

A királyegyházi cementgyár geotechnikai tervezése

Wolf Ákos

Geoplan Kft., wolf@geoplan.hu

ÖSSZEFOGLALÁS: Magyarország déli részén, Pécsről nyugatra a Nostra Cement Kft. beruházásaként 2007. óta cementgyár létesítése zajlik. A cementgyár telepítése számos nagy terhelésű és kiterjedésű műtárgy építésével jár.

A Mecsek és a Villányi hegység közötti völgyben található építési területet nagy vastagságú harmad- és negyedidőszaki rétegsor alkotja. A geotechnikai feltárások 68-75 m mélyen érték el a felső pannóniai összletet, melyet a pleisztocén korban keletkezett „lejtőlössz” borít. A lösz keletkezésében a csapadék és oldalékvíz szállító tevékenysége és a lejtőmozgás játszotta a fő szerepet. A pleisztocén rétegsor jellemzően agyag kifejlődésű, puha állapotú, átázott, helyenként erősen mészkonkréciós, mészmurvás.

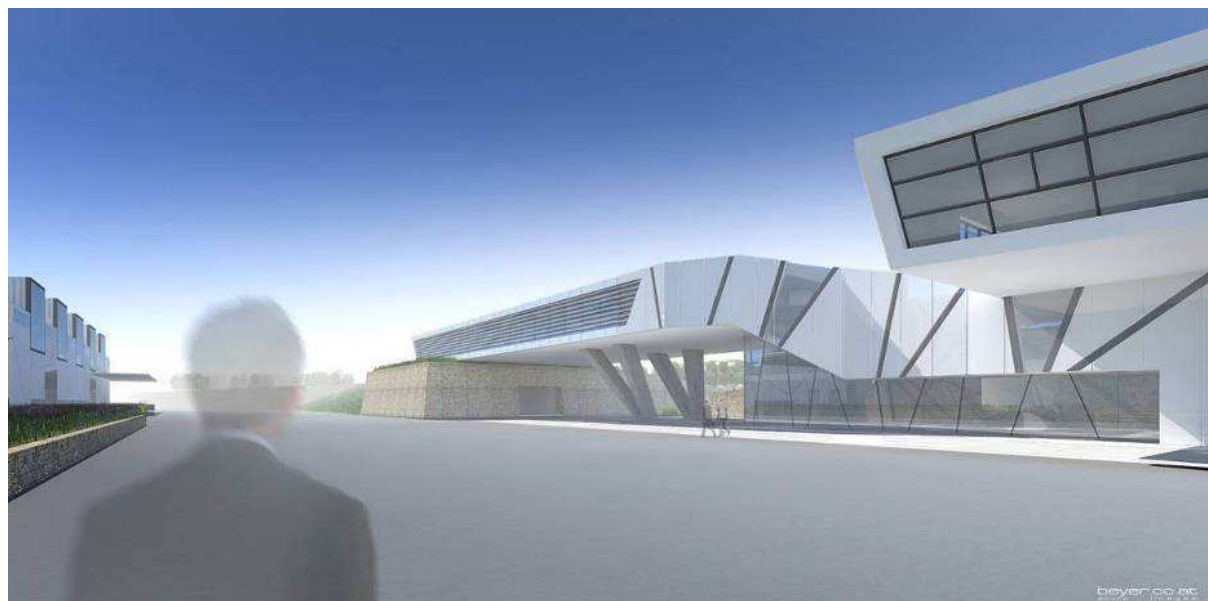
A különleges építmények és a kedvezőtlen talajadottságok miatt a műtárgyak alapozása és süllyedési korlátai jelentős problémákat vetnek fel. A geotechnikai tervezőnek e feladatok megoldása minden esetben nagy kihívást jelent. Ugyanakkor a beruházás mérete lehetővé teszi olyan megoldások alkalmazását is, melyeket szokványos kivitelezések esetén sem gazdasági sem pedig időbeli tényezők miatt nem használhatnak.

Kulcsszavak: cementgyár, pleisztocén, előterhelés

1 BEVEZETÉS

A Nostra Cement Kft. beruházásaként Magyarország déli részén, a Pécsről nyugatra található Királyegyháza külterületén 2007. óta cementgyár létesítése zajlik.

A Beruházó az építendő cementgyárral egy mintagyárat kíván létrehozni. Az épülő beruházás megfelel a mai kor előírásainak, és különös tekintettel elégti ki a környezetvédelmi kritériumokat. A gyártási folyamat bemutatása a látogatóknak alapvető szempont volt a gyár kialakításának tervezésekor. Ezt szolgálja a látványos irodaépület és a gyárat körülvevő 6 m magas töltés is, melyen végigsétálva a cementgyártás folyamatának teljes egésze nyomon követhető.



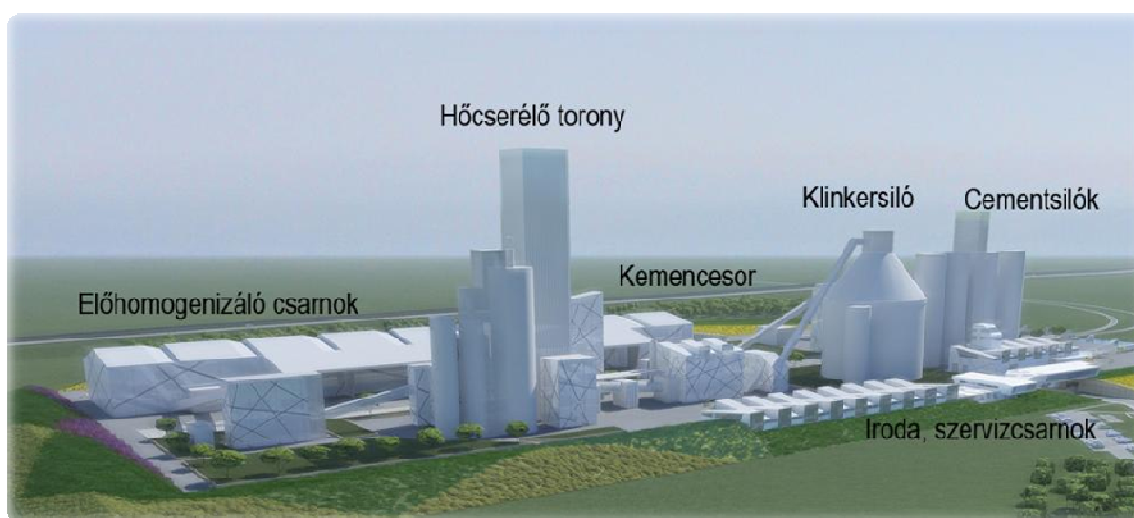
1. kép: Az irodaépület látványterve

Egy cementgyár helyének kiválasztásakor a legfontosabb szempontot az alapanyag - mészkő és agyag - és a késztermék szállításának megfelelő biztosítása jelenti. Minden egyéb tényező, így a geotechnikai kérdések is háttérbe szorulnak. A Mecsek és a Villányi hegység közötti völgyben található királyegyházi helyszín megválasztásánál is a döntő szempont ez volt. A cementhez szükséges mészkő a bükkösdi bányában áll rendelkezésre, azonban annak környezetében a Mecsek természeti védettsége a nagyméretű ipari épületek telepítését nem teszi lehetővé. A kiválasztott területre az alapanyagot a külön erre a célra kiépített vasúti pályán fogják szállítani, a késztermék elszállítására a vasúti közlekedés, a 6. sz. főút és az épülő M6-M60 autópálya közelsége ad lehetőséget.

1.1 Műtárgyak

Egy cementgyár létesítése során számos monumentális, nagy terhelésű műtárgy készül, melyek közül a legfontosabbakat az az alábbiakban soroljuk fel:

- **Nyersanyagtároló csarnok:** a cementgyártáshoz szükséges alapanyag egy 65 m fesztávolságú 260 m hosszú csarnokba kerül, melynek középső hosszanti tengelyében elhelyezett szögtámfal két oldalára deponálják a mészkő, agyag és égési termékeket, ezek 40 m szélességgel 14 m magassággal kerülnek elhelyezésre, egymástól harántfallal elválasztva
- **Hőcserélő torony:** az őrlést követően előálló nyerslisztet és az égési termékeket a 105 m magas, 19 x 25 m alapterületű hőcserélő toronyban egyesítik, a műtárgy vasbeton pillér-gerenda vázas szerkezetű, melyhez közvetlenül kapcsolódik a gyakorlatilag terheletlen, süllyedésérzékeny kemencesor
- **Klinkersiló:** az égetés során keletkező klinkert, mely a cement közvetlen alapanyaga, a maximálisan 90.000 t anyag tárolására alkalmas, 45 m átmérőjű, 50 m magas, kettős henger alakú silóban tárolják
- **Cementsilók:** a kész terméket 6 db egyenként 6000 t cement tárolására alkalmas, 14 m átmérőjű, 50 m magas silóban helyezik el
- **Iroda:** az gyárterület délkeleti részén a cementgyárat működtető, felügyelő személyzet részére egy építészetileg különleges iroda épül, mely egy kéttámaszú, ferde pillérekre támaszkodó, felső feszített födémre függesztett, hídszerűen kialakított szerkezet



2. kép: A cementgyár látványterve a fő létesítményekkel

2 TERVEZÉS

A cementgyár kiviteli terveihez társaságunk, a Geoplan Kft. készítette a geotechnikai munkarészt. A munkába szakértőként Szepesházi Róbertet vontuk be, a terület geológiai leírásában Kleb Béla működött közre. A statikus terveket a pécsi székhelyű M Mérnöki Iroda Kft. készítette Perl Tamás vezetésével.

A cementgyár geotechnikai tervezése már az új, bevezetés előtt álló Eurocode-7 előírásainak megfelelően történt. A feltárások, helyszíni vizsgálatok és laboratóriumi kísérletek eredményei alapján első lépésben talajvizsgálati jelentést készítettünk. A jelentésben megadtuk a terület geológiai leírását, a várható talajrétegződést, az egyes rétegekre vonatkozó jellemző talajfizikai paramétereket, illetve a tervezéshez szükséges alapadatokat.

Ez a jelentés és adathalmaz képezte a műtárgyakra külön-külön elkészített geotechnikai tervek alapját. A tervek minden esetben a statikus tervezővel való folyamatos konzultálás eredményeként kialakuló leggazdaságosabb megoldás részleteivel foglalkoznak.

A kivitelezés folyamán történő monitoring mérések alapján lehetőség van minden esetben a számított értékek ellenőrzésére, illetve a jövőben várható alakváltozások pontosabb becslésére.

3 TALAJADOTTSÁGOK

3.1 Geológia

Földrajzi szempontból az építési terület tágabb térsége a Dél-Zselic - dél-baranyai dombság és a Fekete-víz síkja természetföldtani kistáj határán, utóbbi északi részén terül el. A szűkebb terület a Bükkösdi-víz (Okor) keleti „lejtője”, 112-114 mBf magasságú enyhén tagolt síkság. A felszínt ÉÉNY-DDK-i irányban a vizeket összegyűjtő árokrendszer bontja meg.

Földtani szempontból a terület a Nyugati-Mecsek déli előterében, a Görcsönyi hátságtól nyugatra, a Dráva-völgy süllyedésének északi peremén helyezkedik el.

A terület középkori alaphegysége több száz méter mélységben található, a kivitelezést és a tervezést nem befolyásolja.

A földtani felépítésben vastag harmad- és negyedidőszaki rétegsor jellemző. A harmadidőszak végén a felső pannóniai beltó a Mecsek déli előterében öböl-szerűen benyúlt. A tervezett gyárterületen a felső-pannóniai összletet egy fúrás érte el 67,6 m mélységben. A fúrás alsó zónájában kékesszürke - szürke meszes puha iszap - mangánfoltos iszapos homok jelentkezett (3. kép).



3. kép. Felső pannóniai üledék

Több feltárásban kisebb mélységekben, a pleisztocén összletben szürke, erősen homokos rétegek települtek, melyek vélhetően áthalmozott pannóniai képződmények.

A pannóniai rétegek fedőjeként ismert, pliocén-alsópleisztocén korú Tengelici Vörösayag Formáció (Kolozsvári & Marsi, 1999; Kolozsvári & Marsi, 2002, Hun, 2002.) valamennyi nagy mélységű feltárásban jelentkezett, jellemzően 56-66 m mélységtől. A kőzetösszlet vörösesbarna téglaszínű, helyenként szürkefoltos, szürkecsíkos, elszórtan mészmurvás, nagy plaszticitású térfogatváltozó agyag (4. kép).



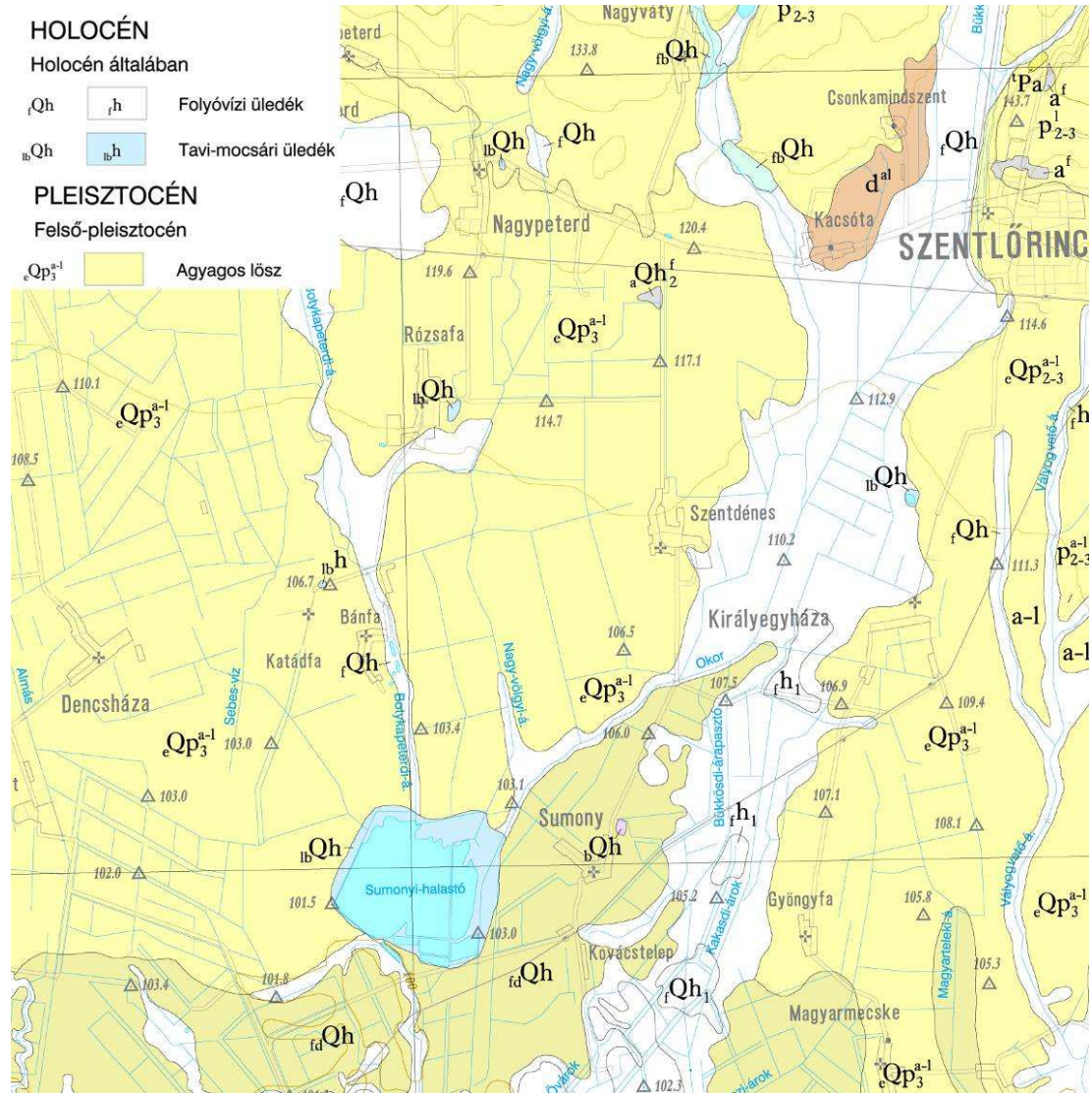
4. kép. Pliocén és alsó pleisztocén határa - Tengelici Vörösayag Formáció

A pleisztocén időszakában a Mecsek hegység peremi területein löszképződés folyt. Az alsó-középső pleisztocén lösz diulivális „lejtőlösz”, felhalmozódásában a csapadék és az olvadékvíz szállító tevékenysége és gyakran a lejtőmozgás játszott meghatározó szerepet (Moldvay, 1964, (Balogh, 1966). A területen található áthalmozott lösz szintezési besorolását nehezen lehet elvégezni, a nagy vastagságú rétegsort fő tömegében áthalmozott agyag alkotja, így egymáshoz közeli helyeken is jelentősen eltérő tulajdonságú rétegek települtek.

A lösz mállását és áthalmozottságát az a tény is megerősíti, hogy a feltárásokból vett talajminták a laboratóriumi azonosító vizsgálatok eredményei alapján majdnem 70 %-ban agyagnak minősülnek. Továbbá egyértelműen jelzik a lösz áthalmozottságát a különböző mélységekben megjelenő mészkőmurvás és mészkonkréciós zónák. A minták jellemzően sárga, barnássárga, sárgásbarna színűek, azonban a megfigyelhető mikrorétegzettség, sávozottság szintén az áthalmozottságot, időszakos tavi-, mocsári- patak völgyi lerakódást jelez.



5. kép. Pleisztocén lösz



1. ábra: A térség fedetlen földtani térképe

3.2 Talajfeltárás, laboratóriumi vizsgálatok

Az építési területen több ütemben készültek geotechnikai feltárások és vizsgálatok. A beépítési körülmények feltárását célzó területismertető szakvéleményhez 2006-ban jellemzően 10-15 m mély fúrásokat végeztek, 1-1 db 35-40 m mély vizsgálattal kiegészítve.

Ezt követően 2007 év elején 2 db statikus próbaterhelésre került sor. A próbaterheléseket a kivitelező technológiai kapacitásának megfelelően 22 m hosszú CFA cölöpökön végezték 80 és 100 cm átmérővel.

2007. március-április hónapban javaslatunkra 2 db 75 m mély fúrás és 6 db ~45 m mély CPT szondázás készült. E feltárások adtak áttekintő képet a gyárterület mélyebb rétegződésének geotechnikai viszonyairól.

Az előzetes eredmények alapján jelöltük ki a cementgyár kiviteli tervéhez szükséges geotechnikai feltárásokat. A vizsgálatokat minden esetben a műtárgyakra vonatkozó előzetes statikus adatszolgáltatá-

sai szerint tűztük ki. Összesen a geotechnikai tervekhez 31 db 15-46 m mély statikus szondázás (CPT) készült, melyek összhossza 795 fm. A talajrétegződés megismerésére 19 db 15-65 m mély nagyátmérőjű ($\Sigma 615$ fm) és 7 db kisátmérőjű talajmechanikai fúrás mélyítettünk.

A fúrásokból vett talajmintákon részletes laboratóriumi vizsgálatokat végeztünk. A talajazonosító laboratóriumi kísérletek mellett a mechanikai jellemzők meghatározására nagyszámú triaxiális nyíró-kísérletet, kompressziós vizsgálatot és egyirányú nyomókísérletet végeztettünk a Széchenyi István Egyetem Geotechnikai Laboratóriumában.

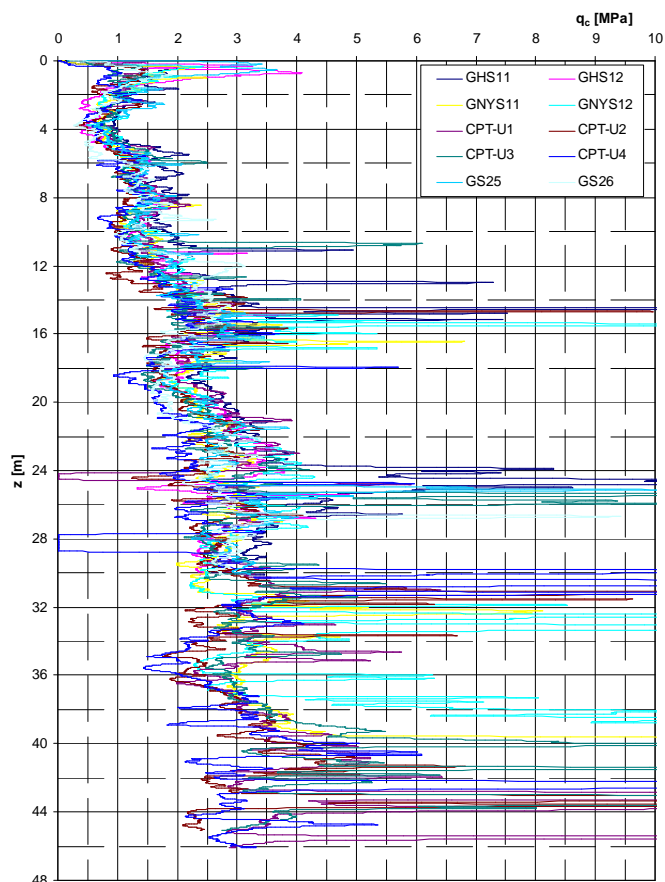
3.3 Talajrétegződés

A geotechnikai feltárások alapján a teljes gyárterületen a rétegződés nagyon hasonló, röviden az alábbiak szerint foglalható össze (Geoplan Kft., 2009.).

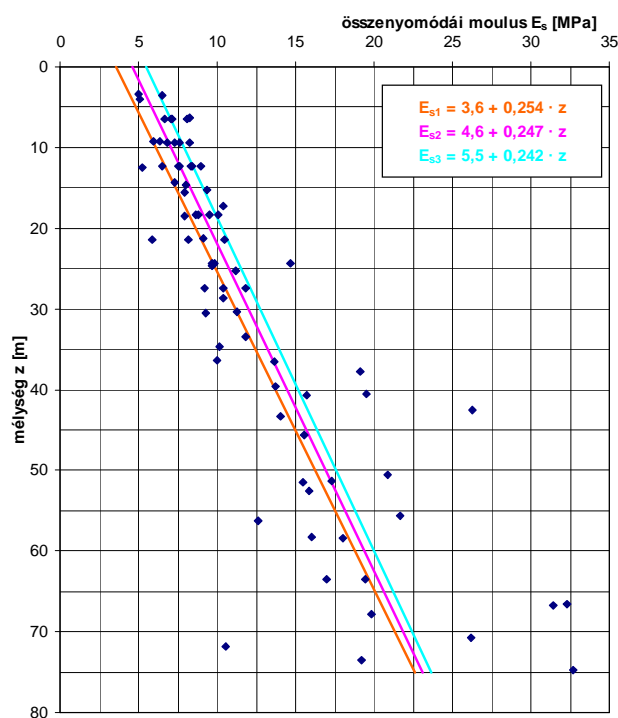
A felszint kb. 1 m vastag humuszos közepes-kövérgyag borítja. A termőréteg alatt 18-19 m mélységig puha homokos iszap-savány agyag talajok települtek, nagyon kötött réteg közbetelepülésekkel. E zóna helyenként finoman rétegzett, szürke és rozsdareggel tagolt, elszórtan feketefoltos. Ebben az összetételben néhol kisebb-nagyobb vastagságú mészkötőrmelék, mészkonkréciós sávok fordulnak elő.

18-19 m-től a fenti zónánál kötöttebb agyagösszlet kezdődik. A 42-43 m-ig tartó zóna alsó és felső 3-5 m vastag tartománya kötöttebb, közte a plaszticitás nagyon változó ($I_p = 13 - 46\%$). Az eltérő kötöttségben bizonyosan nagy szerepe van a meszeségnek, mely lényegében mindig jellemző, s gyakran nagyon erős.

42-43 m mélyen 1-2 m vastagságú erősen homokos iszap-savány agyag talaj települt. Ez alatt a feltárások teljes mélységéig kemény közepes-kövérgyagban haladtak.



2. ábra: Hőcserélő torony - CPT szondák



3. ábra: Összenyomódási modulus mélység szerinti változása

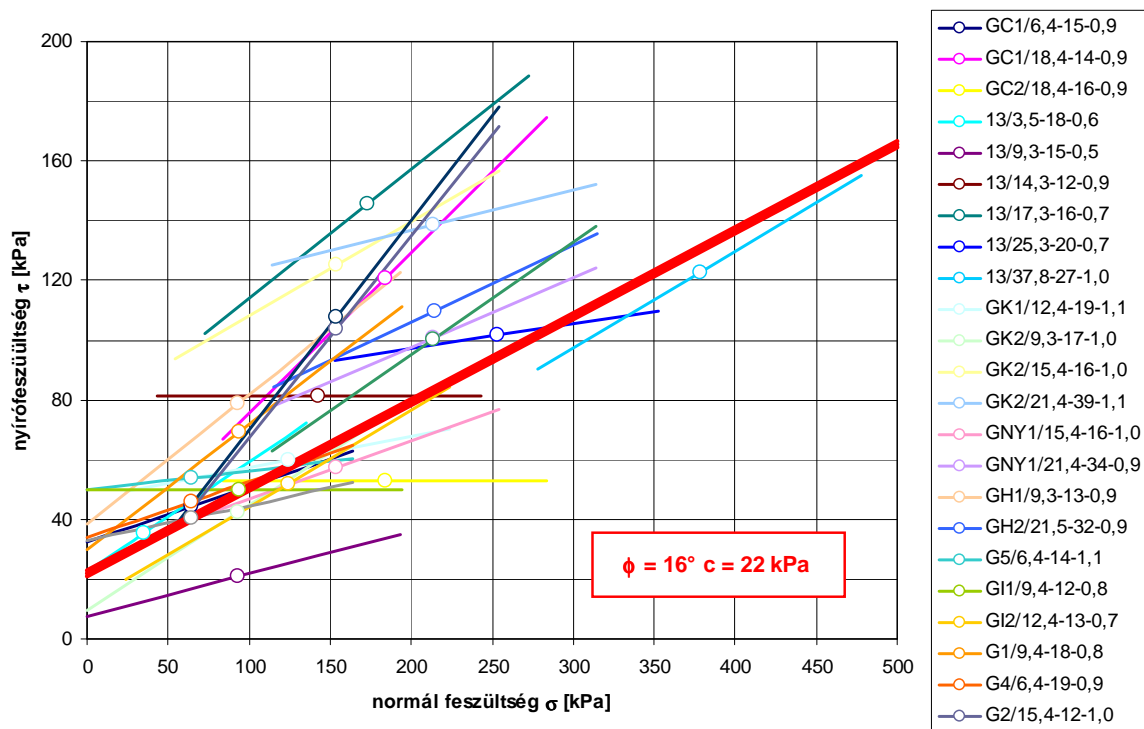
Az elvégzett nagyszámú statikus szonda vizsgálatok a teljes gyárterületen 40 m mélységig hasonló lefutási képet mutattak. A csúcscellenállások a mélységgel javuló teherbírást jeleztek, a mért eredmények általában egy 0,5 (néhol 1,0) MPa széles sávban maradtak. Ettől kivételt csak a periodikusan megjelenő, nagyon kiugró és szóródó szakaszok jelentenek. E néhány méter vastag sávok erősen mészkonkréciósak, mészkötőrmelékesek.

Példaként mutatjuk a hőcserélő torony környezetében készült CPT szondavizsgálatok csúcscellenállásainak mélység szerinti változását (2. ábra). Jól látható, hogy a 10 db vizsgálati eredményt szemléltető görbesereg gyakorlatilag egy sávban van, és a mélységgel kissé növekszik. Ugyanakkor a gyenge talajadottságokat érzékelteti, hogy 40 m mélységben is csupán $q_c = 3$ MPa csúcscellenállást mértünk. A diagramon is jól láthatók a 14 m, 25 m és 36 m mélységtartományban mért kiugró értékek, melyek a mészkonkrécióban, mészkötőrmelékben feldúsult zónákat jelzik. Az is a gyenge adottságokat tükrözi, hogy míg hasonló berendezéssel átlagos

talajadottságok mellett 20-30 m mélységig lehetséges CPT szondázás készítése, addig itt rendre elérjük a 45 m mélységet.

Az elvégzett nagyszámú kompressziós kísérlet összhangban van a statikus szonda vizsgálati eredményekkel. A nagy kiterjedésű és nagy terhelésű létesítmények alatt különböző mélységben eltérő feszültségek keletkezhetnek. Így az ödométeres vizsgálatokat a szokásosnál pontosabb közelítéssel, hatványfüggvénnyel értékeltük ki. E megoldás lehetőséget nyújtott bármely mélységben bármely feszültségnövekményre bekövetkező fajlagos alakváltozás meghatározására a talajfajtától függően. A talajok összenyomódási modulusát $\Delta\sigma_z = 100, 200, 300$ kPa feszültségnövekményre is meghatároztuk (E_{s1}, E_{s2}, E_{s3}). Ez alapján a későbbiekben lehetőség nyílt a mélységgel csökkenő feszültségtöbblet figyelembe vételére. A 2. ábrán mutatjuk be az összenyomódási modulus mélység szerinti változását. A $\Delta\sigma_z = 200$ kPa feszültség növekményhez tartozó eredményeket mutatják a kék pontok, a három vonal pedig a három feszültségnövekmény trendvonalát. Látható, hogy a vizsgálati eredmények 65 m mélységig kis szórással sorakoznak egy egyenes mentén (lila vonal). A három vonal által mutatott eredmények látszólag nem térnek el jelentősen, azonban pl. a felső 10 m-en az E_{s3} másfélszer akkora, mint az E_{s1} . Mélyebben a különbség kisebb, hiszen itt a kezdeti feszültség nagy értéke miatt a kompressziós görbe ellapuló részén vagyunk. A három görbe egymáshoz való viszonya mutatja a talaj felkeményedő viselkedését. Az összenyomódási modulusok számításban figyelembe vett értékét a laboratóriumi vizsgálatok és a CPT szondázások alapján vettük fel. A mészkonkréciós, mészkőtörmelékes rétegekben, ahol a statikus szonda csúcshellállása nagyobb volt, a laboratóriumi vizsgálatoknál kedvezőbb értéket választottunk.

Az elvégzett triaxiális vizsgálatok eredményeként kapott Coulomb egyeneseket mutatja a 4. ábra. Jól érzékelhető, hogy a vizsgálati eredmények jelentős szórást mutattak, mely részben a talajok mészkonkréciós, mészkőtörmelékes, foltos, homokos volta miatt alakult ki. A zavartalan magmintából kivett kisminták már sok esetben a szemrevételezés előtt sem voltak azonosak. Ezt figyelembe véve a karakterisztikus érték megállapítása során óvatosan kell eljárni. Azonban nem indokolt a leggyengébb paraméterek felvétele, mert azok általában a minták zavartsága miatt adódtak. A felvett $\phi = 16^\circ$ és $c = 22$ kPa nyírószilárdsági paraméterek olyan óvatos értékek, melyekre minden körülmények között lehet számítani. Megjegyezzük, hogy nagy méretű alaptestek esetén a lehatási mélység is jelentős, így azok teherbírás ellenőrzése során ennél nagyobb érték is figyelembe vehető volt.



4. ábra: A vizsgálatokkal nyert Coulomb egyenesek

A nagyszámú vizsgálati eredmény alapján összefoglalóan elmondható, hogy teherbírasi problémára nem kell számítani. Ugyanakkor a nagy vastagságú pleisztocén rétegsor, mely jellemzően átázott, puha, kompresszibilis agyag nagy mértékű süllyedéseket eredményezhet. Az agyag kis vízáteresztő képessége miatt elhúzódó mozgásokra kell felkészülni.

3.4 Talajvízhelyzet

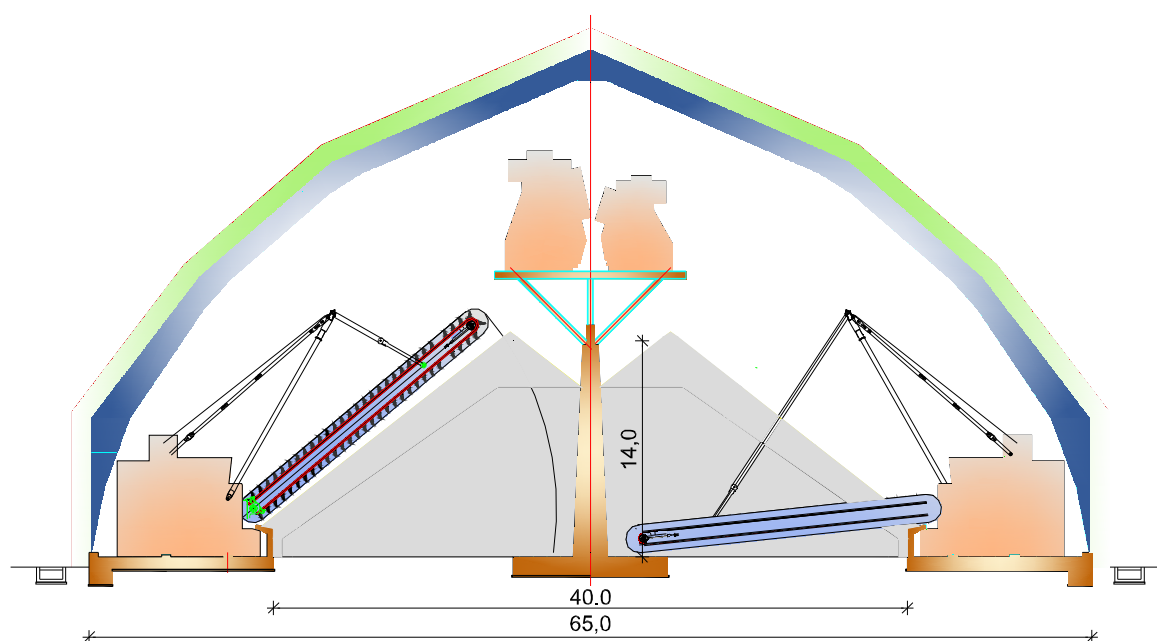
A nagyszámú geotechnikai feltárásban a nyugalmi talajvízszintet a felszín alatt 1,1 - 1,4 m mélységben észlelték.

A mezőgazdasági művelhetőség érdekében a tágabb környezetben vízelvezető rendszert építettek ki. Az árokrendszer a lefolyó vizeket összegyűjti, és valamennyire a talajvizet is szabályozza. A területet átszelő árkot a kivitelezés előtt kiváltották.

4 NYERSANYAGTÁROLÓ

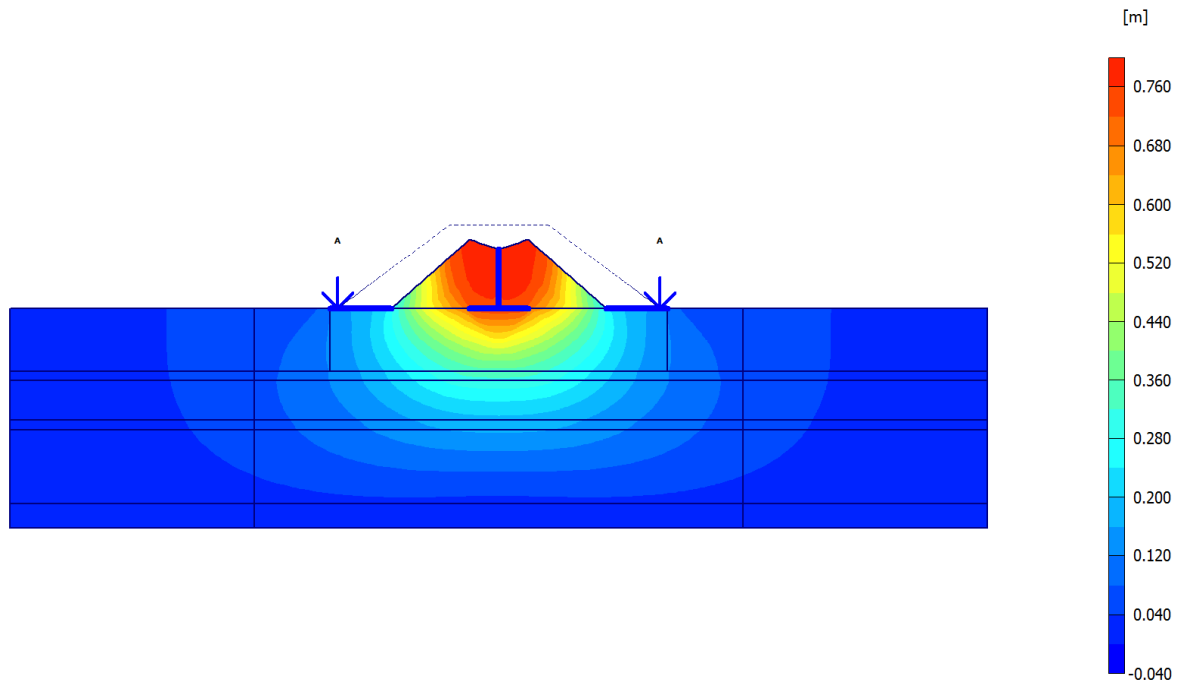
A következőkben a nyersanyagtároló csarnok tervezése során felmerülő geotechnikai nehézségeket és problémákat mutatjuk be az alkalmazott megoldással együtt.

A cementgyártáshoz szükséges alapanyagokat - agyag, mészkő, égési termékek - a gyárterület észak-nyugati részén épülő csarnokban kívánják tárolni. A csarnok fesztávolsága 65 m, hossza 260 m. A tárolandó anyagokat a csarnok hosszanti tengelyében levő 13 m magas szögtámfal két oldalára deponálják. Az anyagokat 40 m szélességben és 13-14 m magasságban tárolják. Az egymástól eltérő anyagokat harántfalakkal választják el. A nyersanyagok szállítását a súlytámfal tetején levő szállítószalagok, és a két hosszanti oldalon közlekedő rakodógépek biztosítják. A csarnok szerkezete íves rácsos acél tartó. A műtárgy egy keresztmetszét mutatja az 5. ábra.



5. ábra: Nyersanyagtároló csarnok jellemző keresztmetszévénye

A középső tengelyben deponált anyag hatására a középső támfal és a csarnokszerkezet jelentős mértékű elmozdulása jelezhető előre. A várható alakváltozásokat Plaxis VM véges elemes programmal vizsgáltuk. A számítások a 14 m magas töltés hatására 50-60 cm-es süllyedést eredményeztek a támfal alatt. A szerkezeti alátámasztások süllyedése 10 - 15 cm körülire, vízszintes eltolódása 8 - 10 cm-re adódott (ld 6. ábra.). Ilyen mértékű alakváltozások természetesen sem az acél rácsos tartó, sem pedig a szállítószalagok, rakodógépek tönkremenetele, károsodása miatt nem megengedhetők. Tekintettel arra, hogy a lehatási mélység kb. 40-45 m, valamint a töltés alatti talajzónában jelentős az oldal-kitérés, a csarnokszerkezet mélyalapra való építése sem garantálná a megfelelő biztonságot (Geoplan Kft., 2007.).



6. kép: Teljes elmozdulás ábra - nyersanyagtároló csarnok

A süllyedések, alakváltozások minimalizálása az altalaj valamilyen módon történő feljavításával érhető el. Erre legkézenfekvőbb megoldásként leterhelő töltés készítése kínálkozott, melyet a kivitelezés ütemezése és a gyárterületen, illetve a Beruházó birtokában levő környező területeken rendelkezésre álló anyagmennyiség lehetővé tett. Az építési ütemezés kb. 1 évig történő teherfenntartásra adott lehetőséget.

Beruházó kérte az előterhelő töltés hatásának vizsgálatát. A számításaink a várható viselkedés bizonytalanságából eredően részben feltételezésen alapultak. Például a mészkonkréciós, mészkőtörmelékes, homokeres zónák vízelvező képességét a konszolidáció becslésénél elhanyagoltuk, így a 40-45 m vastag agyag két irányban drénezésével kalkuláltunk. Ez alapján az agyag talajok időben hosszasan elnyúló konszolidációja miatt az 1 évig való teherfenntartás mellett a kívánt eredmény elérése nem volt szavatolható. Ezért szükséges volt valamilyen konszolidáció gyorsító beavatkozás készítése.

Szóba jöhető megoldásként szalagdrénezés és kavicscölöpözés merült fel, melyekkel az előterhelő töltés megfelelő hatása már biztosítható. A technológiai korlátok miatt mindkét megoldás csak a felső 13-15 m vastag talajzónát érinti, szemben a töltés lehatási mélységével, mely 40-45 m. Ugyanakkor a süllyedések jelentős része e felső kompresszibilis zóna alakváltozásából keletkezik, ahol a terhelés hatására jelentős a többletfeszültség, mely a feszültségsterjedésnek köszönhetően a mélységgel fokozatosan csökken. A felső zóna drénezésének hatására az alatta levő agyag réteg konszolidációs ideje is csökken. A szalagdrénezés a kavicscölöpözéssel szemben olcsóbb és gyorsabban kivitelezhető. Utóbbi viszont az altalaj összenyomódási modulusát is javítja. Ugyanakkor az 1 évig történő teherfenntartás a felső zónában teljes konszolidációt eredményez, így a kavicscölöpözés további hatása már emellett elhanyagolható (Smoltczyk, 2002).

Beruházó a tanulmány alapján a szalagdrénezéssel kombinált előterhelés mellett döntött. 2007. november-december hónapban 2 x 2 m háromszög raszterben összesen 77.000 fm drénszalag letűzésére került sor (7. kép). A leterhelő töltést 2008. februárjában kezdték magasítani. A töltés geometriáját úgy alakítottuk, hogy a véglegesnél nagyobb terhelés lépjen fel, ezzel a kívánt süllyedés-kiváltó hatás biztosítható legyen. Ennek megfelelően 2 hónap alatt 65-70 m talpszélességű, 17-18 m magas töltést építettek, összesen 180.000 m³ talaj felhasználásával (8. kép).



7. kép: Elkészült szalagdrénezés



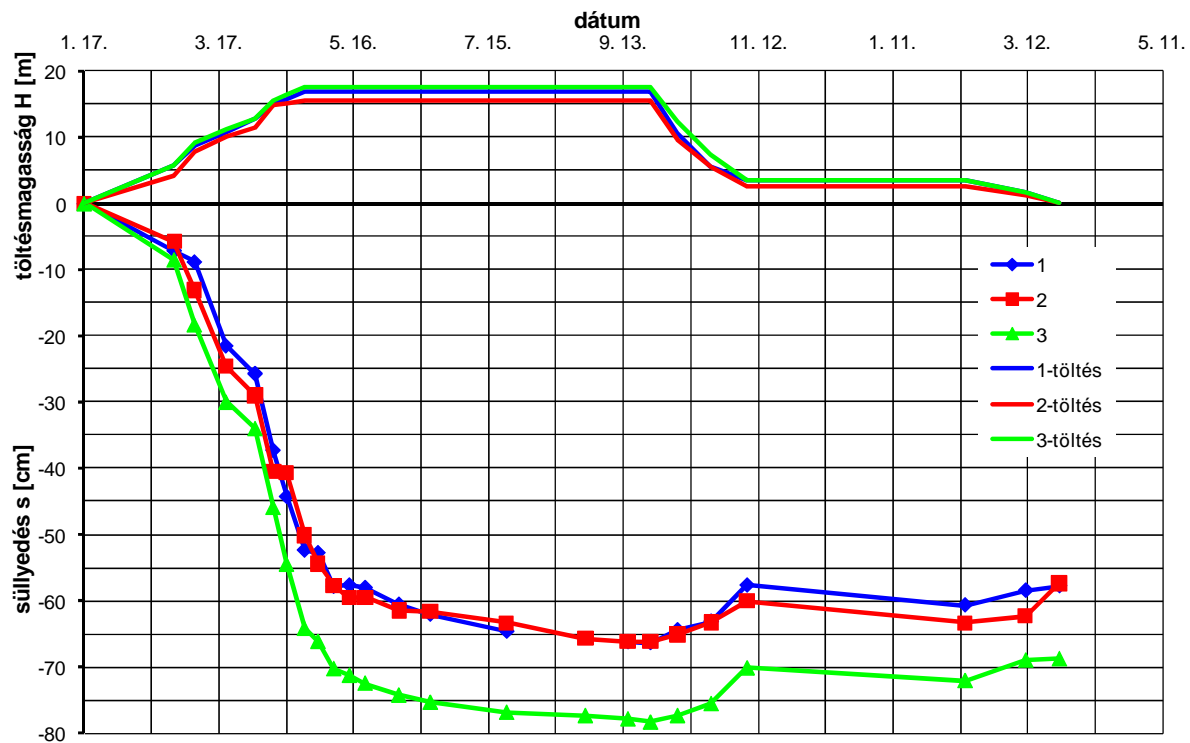
8. kép: Előterhelő töltés a nyersanyagtároló területén

A töltés magasságát és a hatására bekövetkező süllyedéseket 3 keresztaszelvényben a töltésépítés kezdetétől folyamatosan mérték. Az eredményeket a 6. ábra mutatja. Az ábrán látható, hogy a 2008. április végén elkészült töltés a három szelvényben közel azonos magassággal épült. Jól látható az is, hogy a töltés hatására bekövetkező alakváltozások kb. 5 hónap alatt szinte teljes mértékben bekövetkeztek. Ez a vártnál gyorsabb konszolidációs időt jelentett. Azt feltételezhetjük, hogy a mészkonkréciós, mészkötörmelék, homokeres rétegek képesek a rétegekből kinyomódó víz elvezetésére.

Az előterhelés hatására bekövetkező 65-80 cm-es függőleges elmozdulások is alátámasztják, hogy talajjavítás nélkül a szerkezetekre káros mértékű deformációk következtek volna be.

A folyamatos süllyedésmérés lehetővé tette, hogy az előterhelést csak a szükséges ideig tartsák fent. 2008. szeptember végén, 5 hónapos terhelés után így megkezdték a töltés elhordását. Jól kirajzódik az ábrán a téli leállás, mely idő alatt a töltésmagasság nem változott. A tehermentesítés hatására kb. 10 cm-es emelkedés következett be. A tehermentesítés utáni konszolidáció további kismértékű fel-emelkedést eredményez, azonban erről már mérési eredmény sajnos nem áll rendelkezésre. A feldolgozás során további 2-3 cm-t vettünk figyelembe (Geoplan Kft., 2009.).

A terhelés és tehermentesítés során bekövetkező alakváltozások mérése lehetővé tette a feljavult talajfizikai paraméterek meghatározását. Azt feltételezhetjük, hogy a felső, szalagdrénezett zónában teljes konszolidáció következett be, mélyebben a konszolidáció foka valamivel kisebb. A rétegek feljavulási arányát is ez alapján határoztuk meg, a felső zónában kedvezőbbet, mélyebben kisebbet. A terheléssel a talajok összenyomódási modulusában átlagosan ötszörös feljavulást értünk el, mely nagyságrendileg megfelelt a laboratóriumi vizsgálatok által kimutatott feljavulási aránnyal.



6. ábra: Előterhelő töltés hatása bekövetkező süllyedések időbeli alakulása

A nyersanyagtároló csarnokszerkezetének számítását az előzetes vizsgálatokhoz hasonlóan Plaxis véges elemes programmal vizsgáltuk. A talajadottságokat már az új visszszámított paraméterekkel határoztuk meg. A feljavult talajmodellel végzett számítás a középső támfal esetében teljes betöltés esetén 8-10 cm-es elmozdulást eredményezett. Láthatjuk, hogy a teljes konszolidáció több mint öt hónap alatt következik be a kis vízáteresztő képességű agyag rétegek miatt. A tárolt anyag mennyisége a gyártási folyamatnak megfelelően időben változik. A hosszú konszolidáció miatt tartós terhelésként a technológus tervező tájékoztatása szerint így kb. 2/3-os betöltés tekinthető. Ez alapján a számított süllyedésnél kisebb mozgások valószínűsíthetők.

Az előterhelésnek köszönhetően az acél rácsos tartó alátámasztásai 2-3 cm függőleges és 1 cm-nél kisebb vízszintes elmozdulása prognosztizálható, melyet már a csarnokszerkezet képes felvenni. Az előterhelésnek köszönhetően a szerkezet síkalapozással készül, a kivitelezés 2009. nyár végén indult. Jelenleg a csarnokszerkezet már elkészült a középső támfalal együtt. A 9. kép 2009. novemberi állapotot szemléltet, a 10. kép a gyárterületről 2010. február közepén készült légi fotó, melynek bal oldalán látható az elkészült csarnokszerkezet, középen a támfalal.

Az előterhelés - a monitoring mérésnek köszönhetően - a talajjavító hatás mellett lehetőséget nyújt arra, hogy a többi műtárgy esetén számított süllyedéseket ellenőrizzük, szükség esetén korrigáljuk.



9. kép: Nyersanyagtároló csarnok kivitelezés alatt - 2009. november



10. kép. Légi felvétel - 2010. február

5 ÖSSZEFOGLALÁS

Egy cementgyár tervezése során a nagy terhelések és jelentős méretek mellett a technológiai korlátok még átlagos talajadottságok mellett is nehéz alapozási körülményeket jelentenek. A cementgyár helyének megválasztását minden esetben a nyersanyag és a kész termék szállítási körülményei befolyásolják, egyéb szempontok, köztük a geotechnikai kérdések is eltörpülnek.

Az adott helyszínen a különösen kedvezőtlen talajadottságok, a felszín közeli talajvíz, a nagy vastagságú kompresszibilis talajok miatt a geotechnikai méretezés egyes esetekben a ma alkalmazható technológiai korlátokat feszegette.

A nagy terhelések, a szigorú süllyedési, süllyedéskülönbségi korlátok, az időben elnyúló, előre bizonytalanul jelezhető mozgások kézbentartása a szokásosnál nagyobb kihívást jelentett a tervezés során.

Ugyanakkor a beruházás volumene, a szigorú technológiai korlátok olyan módszerek, technológiák alkalmazását tette lehetővé, mely más esetekben gazdaságossági és időbeli korlátok miatt nem lett volna lehetséges.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet mondani Szilvágyi Lászlónak, a Geoplan Kft. vezetőjének, aki lehetőséget adott arra, hogy a Királyegyházán épülő cementgyár geotechnikai tervezésével foglalkozhassak. Továbbá köszönöm neki és Szepesházi Róbertnek a tervek kidolgozása során nyújtott támogatásukat, irányításukat, felügyeletüket, útmutató tanácsaikat.

IRODALOMJEGYZÉK

- Balogh K. (1966). *Magyarászó Magyarország 200.000-es földtani térképsorozat*. Budapest: Magyar Állami Földtani Intézet.
- Geoplan Kft. (2007. szeptember). *Geotechnikai adatszolgáltatás - Királyegyháza, cementgyár, nyersanyagtároló csarnok*. Budapest.
- Geoplan Kft. (2009. július). *Geotechnikai terv - Királyegyháza, cementgyár, nyersanyagtároló csarnok*. Budapest.
- Geoplan Kft. (2007. október). *Talajvizsgálati jelentés - Királyegyháza, cementgyár*. Budapest.
- Gyalog L. (2005). *Magyarászó Magyarország fedett földtani térképéhez (az egységek rövid leírása)*. Budapest: MÁFI.
- Hun L. (2002). Délkelet-dunántúli löszösszletek ásványi és geokémiai jellegei és ezek eredete. *Földtani Közlöny* **132**: 117-132.
- Kleb B. (1973). A mecseki pannon földtana. *MÁFI Évkönyv LIII*: 746-943.
- Kolozsvári L., Marsi I. (1999). Az Üveghuta melletti dombvidék (Mórággyi-rög K-i része) negyedidőszaki képződmények. *Földtani közlöny* **129**: 521-540.
- Kolozsvári L., Marsi I. (2002). Posztpannoniai képződmények rétegtani korrelációja a Mórággyi-rög térségében. *Földtani közlöny*, **132**: 133-149.
- Lovas L., Wein G. (1974). *Délkelet Dunántúl geológiája és felszínfejlődése*. Pécs: Baranyai monográfiák, 215.
- Moldvay L. (1964). Adatok a Mecsek-hegység és peremvidéke negyedkori szerkezeti vizsgálatához. In *Évi jelentés 1962*. Magyar Állami Földtani Intézet.
- Smolczyk U. (2002). *Geotechnical Engineering Handbook - Vol.2*. Németország: Ernst & Sohn.