpontos nyomásra megfelel!

Ha a fal nem felel meg külpontos nyomásra, akkor célszerű vastagabb falat alkalmazni, vagy az igénybevételeket csökkenteni.

3.2.2. A fal ellenőrzése nyírásra

Először kiszámítjuk, hogy mekkora a falazat nyírószilárdsága az egyes keresztmetszetekben.

- Falazat kezdeti karakterisztikus nyírószilárdsága¹ $f_{vk0} \quad [N / mm^2]$
- Falazóelem szabványos nyomószilárdsága $f_b \quad [N / mm^2]$
- Átlagos nyomófeszültség a függőleges teherből² $\sigma_{id} = \frac{N_{ik}}{l_{ci,rug} \cdot t - 2 \cdot e_i} \quad [N / mm^2] \quad i = 1, 2, m$

A falazat karakterisztikus nyírószilárdsága³

- **kitöltött állóhézag esetén** $f_{vk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{vk0} + 0,4 \sigma_{id} \\ 0,065 f_b \end{array} \right\} \quad [N / mm^2]$
- **kitöltetlen állóhézag esetén** $f_{vk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 f_{vk0} + 0,4 \sigma_{id} \\ 0,045 f_b \end{array} \right\} \quad [N / mm^2]$

Kiszámítjuk, mekkora a fal nyírási ellenállása a három keresztmetszetben:

- **A fal nyírási ellenállása** $V_{Rd,i} = l_{ci,rug} \cdot (t - 2 \cdot e_i) \cdot f_{vk} / \gamma_M \quad [kN; kN / m] \quad i = 1, 2, m$

Ha $V_{Rd,i} \geq V_{id} \Rightarrow$ a keresztmetszet nyírásra megfelel!

Ha a fal nem felel meg nyírásra, akkor célszerű vastagabb falat alkalmazni, a szomszédos tartószerkezeti elemek optimalizálásával az igénybevételeket csökkenteni, **de jelentős teherbírás növekedést érhetünk el a fal abroncsolásával is.**

¹ Kezdeti nyírószilárdsági értékek lásd 1.5.3. fejezet.

² e_i külpontossággal figyelembe vesszük, ha nem a teljes t falvastagság nyomott; továbbá a függőleges nyomóerőnek a karakterisztikus értékével kell számolni.

³ Mindhárom falkeresztmetszetre egyenként számítandó, $i = 1, 2, m$.

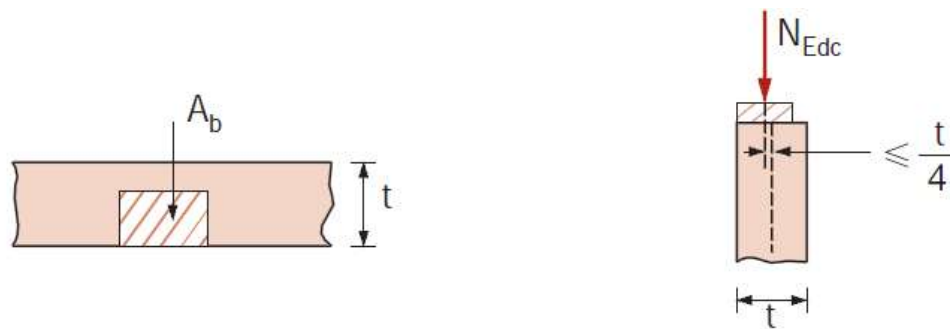
3.3. KONCENTRÁLT TEHERREL TERHELT FAL ELLENŐRZÉSE

3.3.1. Ellenőrzés pecsétnyomásra

A függőleges teher tervezési értéke legyen kisebb a fal függőleges teherrel szembeni ellenállásának tervezési értékével: $N_{Edc} \leq N_{Rdc} = \beta \cdot A_b \cdot f_d$, ahol β a fal nyomószilárdságát növelő tényező, A_b a terhelt felület, f_d a falazat tervezési nyomószilárdsága.

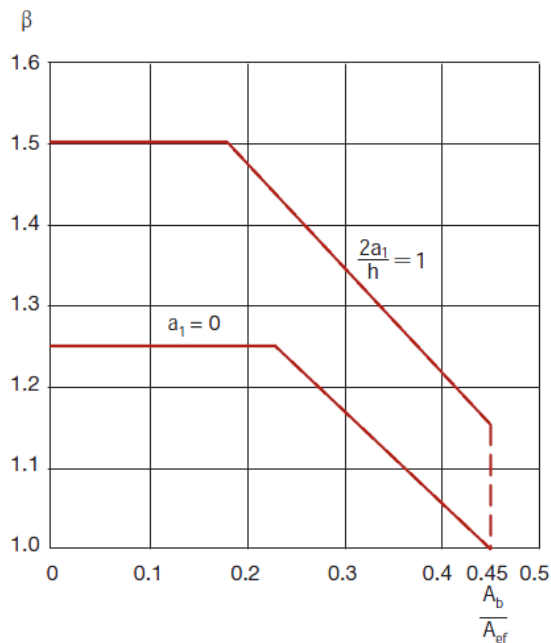
- 1. falazóelem-csoport esetén $1,00 \leq \beta \leq 1,50$ ¹
- 2., 3., 4. falazóelem-csoport esetén $\beta = 1,00$

A teher külpontossága nem lehet nagyobb, mint $t/4$:



20. ábra: a koncentrált teher maximális külpontossága [9]

- A fal vége és a terhelt felület széle közötti táv a_1 [m] (lásd 22. ábra)



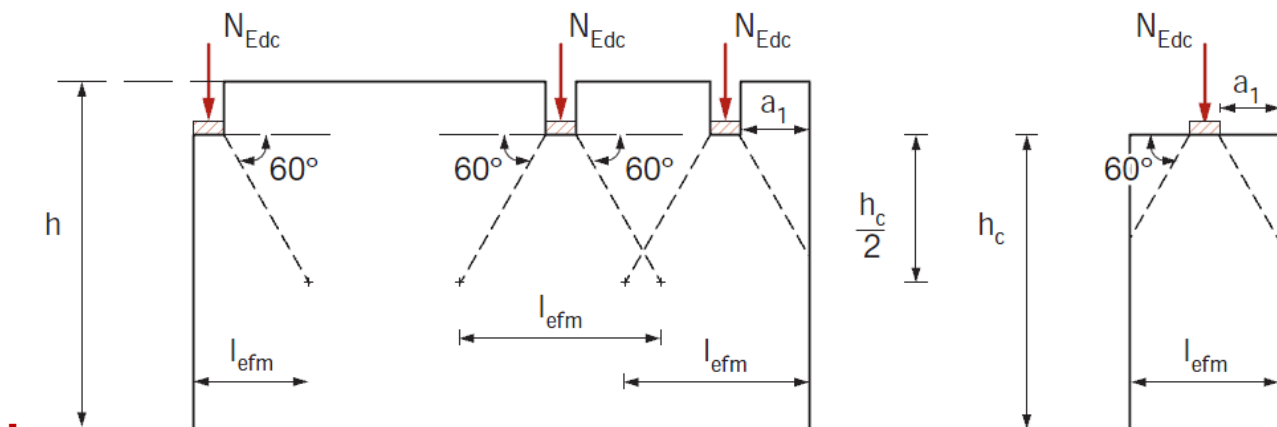
21. ábra: az EC6 H melléklete a fal nyomószilárdságának növelő tényezőjéhez grafikont is tartalmaz [9]

$a_1 = 0$ és 1 közötti érték esetén interpolálni kell

¹ A szilárdságnövelő-tényező pontos értéke: $\beta = (1 + 0,3a_1 / h_c)(1,5 - 1,1A_b / A_{ef})$, azzal a kikötéssel, hogy $1,00 \leq \beta \leq \min \{1,25 + a_1 / 2h_c ; 1,5\}$. A képlet paramétereit lásd a következő fejezetben.

3.3.2. Ellenőrzés a falmagasság felében¹

- A fal magassága a teher szintjéig h_c [m]
- A hatékony teherviselő (felfekvési hossz) l_{efm} [m]
- A hatékony teherviselő (felfekvési felület) $A_{ef} = l_{efm} \cdot t$ [m²] $A_b / A_{ef} \leq 0,45$



22. ábra: a koncentrált teherrel terhelt fal geometriája [9]

A hatékony teherviselő felület hosszát a felfekvési felület széleitől számított 60°-os szögben kell megállapítani a falkiugrás magasságának a felében. Ezt a keresztmetszetet minden esetben **ellenőrizni kell nyomásra** a 3.2.1. fejezetben ismertetett módon (különös figyelmet kell fordítani arra az esetre, ha a sűrűn elhelyezett koncentrált terhek 60°-ban szétterjedő hatásai fedik egymást, így az erők összegződnek).

Ha a koncentrált teher merev, a fallal megegyező vastagságú, 200 mm-nél magasabb és a teher alátámasztási hosszának háromszorosánál hosszabb teherelosztó gerendán működik, akkor a tervezési nyomószilárdság értéke a koncentrált teher alatt $\leq 1,5 \cdot f_d$ is lehet.

¹ A falkiugrás magasságának felében ($h_c / 2$).

4. IDÉZETT FORRÁSMUNKÁK

1. Wienerberger Téglaiipari zRt.: www.wienerberger.hu.
2. Alkalmazási és tervezési útmutató 2012; Budapest, Wienerberger Téglaiipari zRt., 2012.
3. Doc. dr. sc. Boris Trogrlić: O proračunu zidanih konstrukcijae; www.gradst.hr.
4. Low-rise residential construction detailing to resist earthquakes. City University London.: <http://www.staff.city.ac.uk/earthquakes/MasonryBrick/index.php>.
5. I., Dr. Sajtos I. - Dr. Hegyi D. - Dr. Sipos A. Á. - Vető D. - Merle I. - Orbán I.: Példatár, Falazott szerkezetek méretezése, Falazott szerkezetű épületek méretezése földrengésre; Budapest, Wienerberger Téglaiipari zRt., 2010.
6. Engineers, The Institution of Structural. Manual for the design of plain masonry building structures to Eurocode 6. London : The Institution of Structural Engineers, 2008.
7. Dr. Dulácska Endre: Földrengés elleni védelem, egyszerű tervezés az Eurocode 8 alapján, Gyakorlati útmutató; Budapest, Magyar Mérnöki Kamara Nonprofit Kft., 2009.
8. Dr. Kegyes Csaba: A Falazott szerkezetekről, Vasalatlan és abroncsolt falak méretezéses szeizmikus zónában; Győr, PIUS Építészeti, Mérnöki és Számítástechnikai Kft., 2010.
9. Magyar Mérnöki Kamara Tartószerkezeti Tagozat: A Magyar Mérnöki Kamara ajánlása az EC8 Tartószerkezetek tervezése földrengésre MSZ EN 1998-1 szabvány földrengés okozta vízszintes talajgyorsulások számításba vételére: <http://www.tartoszerkezeti-tagozat.hu/node/26>.
10. Dulácska, Endre, Joó, Attila és Kollár, László: Tartószerkezetek tervezése földrengési hatásokra; Budapest, Akadémiai Kiadó, 2008.
11. Inter-CAD Kft: AxisVm 11 Felhasználói kézikönyv 2012
12. Jan Červenka, Libor Jendele, Zdeněk Janda: AmQuake Program Documentation; Prága, Cervenka Consulting Ltd., 2011
13. Doc.dr.sc. Boris Trogrlić, dipl.ing.graň.: Projektiranje zidanih konstrukcija; www.gradst.hr.
14. Prof. dr. sc. Boris Trogrlić, Milko Batinić, i Prof. dr. sc. Ante Mihanović: ZIDANE ZGRADE - PROJEKTIRANJE I PRORAČUN; www.gradst.hr.
15. Dr. Kegyes Csaba: Vasbeton szerkezetek méretezése földrengésre, Régi és új előírások Magyarországon; Győr, Széchenyi István Egyetem, 2002.
16. Dr. Palotás László: Mérnöki kézikönyv II; Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1984
17. Eurocode konferencia előadás kivonat; Budapest, Wienerberger Téglaiipari zRt., 2010

A külső forrásból átvett ábrák mellett a forrás meg lett jelölve. Minden egyéb fotó, diagram saját készítésű.