

# TALAJJAVÍTÁS - GABONASILÓ ÉPÍTÉSE VASALATLAN BETONOSZLOPPAL

## SOIL IMPROVMENT - GRAIN SILOS WITH UNREINFORCED CONCRETE PILES

Burghardt Balázs<sup>1</sup>, Schell Péter<sup>2</sup>, Szilvágyi László<sup>3</sup>, Szilvágyi Zsolt<sup>4</sup>  
<sup>1...4</sup> Geoplan Kft.

### Összefoglalás

*Az Alföld területén gabonatarló silórendszer terveztek, előzetesen síkalappal. Később a süllyedés vizsgálata nagy alakváltozásokat mutatott, emiatt az alapozási koncepció megváltoztatása vált szükségessé. Az előzetes vizsgálatok kiegészítésére az engedélyezési tervhez 2 db statikus szondázást készítettünk, és cölöpalapozással oldottuk meg a süllyedések csökkentését. Később a nyertes Kivitelező Vállalkozó felkérésére további 7 db CPT szondázás készült, majd pontosítva a teherbírasi és alakváltozási kérdéseket, korszerű talajjavítási technológiával kerülhetett sor az alapozás gazdaságosabbá tételére, a CFA cölöpalapokat talajkiszorítási betonoszlopok váltották ki.*

### Abstract

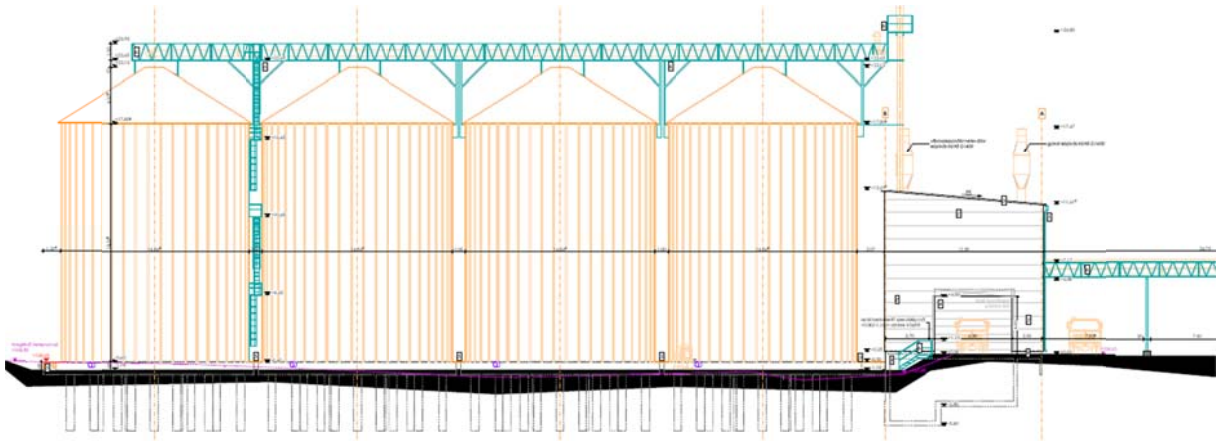
*A grain silo was designed in the Alföld area, initially with slab foundation. However, after assessing the settlements of the subsoil, large deformations were expected, and therefore a new foundation concept had to be designed. In order to have comprehensive knowledge about the stratification, the preliminary tests were supplemented with two additional CPTs based on which CFA pile foundation has been designed for the approval plans. Later we were hired by the contractor to further reduce the risk of differential settlements. Further 7 CPTs were carried out and detailed FEM calculations were performed. After reevaluating the issues regarding bearing capacity and deformation, using the most up-to-date soil conditioning technology, the CFA piles were replaced with unreinforced concrete piles, which perform as a soil improvement and therefore reduce settlements. Based on this the concrete slab has also been redesigned thus making the whole foundation more economical.*

### Kulcsszavak/Keywords

*cölöpalapozás, talajjavítás, süllyedésanalízis  
pile foundation, soil improvement, settlement analysis*

## 1. Előzmény

Kunszállástól északra, a Júlia Malom Kft. üzembővítése céljából, jelenleg szántóföldi művelésű területen gabonátároló silórendszert létesítenek. A 24.000 tonnás, kb. 34 m x 64 m befoglaló méretű gabonasiló rendszert összesen 8 db egyedi siló alkotja. Ezek két sorban kerülnek elhelyezésre. Egy-egy siló alatt 98 cm vastag, 14.9 m átmérőjű, kör alaprajzú vasbeton lemez épül.



1. ábra: A tervezett létesítmény metszete

Társaságunk 2015. március hónapban kapcsolódott be a tervezésbe a Generáltervező (M Mérnöki Iroda Kft.) felkérésére. Feladatunk engedélyezési terv szinten az alapozás koncepciójának kidolgozása volt, a Generáltervezővel szorosan együttműködve.

A munkavégzéshez rendelkezésünkre állt az Ammonitesz Bt. területre vonatkozó előzetes geotechnikai vizsgálata (1 db talajmechanikai fúrás, 1 db statikus szonda és 2 db dinamikus szonda). A rendelkezésre álló költségkeret alapján további 2 db statikus szonda elkészítésére volt lehetőségünk.

2015. augusztus hónapban már a Kivitelező Vállalkozó HBM Kft.-től cégünk újabb felkérést kapott. Ekkor a feladat a végleges engedélyezési tervben szereplő CFA cölöpalapozás talajjavítással történő kiváltásának megtervezése volt. A korábbi geotechnikai vizsgálatok kiegészítésére ehhez a HBM Kft. további 7 db CPT vizsgálatot mélyítettett.

## 2. Helyszín leírása, geológia

A vizsgált helyszín a Duna-Tisza közén, ezen belül a Kiskunságon helyezkedik el, Kunszállástól északra, az M5 autópálya szomszédságában.

A terület földtani adottságait az Alföld több geológiai koron is átnyúló, hosszan tartó medencesüllyedése alakította ki. A térségben a negyedidőszakot több száz méter vastag üledék rétegsor képviseli. A felszínközeli

rétegek szélhordta üledékekből - futóhomok, lösz és ezek elváltozásából keletkezett anyagokból állnak. Az eolikus üledékek megmaradását az tette lehetővé, hogy a hátság a pleisztocénban lassabban süllyedt, mint a környezete, így viszonylagosan kiemelt helyzetben maradt. Ennek megfelelően a folyóvízi feltöltés nem számottevő a szélhordta üledékekhez képest. A holocén, pleisztocén futóhomok és lösz rétegek között azonban humuszos szintek is települnek, helyenként agyag, agyagos iszap is előfordul.

A legfiatalabb képződmény az általában 1 - 2 m vastag, néhol 4 - 5 m-t is elérő újholocén lepelhomok, a mélyen fekvő területeken pedig a réti agyag, szikes, humuszos agyag.



2-2. kép: A vizsgált terület légi felvétele és fotója (2015. február)

### 3. Talajrétegződés, talajvíz

A feltárási eredmények alapján hat jellemző réteget lehetett elkülöníteni. A talajok megnevezését a korábbi fúrás vizsgálat és a jellemző szondaellenállások figyelembevételével határoztuk meg, a réteghatárokat a CPT szondázásokban tapasztalt markáns ellenállás- és súrlódási arányszám változások helyén vettük fel.

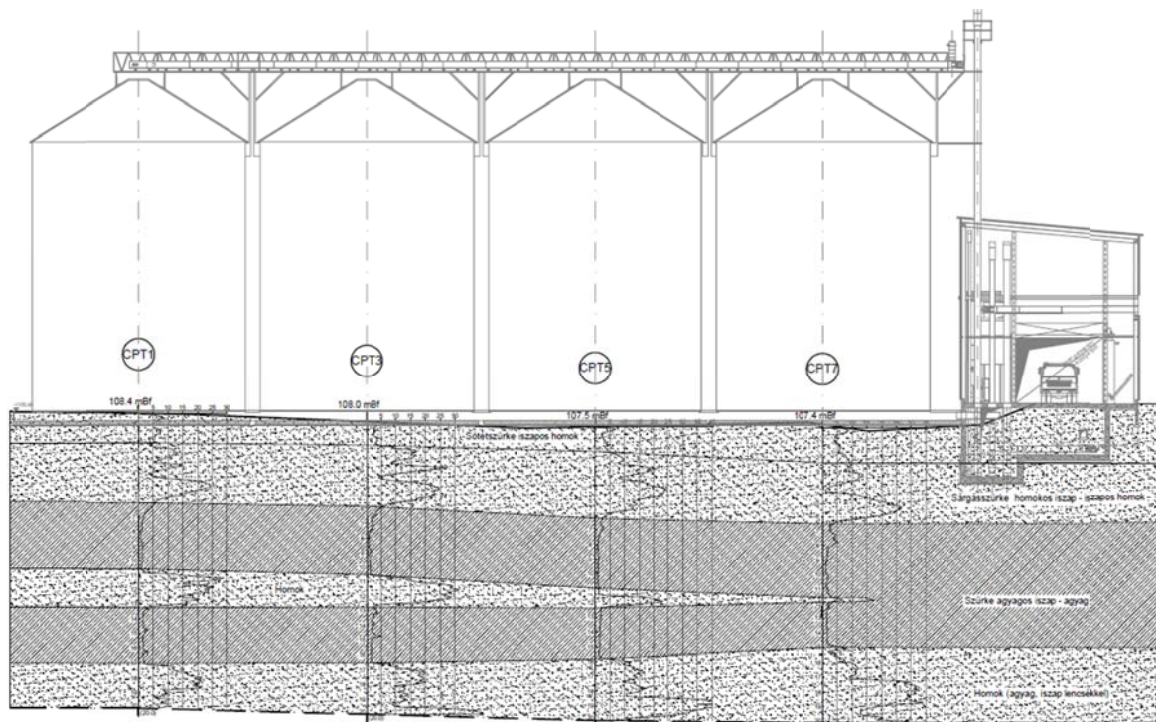
A felszínt jellemzően 1 - 2 m vastag laza állapotú, humuszos, szervesnyomos iszapos homok fedőréteg alkotja. Ezt követően 6 - 7 m mélységig eleinte közepesen tömör, majd mélyebben tömör településű iszapos homok - homokos iszap talajok fordultak elő, majd 10.5 - 11.5 m

mélységig laza állapotú, gyenge teherbírású iszap - agyagos (homokos) iszap jelentkezett.

Ezen réteg alatt 12 - 13 m mélységig egy kedvezőbb állapotú, közepesen tömör homok réteg jelent meg. A tervezés szempontjából fontos körülmény, hogy ez a réteg a terület ÉK-i oldalán - ahol az előzetes tervezés egyetlen CPT vizsgálata készült - még 3 m-es vastagságú, DNy-i irányban azonban fokozatosan elvékonyodik.

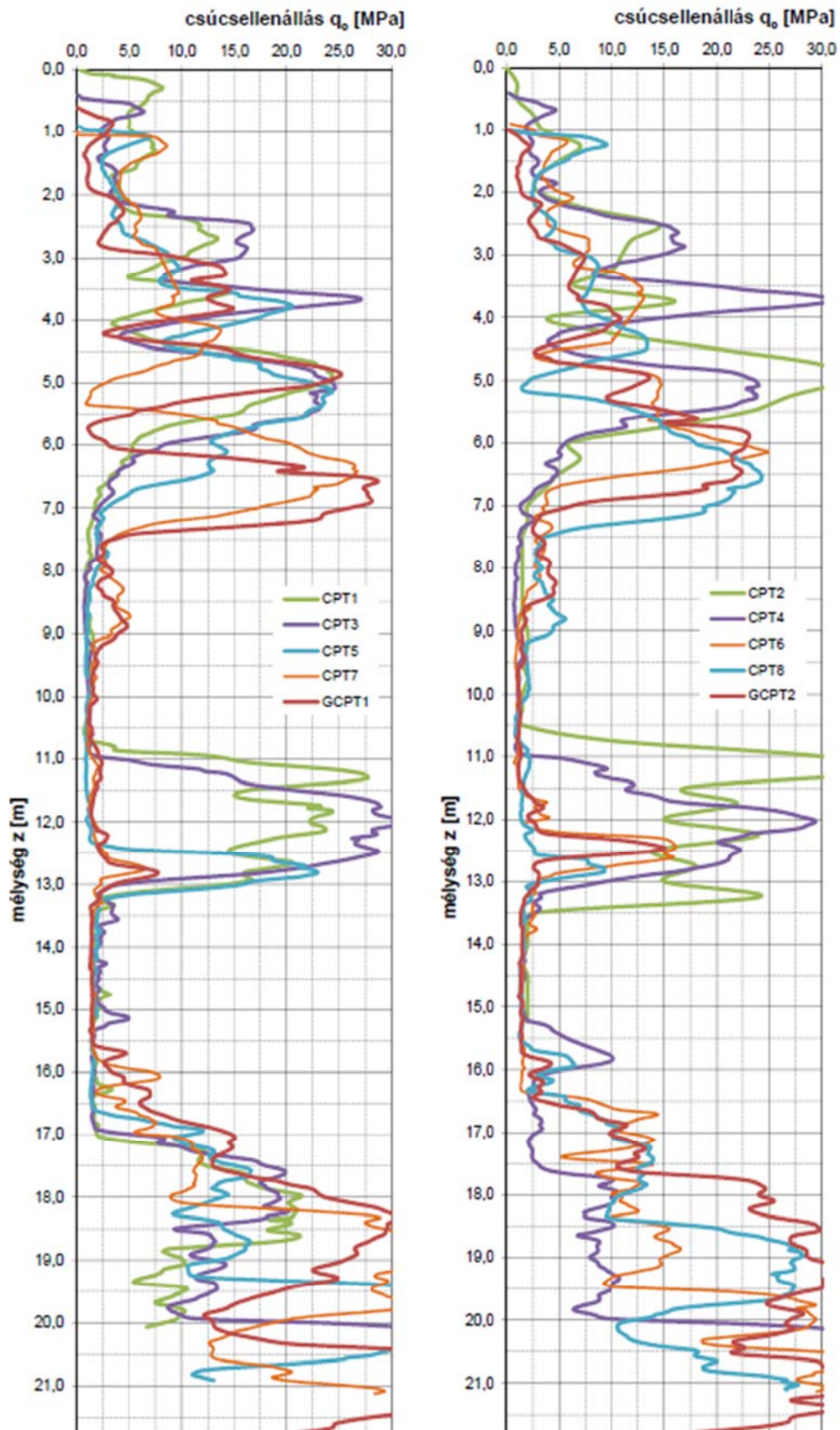
A homok réteg alatt, 15 - 17 m mélységig ismét iszap - agyagos (homokos) iszap települt a korábbiakban feltárt hasonló talajokkal azonos szondaellenállással. 15 - 17 m mélységtől újabb jó teherbírású homok réteg következett. A szonda ellenállás helyenként tapasztalható visszaesése ebben a tartományban lencseszerű agyagos, iszapos betelepüléseket jelzett.

A területen készült fúrás alapján a nyugalmi talajvízszint a felszín alatt 4.60 m mélységben jelentkezett, a mértékadó talajvízszintet a terepszint alatt 2.5 m mélységben vettük figyelembe.



2. ábra: Jellemző hosszirányú rétegszelvény

Az elkészült jelentős számú szonda vizsgálat lehetőséget adott a terület talajadottságainak pontos megismeréséhez. Az összességében lemélyített 10 db statikus szondázás között csupán kismértékű, de - a tervezés folyamata, a cölöpcsúcs megválasztása szempontjából mégis - fontos különbségek rajzolódtak ki.



3. ábra: A statikus szondázások csúcsellenállás diagramjai összevontan ábrázolva

## **4. A tervezési folyamat**

A 2015 márciusában készített engedélyezési terv számításaihoz rendelkezésünkre állt tehát a 2014 decemberében készült előzetes geotechnikai dokumentáció. Ehhez 1 db 12 m mélységű fúrás, 1 db 15 m mélységű statikus szonda és 2 db 15 m mélységű dinamikus szonda készült. Az alapozást egy nagyobb vastagságú talajcserére kerülő síkalapozással, vagy mélyalapozással, esetleg talajjavítással (kavicscölöp, mélytömörítés stb.) javasolta megoldani, kiemelve ugyanakkor a későbbi tervfázisokban elvégzendő süllyedésanalízis fontosságát.

A projekt előzetes költségkalkulációja ez alapján 2 m talajcserére történő síkalapozás figyelembevételével készült.

Tekintettel a silók terheléséből adódó lehatási mélységre a süllyedésanalízishez a mélyebb talajzónák paramétereinek megismerése vált elengedhetetlenné. Cégünk a második ütemben ezért további 2 db 25 m mélységű statikus szondát készíttetett.

A két vizsgálatból kiderült, hogy a laza állapotú, gyenge teherbírású iszap - agyagos iszap rétegösszlet alatt 15 – 17 m mélységtől kedvező adottságú homok réteg települt, illetve világosan látszott az is, hogy a 10 és 13 m között található homokréteg DNy-i irányban fokozatosan és jelentősen elvékonyodik, bizonyos helyeken a réteg hiányzik. A két új szondázás természetesen lehetővé tette a talajparaméterek pontosítását is.

### **4.1. Síkalapozás**

A kiindulási paraméterek pontosítása után a síkalapra közelítő süllyedés-számítást végeztünk. Készült kalkuláció a 3 CPT szonda eredményeinek együttes értékeléséből felvehető legjellemzőbb összenyomódási modulusokkal, illetve az egyes CPT-k eredményeit külön értékelve is vizsgáltuk a süllyedéseket, annak érdekében, hogy az esetleges süllyedéskülönbségeket feltárhassuk.

A közelítő számításokból 20 - 24 cm közötti maximális süllyedések adódtak.

Ezt követően vizsgáltuk a felső kb. 2 méter vastag réteget érintő talajcsere, illetve egy esetleges talajstabilizáció építésének hatásait. A terhelésből adódó nagy lehatási mélység miatt azonban ezekkel a módszerekkel a süllyedések csak kismértékben csökkentek (kb. 18 cm).

A közelítő számítások után Plaxis végeeselemes programmal is megvizsgáltuk a süllyedéseket. A maximális süllyedés 24.4 cm-re, a lemezközép és a lemezszél süllyedéskülönbsége 4 - 5 cm-re adódott. Ezek az értékek

teljesen összhangban voltak a közelítő számítások eredményeivel. Tekintettel arra, hogy a talajrétegződésbeli változékonyság miatt további kb. 4 cm nagyságrendű süllyedéskülönbségre lehetett számítani, a Generáltervezővel egyeztetve a fentiek alapján a mélyalapozás szükségessége mellett döntöttünk. Ez a körülmény nyilvánvalóan a projekt költség szintjére is jelentős negatív kihatással volt.

## **4.2. Mélyalapozás**

Az előzetes geotechnikai vizsgálatok során készült egyetlen CPT vizsgálat alapján egyértelműnek tűnhetett, hogy mélyalapozás esetén a cölöpcsúcsot valahol 11 – 12 m között kell megválasztani.

Az újabb vizsgálatok már nagyobb óvatosságra intettek, így az engedélyezési tervek készítése során a cölöpcsúcsot már úgy választottuk meg, hogy az mindenütt a kedvezőbb teherbírású alsó (15 – 17 m alatti) homok rétegbe kerüljön. A tervek a mai hazai mélyépítő piacot figyelembe véve „versenysemleges”-nek nevezhető CFA cölöpre készültek. Silónként 28 db 17 m-es hosszúságú, 60 cm átmérőjű cölöpöt terveztünk. A tervben jeleztük, hogy a süllyedéscsökkentési igény miatt alternatívaként felmerülhet talajkiszorításos cölöpök alkalmazása is, amennyiben ezek elkészítésének a nagyobb mélységigény nem jelent akadályt.

A függőleges terhek vonatkozásában teherbírási probléma nem merült fel, a maximális süllyedések a silóteher hatására ~7,6 cm-re adódtak. Két siló között - a cölöpösszefogó lemez két szélén - pedig ~7,4 cm és ~5,4 cm süllyedést számítottunk. A várható süllyedéskülönbség tehát kb. 2 cm-re adódott. A számítások során a cölöpöket a 2D modellben ún. „embedded pile” elemekkel modelleztük, amely figyelembe veszi a modellezési síkra merőleges kiosztást is.

## **4.3. Talajjavítás**

A projekt mélyépítési feladatait - a tender időszakban lezajlott műszaki egyeztetéseket követően - végül a HBM Kft. nyerte el. Ők arra való tekintettel, hogy a legfőbb geotechnikai feladat a beruházás keretében az alakváltozások csökkentése volt, ajánlatukban - a tervezett vasbeton cölöpök helyett - alternatív megoldásként vasalatlan beton cölöpök építésével kalkuláltak.

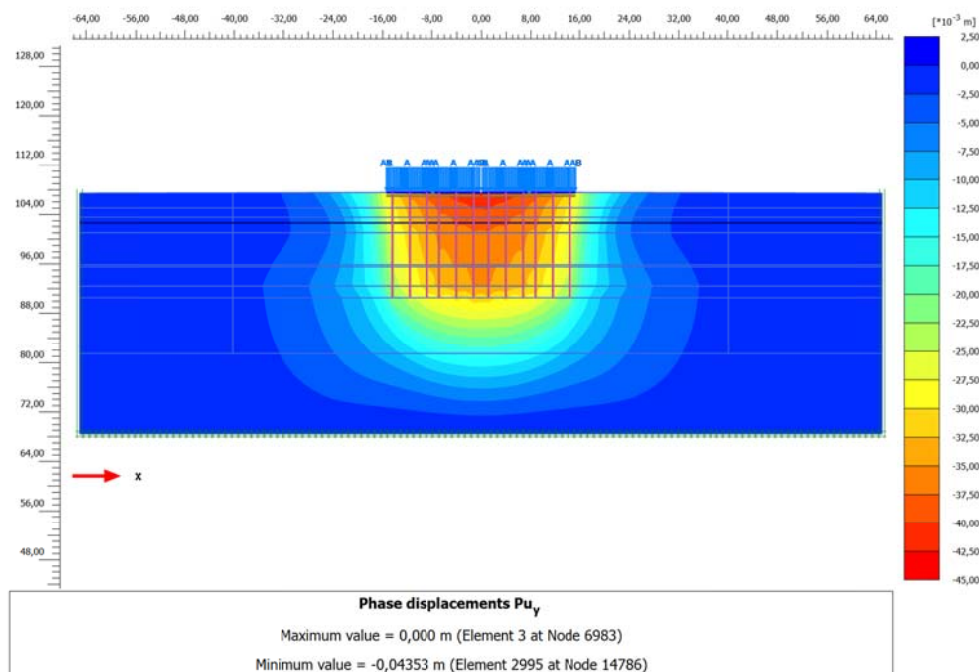
2015 augusztusában tehát már a HBM Kft. felkérésére az alapozási rendszer áttervezésére kaptunk megbízást, kiviteli terv szinten. Ehhez Kivitelező újabb 7 db 20 m mély CPT szondázást végeztetett, lehetővé téve a geotechnikai paraméter felvétel és a számítások további pontosítását.

A cölöpkészítés technológiájának változása és a kiegészítő feltárások nagy száma az egyedi cölöpteherbírás számítására jelentős hatást gyakoroltak. A korrelációs tényezők a 3. ábra szerint megváltoztak. Látható, hogy a vizsgálatok számának növelése a korrelációs tényező csökkenését vonja maga után, mely a teherbírás növekedését eredményezi.

talaj- vizs- gálat száma	korrelációs tényező	
	átlagra vonatkozóan	minimumra vonatkozóan
	$\xi_{mean}$	$\xi_{min}$
1	1,40	1,40
2	1,35	1,27
3	1,33	1,23
4	1,31	1,20
5	1,29	1,15
6	1,28	1,13
7	1,27	1,12
8	1,26	1,10
9	1,26	1,09
10	1,25	1,08
11	1,25	1,08
12	1,25	1,08
Alk. tényező	1,25	1,08

4. ábra: Korrelációs tényezők

A számítások során végeredményben azonos cölöpkiosztás és cölöphossz alkalmazásával, kisebb (50 cm) cölöpátmérővel közel azonos teherbírást értünk el. A süllyedésszámítást ebben az esetben is Plaxis végeleemes programmal végeztük.



5. ábra: Süllyedések silóteher hatására



Az alkalmazott műszaki megoldással - a CFA cölöpös verzióhoz képest - az alakváltozások érdemben nem változtak, közel azonos süllyedéseket számítottunk. A silóteher hatására, lemezközépen a két eltérő talajrétegződésű szelvényben a süllyedések  $\sim 4.4 - 4.5$  cm-re adódtak. A cölöpös-szefogó lemez két szélén  $\sim 3.0$  cm és  $\sim 3.3$  cm függőleges elmozdulást kalkuláltunk, tehát a várható süllyedéskülönbség 1.4 cm-re adódott.

A vízszintes terhelést az alaplemez és az alá kerülő daráltbeton ágyazat között fellépő súrlódás útján veszi fel a szerkezet.

Az alaplemez alatti talajerősítő beton oszlopok vasalás nélkül kerültek kialakításra, az alaplemezbe történő bekötésük nem volt indokolt, mivel teherbírási probléma nem merült fel, a fő cél a süllyedések csökkentése volt.

Itt kell megjegyezni, hogy a helyben betonozott, talaj-kiszorításos cölöpök számos előnnyel rendelkeznek az eltérő technológiájú cölöpökkel szemben. Ezek közül kiemelhető a jobb teherátadás - teherbírás, a kisebb betonmennyiség, a munka következtében elszállítandó minimális talajmennyiség és a gyors kivitelezhetőség. A Mélyépítő Vállalkozó által az adott talajkörnyezeten végül eredményesen alkalmazott műszaki megoldás a beruházás költségeinek korábbi negatív irányba történt eltolódását kissé kedvezőbb helyzetbe hozta.

## 5. Összefoglalás

Az előzőekben igyekeztünk bemutatni, hogy a talajkörnyezet részletes megismerése egy-egy beruházás kapcsán milyen jelentőséggel bír. A mindennapi gyakorlatban sokszor találkozunk a problémával. A nehéz versenyfeltételek mellett gyakorta merül fel, hogy vajon miért kíván a geotechnikus az előkészítő tervfázisokban annyi vizsgálatot elkészíteni. Hova sietünk? Elég lenne ezt majd a kivitelezőre hárítani. Ismét beigazolódtott, hogy a néhány százezer, netán millió forintos nagyságrendű – természetesen felelősségteljesen, a feladathoz igazítva elkészített – terepi és laboratóriumi vizsgálatok az esetek nagy részében megtérülnének és lehetővé tennék, hogy egy-egy beruházás során ne akkor kelljen a Beruházónak többletköltségekkel szembesülnie, amikor már „fájdalmas”.

Láthattuk, hogy a részletes feltárásokkal a rétegződésben levő anomáliára fény derülhetett, a süllyedés analízis precízen elvégezhető volt, a cölöpcsúcs kijelölése biztonsággal megtörténhetett. Ezeket a geotechnikai számításokat az előkészítő fázisban ugyanígy el lehetett volna készíteni, de ehhez a projekt résztvevőinek nyilvánvalóan a koncepcióalkotás során fel kellett volna ismerniük a geotechnikai vonatkozású problémákat és

már az előzetes vizsgálatokra szánt költségkeretet ennek megfelelően kellett volna megállapítani. A korábbiakban már több projekt esetében is láthattuk, hogy a geotechnikai tervezés során a megfelelő minőségű és mennyiségű talajfeltárás elengedhetetlen és messzemenőig megtérül. Ez a tétel ennél a projektnél is beigazolódott, a leggazdaságosabb műszaki megoldást a terepi vizsgálatok számának gyarapodásával együtt lehetett megtalálni, erre azonban sajnos ismét csak egy kevés feltáráson alapuló és emiatt nem a valós körülményekhez igazodó koncepció alapján elkészített előzetes terv és pontatlan költségvetés felállítását követően kerülhetett sor.