

Friss, ropogós, neutrongyorsítós élmények

Fresh, well done, neutron accelerator experiences

Dr. BENCZE Zsolt

KTI Nonprofit Kft.

1119, Budapest, Than Károly utca 3-5. www.kti.hu

Abstract

Ferrobeton Zrt produced heavy concrete elements for the neutron research institute in Lund, Sweden. The elements were made from magnetite, so their production was different from the traditional concrete elements. In this article, we present the solutions to the problems encountered during design and production.

Keywords: heavy concrete, design, casting, neutron absorption, precision

Kivonat

A svédországi Lundban épülő neutronkutató intézethez a Ferrobeton Zrt. készített nehézbetonelemeket. Ezek az elemek magnetitből készültek, ezáltal a hagyományosnak mondható vasbeton elem előregyártástól eltérően viselkedett öntés során. A cikkben bemutatjuk azokat a megoldásokat, amelyek a tervezés és a gyártás során merültek fel.

Kulcsszavak: nehézbeton, kivitelezés, öntés, neutron elnyelés

1. BEVEZETÉS

Ez a cikk egy 2022 tavaszán Svédországban elvégzett munkáról és az odáig vezető útról szól. A Ferrobeton Zrt. 2019-ben egy megrendelést kapott, hogy a svédországi Lundban megépülő magfizikai kutatóintézet (ESS - European Spallation Source) sugárforrást árnyékoló bunkerfalát végleges formáját terveztesse meg és készítse el a terv szerint az elemeket.

A terveket a Vektor Kft. véglegesítette Sebestyén Krisztián vezetésével. A tervek folyamatos szerkesztése a 3D-s modell ESS-es szakértői validálása után fejeződött be. Ennek az oka az volt, hogy a tervezett építményt meglévő monolit szerkezetek közé kellett mm pontosan beilleszteni. Tervfázisok és az egyedi elemtervek az építmény/projekt organizációs tervének megfelelően készültek. A 2019-ben indult gyártás a végéhez közeledik így az összegyűjtött tervezési, gyártási, szállítási és telepítési tapasztalatokat már érdemes megosztani.

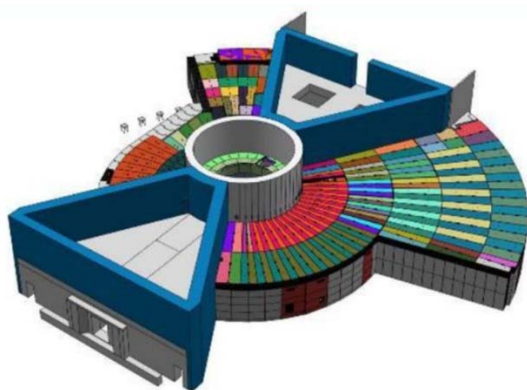
2. ESS PROJEKT RÖVID ISMERTETÉSE

Az ESS - European Spallation Source; azaz az Európai Neutronkutató Központ rövidítse. A projekt eredeti ütemezése alapján 2023-ban már teljes kapacitással kellene üzemelnie. A Mirrotron Kft. által elnyert munka alvállalkozója a Ferrobeton Zrt lett. A kiírás főbb feltételei a következők voltak [4]:

- a beton testsűrűsége nem lehet kevesebb 3800 kg/m³-nél
- a nikkeltartalom a teljes szerkezetben és az egyedi elemekben nem lehet több mint 1,25%
- a kobalttartalom a teljes szerkezetben és az egyedi elemekben nem lehet több mint 0,025%
- megközelítően 2000 m³ vasalt nehézbetonelem közel 8000 tonna összsúllyal, amelyből egyes elemek súlya elérte a 20 tonnát
- összesen 1092 db különféle méretű és formájú nehézbeton elem

Az utolsó pontban meghatározott elemszámra és geometriára minden vasbeton elem előregyártó nem szívesen vállalkozik, mivel minden előregyártással kapcsolatos technológiai előny hátránnyá válik a monolit szerkezethez képest.

A projekt grandiózus mérete és technológiai egyedülállósága miatt végül elvállalta a Ferrobeton Zrt. a munkát.



1. ábra. Az ESS bunker elemek 3D-s grafikája [3]

3. ELŐKÍSÉRLETEK

A projekt egyik fontos mérföldköve volt, hogy a nehézbeton alapanyagát meg kellett határozni úgy, hogy a nemzetközi tenderversenyben is nyerő pozícióban legyen a gyártó cég. A nehézbeton a nevéből adódóan nehezebb fajsúllyal rendelkezik, mint a normál beton (3500 kg/m^3 vagy annál nehezebb szemben a normál vasbetonnál alkalmazott $2300\text{-}2400 \text{ kg/m}^3$ sűrűségű betonnál). A betonhoz végül magnetitet használtunk fel. A magnetitet Svédországból szállították vízen Dunaújvárosba.

A nehézbeton receptúráját Dr. Salem Nehme (Struktúra Kft.) tervezte meg. A recept alapján elvégeztük a próbakeveréseket és a pilot elemek gyártását. A nehézbeton recept mellett felvetődött, hogy az elemek egy részét pluszban egy úgynevezett Bór-karbidos (B4C) réteggel is ellássuk a nagyobb árnyékolás érdekében. A magnetites keverékről [1] és a Bór-karbidos rétegről [2] már bizonyították, hogy megfelelő elnyelési tulajdonságokkal rendelkeznek.

A betervezett acélok összetételvizsgálatát a DUNAFERR LABOR NKft. akkreditált laboratóriuma végezte. Az egyes tételeket felhasználás előtt minden esetben ellenőriztettük Ni és CO összetételre és csak jóváhagyást követően építettük bele az elemekbe.

4. TERVEZÉSI KIHÍVÁSOK

A bunker 3D tervének és az elemek végső geometriai alakjának tervezését a Vektor Kft. végezte Sebestyén Krisztián vezetésével. Az ESS bunker projekt tervezési feladat része volt, hogy olyan elemes rendszert építsenek ki, amely könnyen szét és összerakható, valamint a keletkező sugárzást a lehető legnagyobb mértékben elnyelje. Az eredeti 2012-es koncepció (2. ábra), amelyben még acéllemezek [6] szerepeltek árnyékoló elemként 2019-re megváltozott, és nehézbeton elemek lettek a fő árnyékoló elemek a bunker külső peremén. Az elképzelést (acél helyett nehézbeton legyen a fő árnyékoló anyag) szimulációval is validálták [7], vagyis az ESS tervezett normál üzemi működése alatt a betonelemek cseréje minimálisra csökkent. A tervezés jelentősebb kritériumai az alábbiak voltak:

1. az elemek daruzhatók legyen (önsúly és geometria összhangja)
2. az elemek elhelyezkedése és az elemek közötti elhelyezési hézagok olyan ütközősávot képezzenek, amelyben a felesleges többletenergiaival rendelkező részecskék mozgása lelassuljon
3. a befoglaló monolit szerkezetbe beférjen az elemes felépítésű árnyékoló pajzs (előregyártási tőrések optimalizálása)



2. ábra. Az eredeti 2012-es koncepció keresztmetszete [5]

5. GYÁRTÁSI TAPASZTALATOK

A próbaelemek legyártása és helyszíni ellenőrzése után az ESS jóváhagyta a Ferrobeton Zrt-t, mint alvállalkozót. Az elkészült és elfogadott terveknek megfelelően 2019 tavaszán elkezdődött az első ütem gyártása. A kezdeti projektütem idővel kitolódott és emiatt bizonyos kérdésekben az ESS döntésére kellett várni (pl. a sugárzásálló festék anyagának kiválasztása és jóváhagyása, valamint javítástechnológiák jóváhagyása), mert csak a magas sugárzásszintnek megfelelő anyagok kerülhettek betervezésre és kerülhetnek beépítésre. A betonelemek fedőfestékeként a választás a SIKA cég SIKACOR EG Phosphat-ra és a PERMACOR 2707 termékre esett. A receptek finomítása és üzemi validálása után elkezdődhetett az 1. ütem gyártása. A beton összetételét az 1. táblázatban ismertetem.

Az alkalmazott beton receptek

1. táblázat

	Anyagok	Bemért tömeg m³-enként
Nehézbeton	MD8 Magnetit	3274 kg
	Víz	160 kg
	Adalékszerek	13,3 kg
	Cement	380 kg
B4C beton	Adalékanyag	1804 kg
	B4C	40 kg
	Víz	156 kg
	Adalékszerek	3,04 kg
	Cement	380 kg

A cement és az adalékszerek kiválasztásánál fontos szempont volt a nukleáris területen történő alkalmazhatóság.

A nehézbeton elemek készítésére külön gyártóhelyeket kellett készíteni – a 2019-es esztendőben a Ferrobeton Zrt. az eddigi történetének egyik legnagyobb mennyiségben legyártott termék-esztendeje volt. Ezeket úgy allokáltuk, hogy a nagy elemek, amelyek extra darukapacitást igényeltek a geometriai adottságaik és önsúlyuk miatt, gyártócsarnokon kívül kerültek beöntésre. A magnetites nehézbeton, mint építőanyag, leginkább egy sűrű kására emlékeztet, amelynek frissbeton korában a levegőtartalma a keverés és öntéstechnológia miatt jelentős. Viszont ezt a levegőtartalmat a belső kohézió miatt nem lehet kivibrálni, így kénytelenek voltunk technológiai szüneteket beiktatni – ezzel jelentősen csökkentve a hatékonyságot, hogy az elemek utólagos töppedését elkerüljük. A töppedés mértéke idővel tapasztalati úton már kontrollálhatóvá vált, így nem kellett hosszabb technológiai folyamatként számolni a nagyobb méretű elemek öntésénél.

Az elemek szilárdulási folyamata az alkalmazott recept miatt nem volt prognosztizálható. Az első gyártási ütemet a próbakeverés tanulságai alapján építettük fel. Ezt rögtön megcáfolta az első ütem első öntési napja. A keverék nem szilárdult meg kellően a kiemeléshez. Ezt a jelenséget a későbbiekben arra használtuk fel, hogy a szükséges esztétikai javításokat a sablonban még el lehetett végezni. A szilárdulási folyamat egy bizonyos idő eltelte után viszont robbanásszerűen elindult.

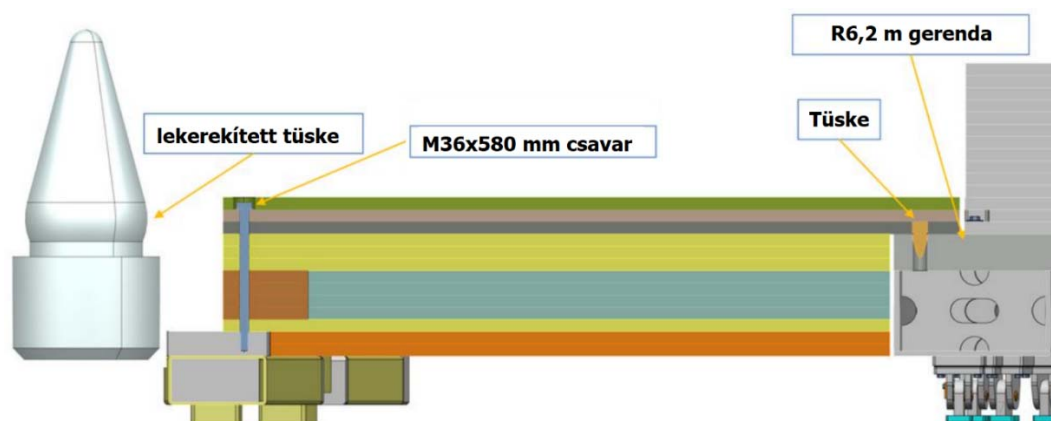
A nehézbeton elemek öntése rögtön felvetette az addig használatos sablonozási technológia alkalmazhatóságának kérdését. Többször is tapasztaltuk a gyártás során, hogy a legkisebb technológiai figyelmetlenség is súlyos következményekkel tud járni, mivel a nehézbeton önsúlya sokkal nagyobb, mint a hagyományos betoné.

6. PÁR ÖTLET A SOK KÖZÜL

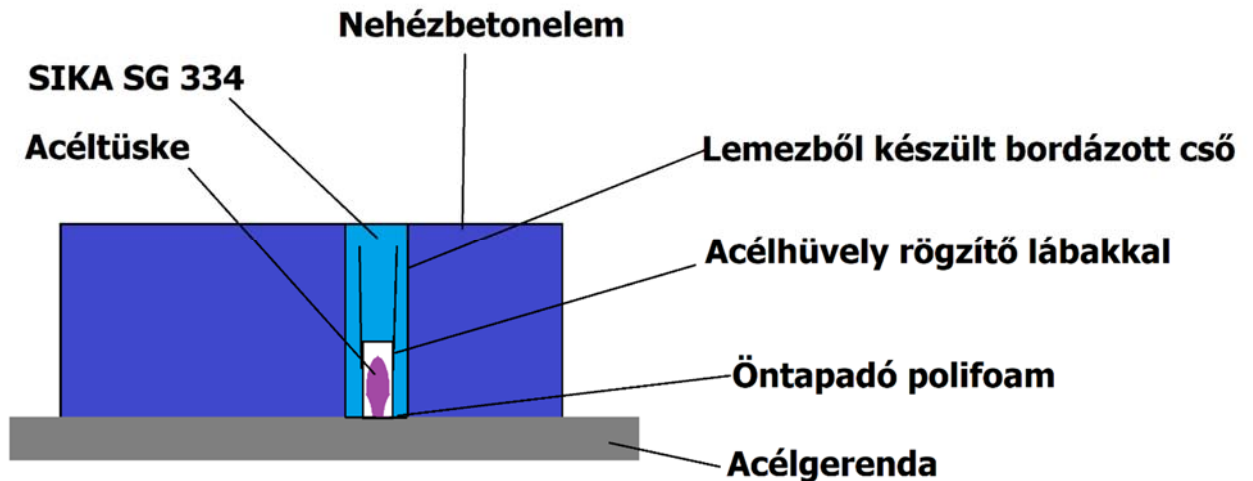
Az eredeti tervek szerinti mm pontos tűrések az acélszerkezeti megoldásokhoz készültek. A vasalt nehézbetonos szerkezetek elfogadása után a vasbetonelem gyártási mérettűréseit kellett összhangba hozni ezzel a nagyságrenddel szigorúbb feltételrendszerrel. A mérettűrések alapfeltétele a teljes szerkezetre ± 20 mm-volt – közel 30 méter hosszú szerkezetről beszélünk. Erre azért volt szükség, mert a modul rendszerű bunkerfalat monolit szerkezetek közé kellett illeszteni. Mind a monolit, mind pedig a nehézbeton elemek gyártása párhuzamosan folyt, így nem lehetett tudni, hogy mi lesz a végső igény. Az ESS részéről meghatározott követelményeket úgy tudtuk kielégíteni, hogy a névleges mérettűrés -5mm-t vettük gyártási célértéknek a szögvaskeretek elkészítésénél. Így az elkészült elemek pozitív irányban ritkán tértek el a névleges tűréstől, de a negatív értékeket hézagoló elemekkel könnyebben lehetett korigálni.

A másik mérettűrésből eredő probléma a fedőelemek földrengés-biztonsági és pozicionális helyen tartását biztosító tüskék illesztése volt. Az acélszerkezeti elemek gyártása mm pontosan nem jelent akkora kihívást a mai gyártástechnológiai lehetőségekkel. Ehhez hozzá kell adni a szerkezet hőmozgását és a szállítás, összeszerelés bizonytalanságát is. Az acélszerkezetet a CSOMIÉP készítette el, és csak az hőmezővászárhelyi összerakás teljes geodéziai felmérése és elemzése után engedélyezték a kiszállítást Lundba. A helyszínen újra összeszerelt szerkezetet újra bemérték és ezután kerültek elhelyezésre a tüskék. Mindez párhuzamosan zajlott (volna) a tetőelemek öntésével egy teljesen más klimatikus viszonyrendszerben. A 3. ábrán látható a tüske eredeti tervek szerinti funkciója és a 4. ábrán a probléma megoldására született ötlet. Az ötlet lényege, hogy a gyártási és a telepítési bizonytalanságokkal nem foglalkozunk a nehézbeton elem gyártása során, hanem egy bordázott csövet helyezünk el a tüske tervezett/várható helyén koncentrikusan illesztve. A gyártás és az acélszerkezet telepítése után különböző mértékű eltolódásokat majd a helyszínen a tüskére illesztett hüvellyel hozzuk összhangba és ott öntjük ki egy gyorsan szilárduló nagy szilárdságú anyaggal. Az ötletet az ESS jóváhagyta és megkezdődött a kiöntőanyag keresése, illetve a speciális körülmények miatti igények tényleges meghatározása. A jóváhagyott kiöntőanyag a SIKA SIKAGROUT 334-es lett. Az öntést két fázisban végzetük el a helyszínen, miután újra pozicionáltuk az elemek egy részét és minden egyes öntési helyet fénynyalábban ellenőriztünk, hogy nincs-e illesztési hézag.

Maga a nehézbeton elemek elhelyezése is problémákba ütközött a helyszínen, mert a tervezettől eltérő szintet sikerült megvalósítani, így a gyártáskori negatív tűrések segítségével lehetett csak megtartani az eredetileg az egész szerkezetre vonatkozó függőleges mérettűréseket.



3. ábra. Az eredeti tüske verzió és funkciója [6]



4. ábra. Az úszó hüvelyes megoldás vázlata [A szerző saját vázlata]

A helyszíni szerelés és kiöntés végül 2022 március 21-25 között zajlott Lundban, ahol maga a helyszíni öntés az előzetes terveknek megfelelően alakult. A projekt márciusi állapotában már impozáns képet mutatott (5. ábra).



5. ábra. A bunker dél-keleti oldala [A szerző saját felvétele]

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A Ferrobeton Zrt. által elkészített nehézbeton elemek, amelyek jelentős része 8 mm-es maximális szemmagyságú és folyamatos szemeloszlású magnetitből készültek egy új fejezetet nyitottak a hazai vasbeton elem előregyártás történetében. A projekt során rengeteg tanultunk a nehézbeton elemek gyártásáról, amelyeket nemcsak a várható PAKS II projektben, hanem a világpiacon máshol is lehet kamatoztatni. A projekt nehézbeton elem előregyártása az idén befejeződik, így már csak a helyszíni munkálatokon múlik, hogy mikor indulhat el az első neutron, hogy történelmet írjon az európai fizikai és anyagtudományi kutatások terén.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék kiemelten köszönetet mondani Vass Zoltánnak és Dubrovsky Gábornak, hogy ezen a projekten dolgozhattam a Ferrobeton Zrt-nél, mint termelési főmérnök és Elek Józsefnek, a „Házgyár” főművezetőjének, hogy sikerre vitte ezt a projektet, valamint minden Ferrobetonos munkatársamnak, hogy ebben a nem mindennapi projektben részt vállaltak.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] J.O. Henrie, Magnetite Iron Ore Concrete for Nuclear Shielding ACI Journal 1955, 51 (1955), pp. 541-550
- [2] D. D. DiJulio, C. P. Cooper-Jensen, H. Perrey, K. Fissum, E. Rofors, J. Scherzinger, P. M. Bentley, A Polyethylene-B4C based concrete for enhanced neutron shielding at neutron research facilities, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 859 (2017) pp. 41-46
- [3] Zwonko Lazic, The bunker Project Overview, <https://slideplayer.com/slide/17036174/> (Utolsó letöltés: 2022.04.20.)
- [4] Szegedi Imre, Nehézbeton magyar ötlettel, https://www.innoteka.hu/cikk/nehez_beton_magyar_otlettel.1971.html (Utolsó letöltés: 2022.04.20.)
- [5] Steve Peggs szerk., Conceptual Design Report pp. 72 https://europenspallationsource.se/sites/default/files/downloads/2017/09/CDR_final_120206.pdf (Utolsó letöltés: 2022.04.20.)
- [6] Dawid Patrzalek, Roof design Bunker project CDR 19 p <https://slideplayer.com/slide/16529889/> (Utolsó letöltés: 2022.04.20.)
- [7] D. Hajdú, E. Dian, K. Gméling, E. Klinkby, C.P. Cooper-Jensen, J. Osán, P. Zagyvai, Experimental study of concrete activation compared to MCNP simulations for safety of neutron sources, Applied Radiation and Isotopes Volume 171, May 2021, 109644 11 p https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/247356894/1_s2.0_S0969804321000555_main.pdf (Utolsó letöltés: 2022.04.20.)