

Szilvágyi László - Wolf Ákos
Síkalapok vizsgálata - az EC-7 bevezetése

Síkalapozási feladatokkal a geotechnikus mérnökök szinte minden nap találkoznak annak ellenére, hogy mostanában egyre inkább a mélyépítés kerül előtérbe a kedvezőtlen geotechnikai adottságok, és a megkívánt minél több piceszint következtében. A napi gyakorlatra viszont a néhány szintes lakóházak, kisebb terhelésű, alapterületű csarnokok, utak műtárgyainak alapozása illetve meglévő épületek rekonstrukciója jellemző síkalapozási feladatokkal.

Az EC-7 bevezetése ezen területen alapvető változást nem jelent, azonban néhány számításbeli módosítást hoz magával. A Magyar Szabványügyi Testület Különleges Alapokkal foglalkozó Bizottságának felkérésére az idei év elején elemeztük a síkalapok számítását részben a törőfeszültség meghatározásának, részben a biztonság felvételének szempontjából.

Az elemzéseink során a Magyar Szabványt (MSZ 15004-1989) hasonlítottuk a DIN 4017-re (német szabvány) épülő új EC-7-hez. A két szabványban szereplő törőerő meghatározására vonatkozó képletek alapelvei ugyanazok, csupán az egyes módosító tényezők meghatározásában van eltérés, melyeket a továbbiakban részletezünk.

A két szabvány törőfeszültségi képlete:

$$\text{MSZ: } \sigma_T = a_B * \gamma_1 * B * N_B * i_B * j_B + a * \gamma_2 * t * N_t * i_t * j_t + a * c * N_c * i_c * j_c \quad (1)$$

$$\text{EC-7: } R/A = s_\gamma * \gamma * B * N_\gamma * i_\gamma * b_\gamma * 0,5 + s_q * q * N_q * i_q * b_q + s_c * c * N_c * i_c * b_c \quad (2)$$

ahol:

B	az alap kisebbik mérete
L	az alap hosszabbik mérete
t	takarási mélység az MSZ-ben
γ_1 ill. γ	alap alatti talaj térfogatsúlya az MSZ ill. EC-7-ben
γ_2	az alapozási sík feletti talaj térfogatsúlya az MSZ-ben
q	takarási nyomás az alapsík szintjén az EC-7-ben
a_B, a ill. s_g, s_q, s_c	alaki tényezők az MSZ ill. az EC-7-ben
N_B, N_t, N_c ill. N_γ, N_q, N_c	teherbírási tényezők az MSZ ill. az EC-7-ben
i_B, i_t, i_c ill. i_γ, i_q, i_c	erő ferdeségét figyelembe vevő csökkentő tényező az MSZ ill. az EC-7-ben
j_B, j_t, j_c	lejtős terep hajlását figyelembe vevő csökkentő tényező az MSZ-ben
b_γ, b_q, b_c	az alapfelület hajlását figyelembe vevő csökkentő tényező az EC-7-ben

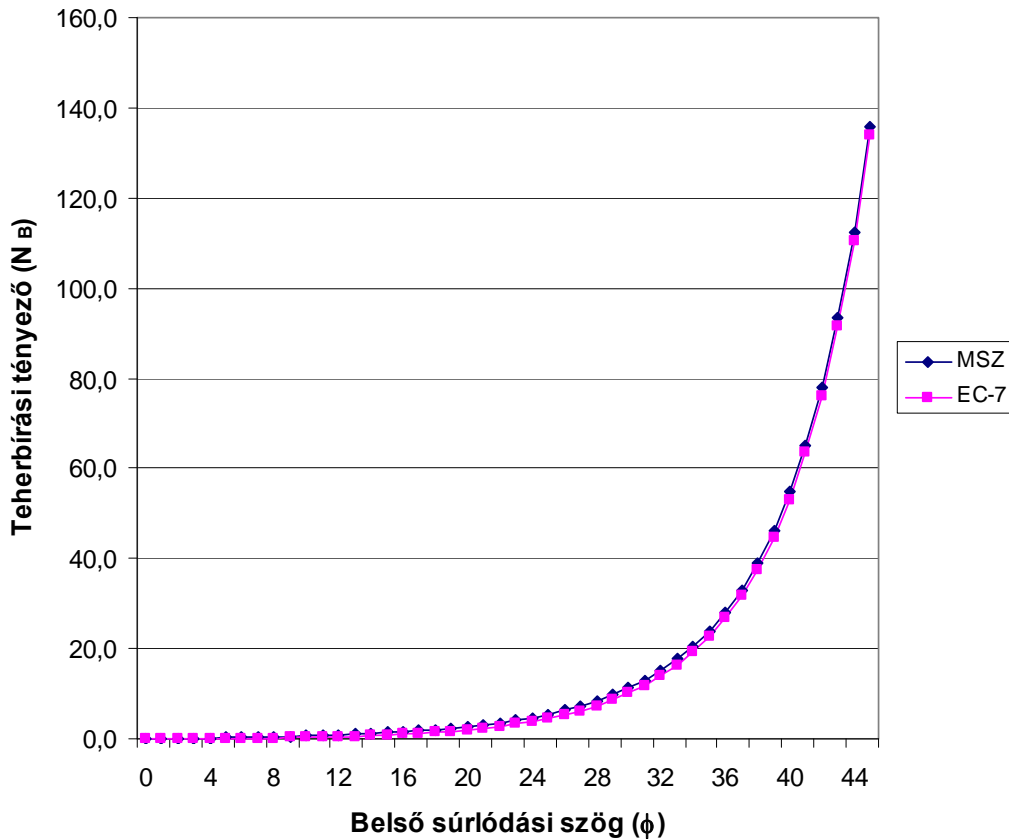
Teherbírási tényező

A teherbírási tényezők közül a takarási illetve a kohéziós tagokban semmilyen különbség nem mutatkozik, azonban az N_B tag kiszámítása kis mértékben eltér a két szabványban.

MSZ 15004-1989	EC-7
$N_B = (N_t + 1) \times \text{tg}\phi$	$N_g = 2 \times (N_q - 1) \times \text{tg}\phi$

A fenti EC-7-hez tartozó képletben levő kétszeres szorzótól a teljes törőterherre vonatkozó képlet ismeretében eltekinthetünk, mivel a teljes képletben levő 0,5-szeres szorzóval kiejtik egymást. A különbség így már csak az előjelben mutatkozik, azonban az 1. ábra alapján

elmondható, hogy ezen különbség minimális, melynek oka, hogy kis belső súrlódási szög esetében a $\tan \phi$ értéke kicsi, míg nagy ϕ esetében az N_t értéke nagy, így az a plusz-mínusz 1 nem okoz számottevő változást.



1. ábra

Alaki tényezők

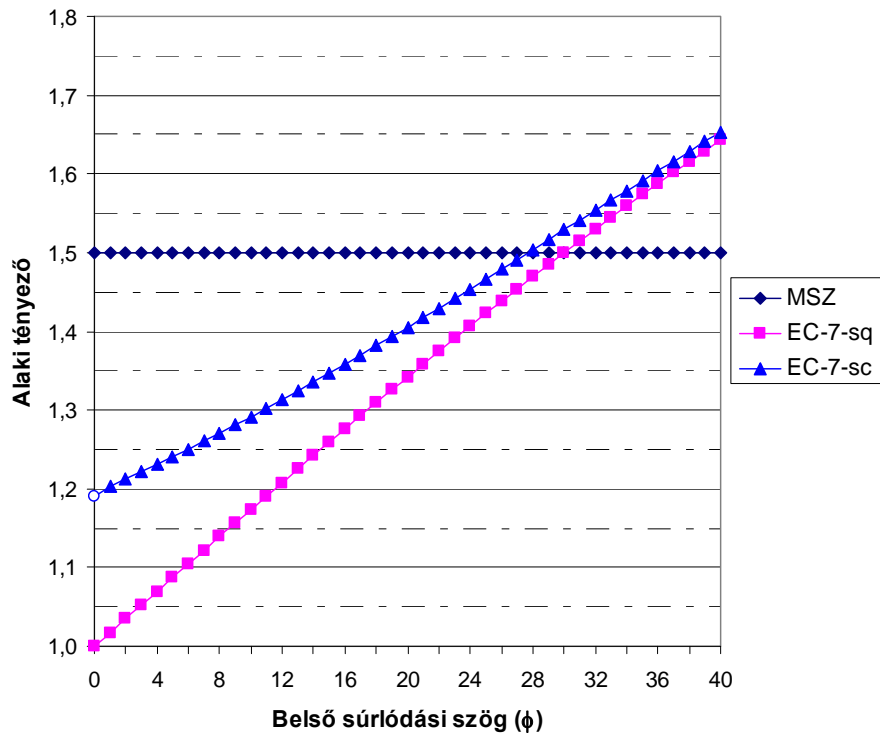
A MSZ-ben az alaki tényezők csak az alaptest szélességi és hosszúsági méretétől függenek, míg az EC-7-ben a belső súrlódási szög függvényei is (1. táblázat).

1. Táblázat: Alaki tényezők

MSZ	EC-7
$a_B = 1 - B/3L$	$s_\gamma = 1 - 0,3*(B/L)$
$a = 1 + B/2L$	$s_q = 1 + (B/L) * \sin \phi$
	$s_c = (s_q * N_q - 1)/(N_q - 1)$

Mivel az eredeti töröképlet sávalap esetére vonatkozik, ezért ebből is adódik, hogy $B/L \approx 0$ esetében az alaki tényezőkben különbség nincsen, azonban pontalap esetén a 2. ábra szemlélteti az egyes tényezők értékei közötti különbséget, ahol négyzet alakú síkalap esetében ábrázoltuk az alaki tényező változását a belső súrlódási szög függvényeként.

Itt szükséges megjegyezni, hogy az eddigi hazai gyakorlatban általában használt alaki tényező egy kicsit túlzásnak tekinthető, hiszen az EC-7-ben szereplő alaki tényezők ezt az értéket csupán kb. 30°-os belső súrlódási szög mellett érik el.



2. ábra

Ferde erő

A ferde erőt figyelembe vevő tényező mindkét szabványban szerepel. A különbség két okból adódik, az egyik, hogy a szabványok miként adják meg az erő ferdeségét, másrészt hogy a képletekben szereplő „f” értéke hogyan számolandó.

2. Táblázat: Ferde erőt figyelembe vevő tényezők

Magyar Szabvány 15004-1989	EC-7 (Téglalap alap esetén)
$i_B = (1 - f)^3$	$i_q = (1 - f)^m$
$i_t = (1 - 0,7 f)^3$	$i_\gamma = (1 - f)^{m+1}$
$i_c = i_t - \frac{1 - i_t}{N_t - 1}$	$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c * tg \varphi}$

Az MSZ az erő ferdeségét csupán a függőlegessel bezárt szöggel jellemzi, és az „f” értéke is csak ettől függ(3).

$$\text{MSZ: } f = \text{tg } \mu = Q_h/Q_v \quad (3)$$

Ezzel szemben az EC-7 az erőt az alapsíkra merőleges és azzal párhuzamos komponensével adja meg, és az „f” értéke függ az alap méretétől, a kohéziótól és a belső súrlódási szögtől egyaránt(4).

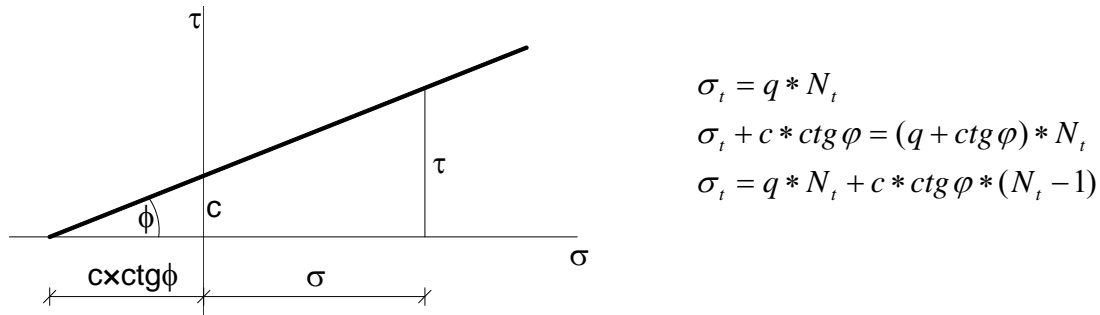
$$\text{EC-7: } f = H/(V+A*c*ctg\phi) \quad (4)$$

Az EC-7-ben a H és V értéke a tényleges terhelés alapsíkkal párhuzamos és arra merőleges komponense, ellentétben az eddigi szakirodalmakkal, ahol a H és V értéke a talaj törőterhéhez tartozó komponensek. Az eddigi szakirodalmak alapján a számítás során iterációra volt szükség.

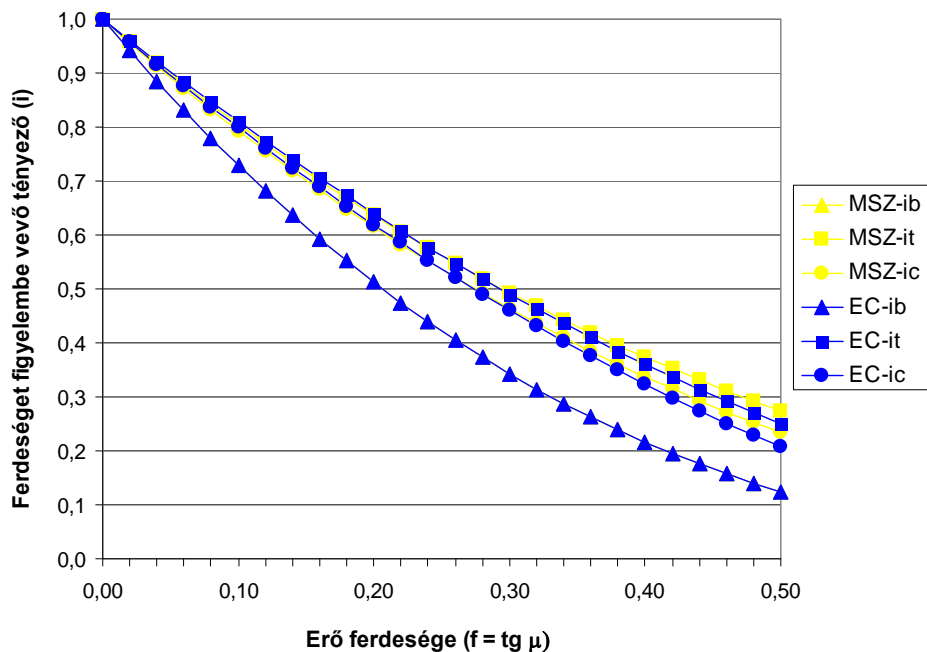
Bár általában az erő iránya az alap B oldalával egyezik meg, azonban az EC-7 különbséget tesz L-lel illetve B-vel párhuzamos erők között az i_B és i_c tagok kitevőjének meghatározásában (5).

$$m_B = \frac{2 + (B/L)}{1 + (B/L)} \qquad m_L = \frac{2 + (L/B)}{1 + (L/B)} \qquad (5)$$

A kohéziós tag képletében szereplő különbség vizsgálatához Caquot teóriáját használjuk fel, miszerint a kohéziós talajok normálfeszültsége ($\sigma + c \times \text{ctg} \phi$) képlettel írható fel. Ezt az összefüggést behelyettesítve a síkalap-számítás alapképletébe, azt kapjuk, hogy $N_c = \text{ctg} \phi \times (N_t - 1)$. Ezt beírva az EC-7 által megadott képletben az MSZ-szel azonos alakot kapunk a kohéziós tagra.



A 3. ábra a kohézió nélküli talaj esetében mutatja be a ferdeség függvényében az egyes tényezők alakulását B-vel párhuzamos erő esetében. Jól látható, hogy az i_B tag egyáltalán nem változik, és a másik két tag esetében is csak abban az esetben van számottevő eltérés, ha a vízszintes erő meghaladja a függőleges erő 30%-t.



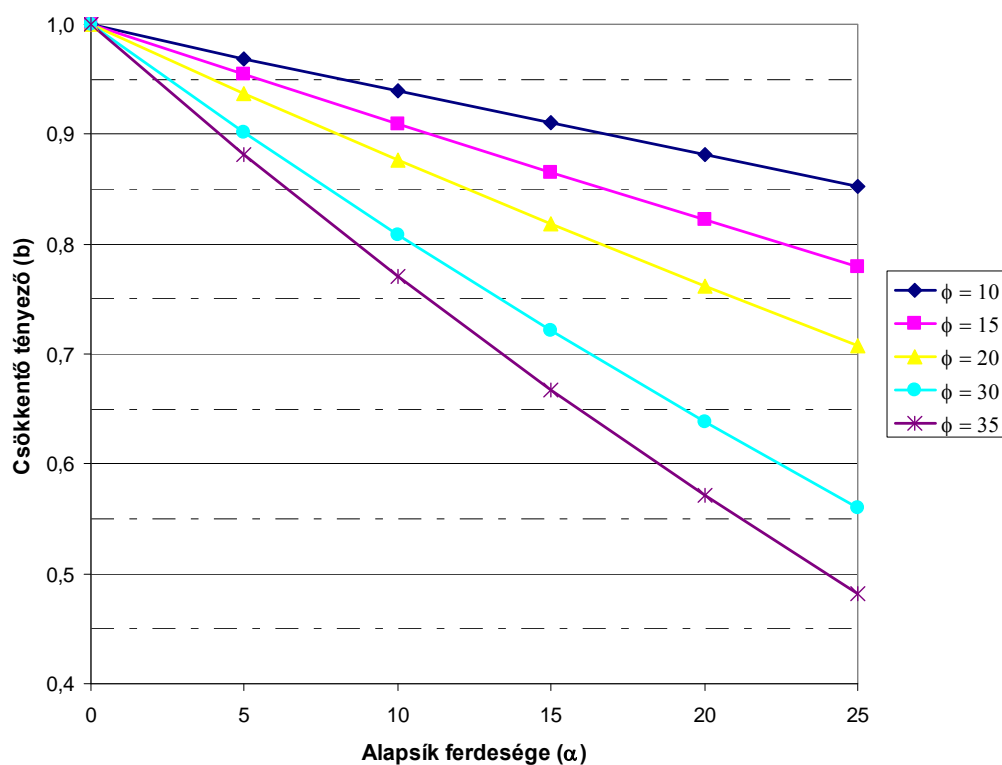
3. ábra

Ferde alapsík

A ferde alapsíkú síkalapok vizsgálatára az EC-7 ajánlást tesz ellentétben az MSZ-szel, amely ezt az esetet külön nem vizsgálja. Megjegyzendő viszont, hogy az EC-7 nem ad számítási javaslatot külön ferde terep esetében, míg a Magyar Szabvány töröképletében egy módosító tényezővel vehetjük figyelembe annak hatását.

Az alapfelület hajlását figyelembe vevő tényezőinek értékét nem csak a ferdeség mértéke, hanem a talaj belső súrlódási szöge is befolyásolja. Az 4. ábra az alapsík ferdeségének függvényében mutatja az egyes belső súrlódási szögekhez tartozó csökkentő tényezőket. Ezek

alapján elmondható, hogy kötött talajok esetében csak kisebb csökkenést jelent, míg szemcsés talajok esetében a törőfeszültség az 50-60%-ra is eshet.



4. ábra

A korábbi hazai szakirodalmakban már többször találkozhattunk a fent említett módosító tényezők EC-7 alapján való meghatározásával, úgy az alaki tényezők, mind az erő ferdeséget figyelembe vevő tényezők számításánál.

Biztonság

A továbbiakban azt részletezzük, hogy a két szabvány miként kezeli a biztonság kérdését. Mindkét szabvány az osztott biztonság elvét alkalmazza, mely szerint a biztonságot ott kell bevinnünk a számításba, ahol a bizonytalanság keletkezik, tehát a teher oldalon az egyes erőknél, míg az ellenállás oldalon a talajfizikai paramétereknél. Ez azonban a német szabványban, a DIN-ben – mely az EC-7 egyik alapja - úgy szerepel, hogy a biztonsági tényezőket az ellenállás oldalon a törőtehernél érvényesítjük, melynek alapjául az szolgál, hogy a törőfeszültségnél bevitt biztonsági tényezők sokkal jobban érzékelhetővé teszik a mérnök számára a szerkezet összbiztonságát, mint a talajfizikai paramétereknél bevitt biztonság esetében.

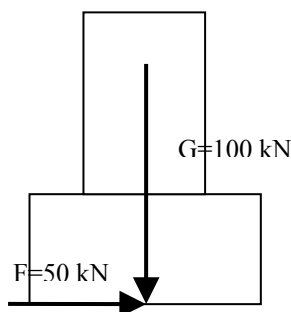
Az EC-7 3 tervezési módszert különböztet meg. A talajfizikai paramétereknél beépített biztonság a 3. tervezési módszernek felel meg, amelyet például a rézsúállékonyság számításához ajánl. A 2. tervezési módszer a DIN-ben korábban használt eljárást veszi át, melyben a biztonságot a törőteherhez, törőfeszültséghez rendeli, azonban megadja a lehetőséget a teher oldali biztonság bevitelére mind az igénybevételeknél, mind az egyes erőknél. Az EC-7 a síkalapok méretezéséhez ezt a számítási módszert ajánlja. A Nemzeti Melléklet az EC-7 mellékletei közül csak ennek használatát teszi kötelezővé az alábbi biztonsági tényezők figyelembevételével.

3. Táblázat: Biztonsági tényezők az EC-7-ben

Állandó teher	1,35
Esetleges teher	1,50

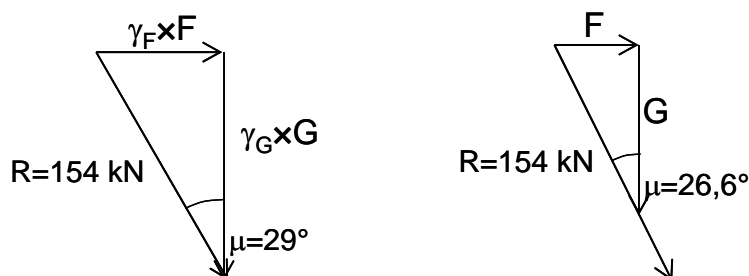
Talajparaméterek	1,00
Talajtörés ellen	1,40
Elcsúszás ellen	1,10

A teher oldali biztonság esetében mint már említettük az EC-7 nem tesz konkrét különbséget. Az alábbi kis példán szemléltetjük a két módszer - terhenként illetve igénybevételnél figyelembe vett biztonsági tényezők - közötti kis eltérést.



5. ábra

Az ábrán látható sicalap terheinek biztonsági tényezői $\alpha_G = 1,35$ illetve $\alpha_F = 1,50$. Amennyiben az erőkhez rendeljük a biztonságot, és aztán határozzuk meg akkor az eredő értéke $R = 154$ kN, és függőlegessel bezárt szöge $\mu = 29^\circ$. Azonban ha az erők alapértékének eredőjéhez rendelünk egy eredő biztonságot - melynek meghatározása lehetőleg az erők arányában történjen - azt kapjuk, hogy az eredő értéke ugyancsak $R = 154$ kN, azonban a függőlegessel bezárt szöge $\mu = 26,6^\circ$. Az adatokból látszik (6. ábra), hogy az eredő erők értéke megegyezik, azonban a függőlegessel bezárt szög esetében már számottevő különbség adódik, amely sicalapok vizsgálata során fontos lehet.



6. ábra

Az EC-7-ben a teher oldalon átlagosan 1,4 biztonságot viszünk be a tervezésbe, és ugyanúgy 1,4 van az ellenállási oldalon, amelyből kb. 2,0-szeres biztonság adódik. Ehhez a biztonsághoz még hozzá kapcsolódik, hogy az EC-7 a talajfizikai paraméterek meghatározása során a karakterisztikus értéket veszi figyelembe, míg az eddigi hazai gyakorlatban az átlagos értéket vettük számításba. Ez a különbség például ϕ értékében kb. 5-10%-os eltérést jelent, amelynek következtében a teherbírési tényezők kb. 20%-kal növekednek, így az összbiztonság már kb. 2,5-re adódik.

A Magyar Szabványban az ellenállás oldali biztonsági tényező három tagból tevődik össze, amelyek közül az első kettő (α_1 : talajfeltárás biztonságától függő tényező; α_2 : a nyírószilárdság meghatározásától függő tényező) a karakterisztikus érték meghatározásával egyenértékű. A harmadik tag az építmény és a személyek biztonságára utal, melynek értéke 0,5 - 0,9 között lehetett. Az alkalmazható tartomány egy kicsit túlzásnak tekinthető, mivel majdnem kétszeres eltérést is jelenthet ennek különböző felvétele a biztonságban. Ezzel szemben az EC-7 biztonsági tényezői 10^{-4} tönkrementeli valószínűségre vonatkoznak, és további 0,9 illetve 1,1-es szorzót

engedélyez különleges építmények esetében. A MSZ-ben átlagosan az ellenállás oldali biztonsági tényező a három tagból 0,4 - 0,5-re adódik, amely 2,0 - 2,5-es biztonságot jelent.

A teher oldalon átlagosan 1,2-t vehetünk fel, amely az ellenállási 2,0 - 2,5-es biztonsággal együtt 2,5 - 3,0 összbiztonságra adódik. A fentiek alapján alapvető különbség nem alakul ki az összbiztonságot tekintve a két szabvány között.

Példák

Vizsgálataink során ötféle talajtípus esetében elemeztük különféle alapoknál a két szabvány számítása közötti különbséget. A talajfizikai paraméterek felvételénél arra törekedtünk, hogy minél jellemzőbb párokat válasszunk, szemcsés talajtól a kötött talajig. Analízisünket különféle síkalapok esetére végeztük el: sávalap, pontalap, ferde terhelés, ferde alapsík és ezek kombinációi. A 4. táblázat egy alapot mutat be, a függőleges teherrel terhelt, vízszintes alapsíkú sávalap számításait tartalmazza.

4. Táblázat

		1. eset	2. eset	3. eset	4. eset	5. eset
Talajfizikai paraméterek	$\phi =$	36	30	20	15	10
	$c =$	0	0	10	40	100
MSZ 15005	$\sigma_T =$	2074	960	458	624	946
	$\alpha_1 =$	0,506	0,506	0,506	0,506	0,506
	$\sigma_{H1} =$	1049	486	232	315	478
	$\alpha_2 =$	0,417	0,417	0,417	0,417	0,417
	$\sigma_{H2} =$	865	400	191	260	394
EC-7	$\sigma_T =$	2045	937	444	613	939
	$\alpha =$	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40
	$\sigma_H =$	1461	670	317	438	671
EC-7 karakterisztikus	$\phi =$	34	28	18	14	9
	$c =$	0	0	8	33	83
	$\sigma_T =$	1562	735	343	499	752
	$\alpha =$	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40
	$\sigma_H =$	1116	525	245	356	537

A táblázatból is kitűnik, hogy az azonos talajfizikai paraméterek mellett - amennyiben eltekintünk az átlag illetve a karakterisztikus értékektől - közel azonos törőterhet kapunk. Azonban az eltérő biztonsági tényezőket figyelembe véve, a határfeszültségben már számottevő eltérés adódik. Azonban amennyiben az EC-7 előírásainak megfelelően karakterisztikus értékkel számolunk, abban az esetben a határfeszültségek közel azonosra adódnak

A síkalapra megadott képlet alapesetben - függőleges teher, vízszintes alapsík, sík terep, sávalap - illetve egyszerű esetben, amikor csupán egy módosítást veszünk figyelembe, ad jó közelítést. Az egyes módosító tényezők önmagukban közelítik csak a valóságot, összetett feladat esetén, amikor már több módosítást kell figyelembe venni, a kapott eredményt csak fenntartásokkal szabad elfogadni. Ilyenkor „ajánlatos numerikus eljárásokat alkalmazni a legkedvezőtlenebb törési mechanizmusok meghatározására” (EC-7 6.5.2.2.(6)).

Összefoglalás

A két szabvány számítási alapelve, alapképlete megegyezik. Eltérés az egyes módosító tényezők képleteiben található, azonban ezek a kisebb különbségek a tényezők értékeiben nem okoznak számottevő változást. Egyedül az alaki tényezőknél érezhető jelentősebb különbség. Újdonság, hogy az EC-7 a ferde alapsík számítását ismerteti, míg a MSZ szerinti ferde terep figyelembevétele nincs említve.

Az összbiztonság esetében nagy eltérés nem mutatkozik, azonban fontos, hogy ez csak abban az esetben igaz, amennyiben a talajfizikai paraméterek megválasztásánál a karakterisztikus értéket vesszük figyelembe, az eddig használt átlagos érték helyett.