

CSAVARTÁNYÉROS ACÉL CÖLÖPÖK HAZAI ALKALMAZÁSA

INTRODUCING HELICAL PILES IN HUNGARY

Dr. Román Zsolt¹

¹Terra-Vallum Kft.

ÖSSZEFOGLALÁS

A csavart cölöpök mindezidáig nem terjedtek el a hazai mélyalapozási gyakorlatban. A technológiát az angolszász területeken több, mint 180 éve alkalmazzák és fejlesztik. Ismertetjük a technológia előnyeit, és felhasználási területeit. Bemutatásra kerülnek a szilárdsági és geotechnikai méretezési eljárások, különös tekintettel az Eurocode szerinti tervezési szempontokra. Figyelmet szentelünk az élettartam tervezésnek is, amit a korróziós veszteséggel veszünk figyelembe. Végezetül hazai esettanulmányokat mutatunk be a csavartányéros cölöpök és talajcsavarok alkalmazására.

ABSTRACT

Until now, helical piles haven't been in practical use in Hungary. This technology is widespread in North America and Australia, having a history of 180 years. The advantages of helical piles will be presented, together with its field of application. We briefly overview the steel and geotechnical design methods, closely dealing with implementation into Eurocode. Durability design is also presented with standardized corrosion loss and its application in design. At the end, we present a few case studies and references of recent helical pile applications in Hungary.

KULCSSZAVAK/KEYWORDS

mélyalapozás, csavartányéros cölöp, talajcsavar, helical piles, screw piles

BEVEZETÉS

Jelenleg a hazai mélyalapozási eszköztárból hiányoznak a csavartányéros acél cölöpök. Az 50-es, 70-es évek szakkönyvei megemlítik, mint angol, német és szovjet technikát. Ez annyival kiegészítendő, hogy az angol mérnöki gyakorlatban 1838 óta igazolhatóan jelen vannak a csavart acél

cölöpök, és azóta az angolszász területeken (USA, Kanada, Ausztrália, Új-Zéland) széles körben elterjedt mélyalapozási megoldás lett. Piackutatások szerint jelenleg világ szinten a csavart acél cölöpök éves forgalma meghaladja a 760 millió USD-t (~230 milliárd Ft.), és Európából ehhez hozzájárul Anglia mellett Németország, Franciaország, Olaszország és Oroszország is. Jelenleg a beton és az acél ára hazánkban az észak-amerikaihoz hasonló nagyságrendben mozog, a körülmények adottak ahhoz, hogy a csavartányéros cölöpök népszerűsége növekedésnek induljon.

A CÖLÖPÖK FELÉPÍTÉSE, BESOROLÁSA

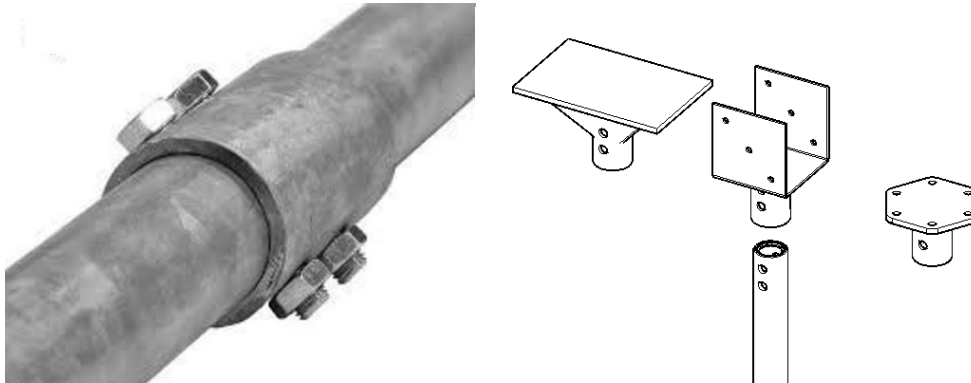
A csavartányéros acél cölöpök átmenetet képeznek a mikrocölöpök és a nagy teherbírású cölöpök között. Működésüket tekintve talajkiszorításos, álló cölöpök, előregyártott, moduláris rendszerű, a földbejuttatás csavarással történik.



1. ábra Cölöpcsúcs és csavartányérok elhelyezése

A modulok hosszát a hely korlátoltsága (beltér), a telepítés eszköze, és helyszíni anyagmozgatás lehetősége határozza meg. Jellemző hossz méretek: 1.5m, 2m, 3m, 6m. A vezető elem csúcsa többnyire olyan kiképzésű, hogy segítse a pontraállást, és a behajtás megkezdését. Közel a csúcshoz helyezkedik el az alsó tányér. A csavartányérok szabályos spirálok, 360°-os fordulattal, 75mm-es menetemelkedéssel. Vágóélük gyakran élesre van leképezve a könnyebb behajtás, gyökérvágás stb. szempontok miatt. Tipikus méretei: $D=200-250-300-350\text{mm}$, $t=8-10-12-15-20\text{mm}$. Több tányér esetén vagy egyforma méretben, vagy felfelé

növekvő mérettel még 2-3-4 tányér kerülhet rögzítésre, változó távolságokban. A tányérok a menetemelkedés egész számú többszörösével vannak kiosztva, hogy behajtáskor minimalizálják a talajszerkezetbe bevitt zavart.



2. ábra Cölöptoldás és különböző cölöpfej kialakítások

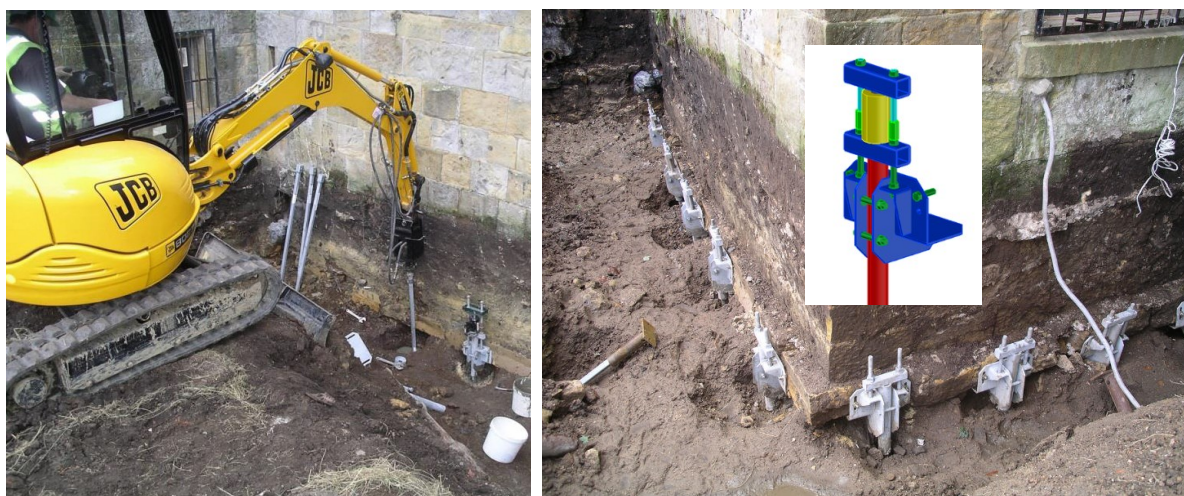
A vezető elem vége elő van készítve a toldó elem csatlakozására. A két cső egymásba csúszását biztosítani kell, a kapcsolatnak nem szabad ketyognia, de szorulnia sem. A kapcsolatot 1-2-3 nyírt csappal szokás biztosítani. A toldócsövek másik végére kerül rögzítésre a fejegység. Ez a cölöp funkciójához illeszkedő fej típus, amely lehet egy egyszerű fejlemez (esetleg hegesztett betonacélokkal), U kengyel, vagy a megerősítésekhez használt speciális kialakítású szerelvény.

ALKALMAZÁSI TERÜLETEK



3. ábra Gyámoltott lemez és sávalapok

A nyomott cölöpök felhasználási módja a hagyományos vasbeton szerkezetek gyámoltása, illetve a beton alappal rendelkező megsüllyedt épületek megerősítése, aljzatok alá cölöpözése. A cölöpök teherbírása az alkalmazott cölöpparaméterek és talajjellemzők függvénye, 50kN-2500kN teherbírás érhető el. A megerősítéseknél a korlátozott hely miatt kisebb a behajtó berendezés is, a praktikus cölöpteherbírás 50kN-300kN. A cölöpökre való átterhelés során a szerkezet megemelése lehetséges.



4. ábra Megerősítések

A lábakon álló szerkezetek esetében nem mindig van szükség mélyalapozásra. A lábakon álló szerelt technológiát szükségessé tehetik más szempontok is (pl. nehéz megközelíthetőség, nem juttatható fel beton stb.) Ezeknél a szerkezeteknél jellemzően 50kN, vagy az alatti teherbírások szükségesek. Ezt a teherbírást a nem csavartányéros talajcsavarok is képesek felvenni, így jellemző a felhasználásuk, kiváltképp a pontos telepíthetőség miatt (a lábakon álló szerkezeteknél általában szigorúbb a cölöpök pozíciójának mérettűrése). A könnyűszerkezetes házaknál a meredek terepeken is ideális megoldás a talajcsavaros alapozás, a lábakra állított szerkezet nem igényel semmilyen földmunkát.



5. ábra Vízi létesítmények (© Szabó-Tetőmester Kft.)



6. ábra Könnyűszerkezetes házak (©TechnoMetalPost)

A húzott cölöpkalkalmazások között megemlíthető a talajszegezés, a munkatérhatárolásoknál szükséges talajhorgonyzás, a közművezetékek felúszás elleni lehorgonyzása. Ezeknél az alkalmazásoknál a csavartányéros horgonyok is előfeszíthetők. A gyakorlati szempontból még előnyösen használható méretek mellett az elérhető húzási teherbírás 100-300kN / horgony. Előnyei között említhető a duktilis viselkedés, és a fokozatos tönkremenetel, amely annak köszönhető, hogy nem súrlódáson alapul az erőjátéka. Az offshore jellegű létesítményeknél a nagy befogási nyomatók felvételénél készültek már próbaterheléssel igazolt 3000kN húzási teherbírású cölöpök is.



7. ábra Talajhorgonyként való alkalmazás (©Chance)

ELŐNYÖK

1. gyors (akár 30-40 cölöp/nap)
2. nehezen hozzáférhető helyeken is alkalmazható
3. nincs kitermelt föld

4. tetszőleges szögben telepíthetők
5. felvonulási eszközök és költségek kisebbek
6. egy munkaeszköz elegendő minden funkciójú felhasználáshoz
7. ütésektől, vibrációtól mentes, csendes telepítés
(műemlékvédelmi, rézsúállékonysági szempontok)
8. telepítés után azonnal terhelhető
9. a cölöpök visszanyerhetők
10. kedvező szeizmikus jellemzők (duktilitás, csillapítás)

TERVEZÉS

1. Próbaterheléssel támogatott tervezés az Eurocode 7 szerint

$$R_{c;d} = \frac{R_{c;m}}{\gamma_b \cdot \xi}, \quad \gamma_b = 1,1 \quad \text{és} \quad \xi = 1,0 - 1,4 \quad (1)$$

A statikus próbaterhelés gyorsabb, és kisebb költséggel jár, mint más technológiáknál. Ez magyarázható azzal, hogy kisebbek a felvonulási költségek, telepítés után nincs technológiai szünet, a cölöpök azonnal terhelhetők, majd a végén visszanyerhetők, és újra felhasználhatók. Teherbírásnak általában a tényarátmérő 8%-nak megfelelő süllyedésnél kapott értéket vesszük, vagy a Davisson módszert alkalmazzuk. A parciális biztonsági tényezőt útmutatás hiányában a vert cölöpökre vonatkozó értékekből vesszük fel, de Stanier és Black (Sheffield Egyetem, UK) ajánlása szerint a csavartányéros cölöpök minden teherviselési módjára a többi technológiához hasonlóan alacsony, 1,1 értéket lehet alkalmazni.

A talajcsavarok esetében – számítási elmélet hiányában – minden alkalmazás próbaterheléssel ellenőrizendő.



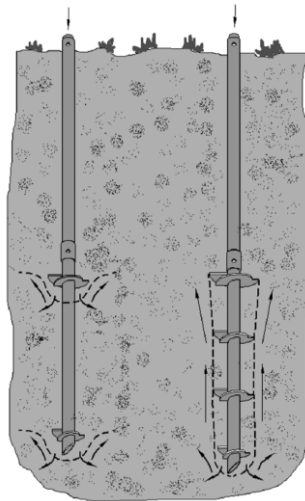
8. ábra Nagy teherbírású cölöp (~1000kN) (©Piletech) és talajcsavar (30kN) próbaterhelése

2. Általános számítási módszerek

- talajtörési ellenállás (Meyerhof)

A kör alakú tányérok alaktényezőivel a talajtörési ellenállás a (2) szerinti formát veszi fel. A függőleges hatékony feszültség nem növekszik a mélységgel végtelenül, kísérletek alapján az átlagos tányérátmérő kétszeresét vesszük hatékony mélységnek.

$$q = cN_c + q'(N_q - 1) + 0.5\gamma N_\gamma \quad R_{b,m} = \sum_n A_{b_n} \cdot q_n \quad (2)$$



9. ábra Talajtörés (b) és hengerpalást nyírása (j) (©Perko)

- hengerpalást nyírési ellenállása

Az üreges cső alján a legtöbb esetben talajdugó keletkezik, a (3) képlet ennek a kellő beágyazását feltételezve írja le a mechanizmust. A képlet második tagja az átszakadó hengerpalást mentén fellépő nyírési ellenállást írja le. Kötétt talajoknál ez a kohézióval számítható, szemcsés talajoknál szakirodalmi ajánlás elérhető.

$$R_{b,m} = qA_b + T(n - 1)\pi D_{AVG} \quad (3)$$

- empirikus módszer: behajtási nyomaték korrelációja

A behajtáskor mérhető nyomaték tapasztalati úton információt ad a várható teherbírásról (húzás és nyomás esetében is). Az adott nyomatékra való behajtást egy másodlagos, terepen végzett tervezési biztonsági elemként kezeljük, a terven előírjuk a szükséges mértékét.

$$R_{b,m} = K_t \cdot T, \text{ ahol } K_t \text{ a korrelációs tényező} \quad (4)$$

Minden módszerre érvényes: $R_{b,d} = \frac{R_{b,m}}{\gamma_r}$ ahol:

1. táblázat. Az összevont ellenállás oldali parciális biztonsági tényező

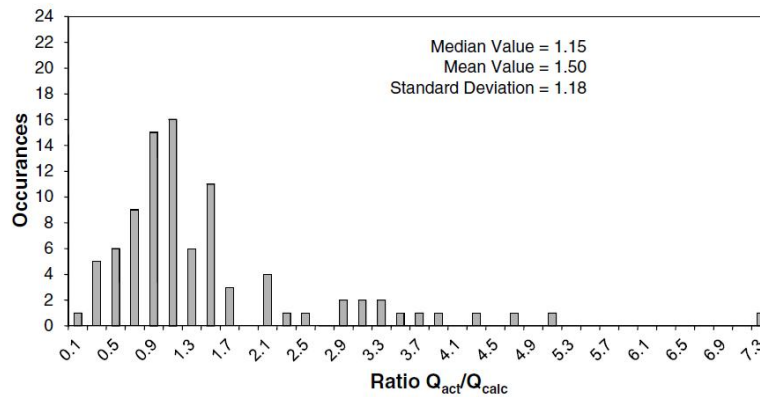
biztonsági tényezők felvételének módja	összevont ellenállás oldali parciális biztonsági tényező
MSZ EN1997-1 (vert cölöpök)	$\gamma_r = \gamma_b \cdot \xi \cdot \gamma_m = 1,1 \cdot 1,4 \cdot 1,3 = 2,0$
kanadai előírás (CFEM)	$\gamma_r = 2,5$
próbatelhelésekkel kalibrált módszer*	$\gamma_r = 2,0$

* abban az esetben, ha az általános számítási módszerek kombinálva vannak a telepítésre előírt behajtási nyomatékkal. Az MSZ EN 1997-1 7.4.1. pontja alapján *„tapasztalati vagy elméleti méretezési módszerek, akkor alkalmazhatók, ha érvényességét hasonló adottságú cölöpök statikus próbatelhelései bizonyították”*. A három említett számítási eljárást az elmúlt évtizedek során számos próbatelhelés igazolta (9. ábra ebből mutat egy sorozatot). A parciális biztonsági tényező a szabványos megbízhatósági indexhez ezek alapján van kalibrálva.

A csavartányéros cölöpök CPT korrelációs tervezésére a gyakorlatban alkalmazzák az LCPC módszert, de a túlkonzolidált agyagoknál módosítani kell, mert jelentős túlbecslést ad. Az EN1997 szerinti CPT korrelációs eljárás is használható, de a több tányéros cölöpök esetén körültekintéssel kell eljárni a q_c értékek felvételénél.

A cölöpök szilárdsági méretezésekor figyelemmel kell lenni a behajtáskor fellépő csavarásra, a tányérok teherbírására, a csatlakozások méretezésére, és szélsőséges esetben a cölöp kihajlására. A vízszintes erőkkel szembeni teherbírás számítási eljárásai nagy vonalakban egyeznek az egyéb technológiáknál alkalmazott módszerekkel. A csavartányéros

cölöpök esetén lehetőség van akár 45°-ban is telepíteni cölöpöket, így a felépítmény kellő összefogása esetén nagyfokú oldalirányú teherbírás érhető el.



9. ábra Nyomatéki korrelációval tervezett cölöpök validálása. A modellhiba sűrűségfüggvénye. (©Hoyt&Clemence,1989)

KORRÓZIÓS ÉLETTARTAM

Az élettartam kimutatása a korróziós sebességen alapul. Méretezéskor a tervezett élettartamnak megfelelő korróziós veszteséget kell figyelembe venni az acél elemek vastagságánál. Általános érvényű megállapítás, hogy a laza, oxigénnel átjárt talajrétegekben jelentősebb korrózióra lehet számítani, mint a merev, kötött talajokban. Az acélszerkezetek föld alatti korróziós veszteségére vonatkozóan az MSZ EN 1993-5 (Szádfalak) és az MSZ EN 14199 (Mikrocölöpök) adnak útmutatást. Zavartalan természetes talajokban 12 $\mu\text{m}/\text{év}$ acélkorrózióval kell számolni (oldalanként). Ugyanez az érték tömörítetlen feltöltéseknél 24 $\mu\text{m}/\text{év}$.

Tűzihorganyzott felületvédelem esetén a földfelszín felett lévő cölöprészekre az ISO 14713-1 szabvány szerinti kitéti osztályokba vannak sorolva a horganykorróziós sebességek. Átlagos külvárosi környezetben (C3 kategória) 0,7-2 $\mu\text{m}/\text{év}$ értékkel lehet számolni. A talajban álló horganyzott felületek korróziós sebessége jelentősen függ a talaj kémiai jellemzőitől. Ezek értéke 1-4 $\mu\text{m}/\text{év}$ (pH függvényében) és 4-10 $\mu\text{m}/\text{év}$ (ellenállás függvényében) változik. Természetes talajokban a 2mm korróziós ráhagyással való tervezés 80 év élettartamot nyújt, a szabvány szerinti minimális tűzihorgany bevonattal pedig az élettartam meghaladja a 100 évet.

BEHAJTÓ ESZKÖZÖK

- kézi géppel, elektromos vagy hidraulikus (3-5 kNm nyomaték, ~100 kN teherbírásig)
- vezetősínes toronnyal (munkaeszközként, vagy önjáróként) (5-12 kNm nyomaték, ~250 kN teherbírásig)
- <20T munkagépre szerelt hidraulikus egységgel (3-20 kNm nyomaték, ~500 kN teherbírásig)
- >20T munkagépre szerelt hidraulikus egységgel (20-300 kNm nyomaték, ~3000 kN teherbírásig)



10. ábra Kézi gép, vezetősínes torony, 2T munkagép



11. ábra 6T homlokrakodó és 45T kotró (© Twining)

HAZAI ALKALMAZÁSOK (CSAVARTÁNYÉROS CÖLÖPÖK)



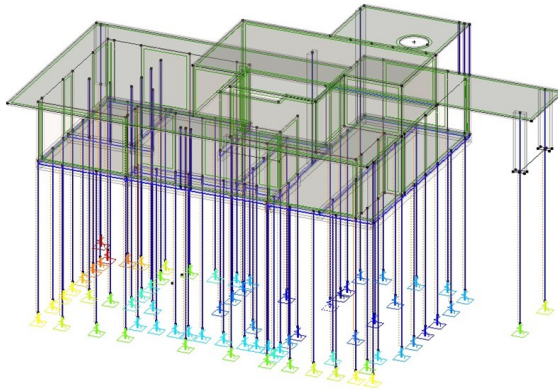
12. ábra Látogatóközpont, Szabolcsveresmart (cölöp: 80kN, 7,5m)
(Tervezés, Gyártás: Terra-Vallum Kft.
Kivitelezés: Szabó-Tetőmester Kft.)



13. ábra Gyalogos fahidak, Kisvárdá (cölöpcsoport: 360kN, 6m)
(Cölöptervezés, Gyártás: Terra-Vallum Kft.
Kivitelezés: Szabó-Tetőmester Kft.)



14. ábra Vízibázis és rendezvényközpont, Szabolcsveresmart
(gyámolított lemezalapot)
(Tervezés, Gyártás: Terra-Vallum Kft.
Kivitelezés: Szabó-Tetőmester Kft.)



15. ábra Lakóház, Balatonmárfafürdő
(gyámoltott sávalap, cölöp: 220kN, 8m)
(Tervezés, Gyártás, Kivitelezés: Terra-Vallum Kft.)



16. ábra Kilátó, Szabolcsveresmart
(Tervezés, Gyártás, Kivitelezés: Terra-Vallum Kft.)



17. ábra Lakóház, Dunaföldvár (gyámolított sávalap)
(Tervezés, Gyártás: Terra-Vallum Kft.
Kivitelezés: talajcsavar.hu)



18. ábra Könnyűszerkezetes ház, Orfű (talajcsavaros alapozás)
(Tervezés: Terra-Vallum Kft., Kivitelezés: talajcsavar.hu)