

Importance of Eötvös torsion balance measurements and their geodetic applications

*Dr. L. Völgyesi–dr. Gy. Tóth
Summary*

There is a long tradition of research based on Eötvös torsion balance measurements for geodetic

applications in the Department of Geodesy and Surveying, TUB. We summarize in this paper the most important results of this long-term research.

A Tanszék Paksi Atomerőmű építésénél és üzeménél végzett műszaki ellenőrző, mérnökgeodéziai és fotogrammetriai feladatai

*Dr. Kiss Antal** egyetemi docens, *dr. Czakó János** egyetemi adjunktus-
*dr. Csemniczky László** egyetemi adjunktus, *Deák Ottó** tud. munkatárs-
*dr. Detrekői Ákos*** egyetemi tanár, *Homolya András** egyetemi adjunktus-
*dr. Kis Papp László** egyetemi tanár, *dr. Sárközy Ferenc** ny. egyetemi tanár
(*BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszék)
(**BME Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék)



Bevezetés

A Tanszék Magyarország több jelentős nagyberuházása (mint pl. irodaházak, árvízvédelmi töltések, városrészek, hidak, gyárak, erőművek létesítése) mérnökgeodéziai munkáiban vett részt.

E tevékenységek közül kiemelt szereppel bírnak:

– a Paksi Atomerőmű I–IV. (400 MW-os) blokkjai műszaki előkészítésével, létesítésével, beüzeme-

melésével és üzemével kapcsolatos mérnökgeodéziai és fotogrammetriai feladatok megoldása;

– a Paksi Atomerőmű ipartelep (2x1000 MW-os) bővítés műszaki előkészítésében, tervezésében való részvétel;

– a fentiekkel kapcsolatos tervezések, műszaki fejlesztések, kutatások, műszaki ellenőrzések, vizsgálatok, szakértések.

A Paksi Atomerőmű építési munkáiban való részvétel már az 1960-as években elkezdődött,

1979-től az építés és a beüzemelés befejezéséig folyamatosan tartott, és azóta az üzemelési időszakban is kis megszakításokkal fennáll.

A Paksi Atomerőmű építésével és üzemelésével kapcsolatos feladatok elvégzésére az építési mun-



*Paksi Atomerőmű építés közbeni látképe
(Fotó: Dr. Kiss Antal)*

ka alatt az ERŐTERV és az ERBE, az üzemelés alatt a PAV, illetve a PA Rt. adott megbízást.

Történelmi áttekintés

Az Atomerőmű építés előkészítési időszakában **1967–1975**-ig a Tanszék szakértői már dolgoztak Pakson. A Tanszék 1967-ben kapott megbízást az Atomerőmű területén az előkészítés geodéziai munkáinak elvégzésére. Az ipartelep helyi rendszerű főalappont-hálózatát létesítette, és a hűtővízcsatornák építéséhez kitűzési munkákat végzett. Az építési munka szüneteltetése után a Tanszék által létesített alapponthálózat szolgált az ipartelep főalappont-hálózatául.

Az Atomerőmű építése és beüzemelése alatt, az **1975–1987** közötti időszakban jelentkezett a legnagyobb igény a Tanszék szakértői iránt. Az Atomerőmű 1. számú épülete építésének kezdetétől, 1975-től a Tanszék részt vett a magassági mérésekben.

Az Általános Geodézia Tanszékét magában foglaló Geodéziai Intézet 1979-ben kapott megbízást a Paksi Atomerőmű építése, szerelése közbeni méretellenőrzési, méretpontosság biztosítási feladatok ellátására (szuperkontroll végzésére). E tevékenységi kört bővebben külön fejezetben ismertetjük.

Kezdetben az építési munka határidőinek kötöttsége miatt a sorra kerülő kritikus építési, szerelési feladatok elvégzését a korábban alkalmazott módszerekkel ellenőriztük. Majd a Geodéziai Intézet tevékenysége fokozatosan kibővíthetett. Az 1. főépület építése során bizonyítható volt, hogy

az Atomerőmű építése rendkívül szervezett, nagy pontossági igényű, magas technikai színvonalon végzett munkát igényel. E követelmények kielégítéséhez a Geodéziai Intézet tervezési és műszaki fejlesztési feladatokra kapott felkérést.

Az Atomerőmű építés sajátos geodéziai feladataira a Paksi Atomerőmű III–IV. blokkjának mérnök-geodéziai munkáihoz 1981-ben **Geodéziai Terv (G.T.)** készült el, amely mellékletben a következő mű-szaki utasításokat tartalmazza.

G.T. I. Vízszintes értelmű alapponthálózat, összehasonlító alapvonalak;

G.T. II. Magassági értelmű alapponthálózat;

G.T. III. Az atomerőmű sajátos geodéziai feladatai és azok pontossági előírásai;

G.T. IV. A geodéziai munkák rendje.

A Geodéziai Tervet, mint műszaki utasítást, az ERŐTERV hagyta jóvá.

A Geodéziai Terv előírta, hogy a geodéziai munkák végzéséhez korszerű mérő és feldolgozó elemekből álló technológiai rendszert kell létrehozni és alkalmazni. A Geodéziai Intézet az ERŐTERV szakértőivel együttműködve kidolgozta a technológiai rendszer célszerű felépítését, majd feltárta a legkorszerűbb hardver és szoftver lehetőségeket, és a BME, az ERŐTERV és az ERBE segítségével beszerezte és telepítette azokat.

Az Atomerőmű főépületeinek építésével és beüzemelésével kapcsolatos feladatok 1982-től mind műszaki tartalomban, mind volumenben kibővültek. 1982-87 között az I. blokk beüzemelése, a II. blokk szerelése, beüzemelése és a III–IV. blokk építészeti és gépészeti munkái folytak. Az ellenőrzési, vizsgálati, szakértői és építésszervezési feladatok a szuperkontroll team tagjaitól folyamatos készenlétet igényeltek. A fotogrammetriai felmérésre és megvalósulási térképezési munkára jelentős igény jelentkezett.

A számítógéppel vezérelt zártláncú, automatizált fotogrammetriai-geodéziai információs rendszer beüzemeléséhez szükséges kutatások, valamint az információs rendszer beüzemelése és alkalmazása mind a geodéziai, mind a fotogrammetriai munkák területén megtörtént.

A PAE 2x1000 MW-os bővítés előkészítésével kapcsolatos feladatok **1987–1989** között:

a) A 2x1000 MW-os bővítés előkészítéséhez szükséges vízszintes és magassági alapponthálózat ellenőrzése;

b) A bővítéssel érintett területek ellenőrző mérései és megvalósulási térképei, illetve a tervezési adatok GRADIS 2000 digitális adatbázisban való folyamatos karbantartása és bevitel;

c) A 2x1000 MW-os bővítés alábbiakban ismertetett ideiglenes geodéziai tervének készítése, melyet az alábbi címen magyar szabványként is elfogadtak:

A Paksi Atomerőmű 2x1000 MW-os bővítés ideiglenes geodéziai terve;

1. ütem: G.T.: Paksi Atomerőmű 1000/1 1987. MSZ 5067–11;

2. ütem: G.T. Paksi Atomerőmű 1000/2 1988. MSZ 5067–14;

d) A 2x1000 MW-os bővítés mozgás- és deformációmérő rendszer alábbi tervének készítése:

Építmény-diagnosztikai rendszerbe foglalt automatizált folyamatos működésű deformáció-mérő rendszerek a Paksi Atomerőmű bővítés 5. sz. és 6. sz. blokkjaiban (műszaki tervtanulmány) 1988.

A Paksi Atomerőmű üzemi és a KÁT bővítési területén **1998–1999.** években a magassági főalappont-hálózat szuperkontroll mérése és értékelése folyt. E szuperkontroll feladat végrehajtása



Gépészeti csarnok acélszerkezete
(Fotó: Dr. Kiss Antal)

során a Tanszék a főalappontok mozgás- és stabilitás-vizsgálatát és a mozgásfolyamatok leírását végezte. A kiértékelés részben az Atomerőmű helyi rendszerében, részben az EOMA alappontokhoz viszonyított Balti rendszerben történt. A főalappontok aktuális koordinátái mindkét rendszerben meghatározásra kerültek.

A Paksi Atomerőmű mérnökgeodéziai és geodinamikai feladatai minőségirányítási tervének 10 kötete készül 2001–2003-ban. A minőségirányítási terv 1–7. kötetének a BME Általános- és Felsőgeodéziai Tanszék a szerkesztője. A 8. kötet szerkesztője a GGKI Sopron. A 9. és 10. kötet szerkesztője a NYME Geoinformatikai Főiskolai Kar. A BME vállalta a teljes tervdokumentáció készítésének koordinálását.

Ellenőrző, vizsgálati és különleges igényű építésirányítási mérések és szakértések (szuperkontroll)

A Geodéziai Intézetet mint külső „független harmadik” felet bízta meg az **ellenőrzési munkák** végzésével. Az Atomerőmű rendkívüli követelményei azonban megkívánták, hogy a méretpontosságot befolyásoló összes tényezővel foglalkozzon. Ezért a Geodéziai Intézet feladatkörébe az is beletartozott, hogy a speciális geodéziai feladatok megoldásában részt vegyen, tervezési és műszaki fejlesztési feladatokat végezzen.

A szuperkontroll keretében ellenőrzött kritikus geometriai paraméterekre példák: az alappontok koordinátái, a technológiai egységek, pl. a reaktor fő tengelyek, a reaktor beállítását meghatározó osztósík, a darupályák feszítáv és sínkígyózás értékei és meghatározott pontjai, az 1. akna, a TV akna, a pihentető medence palástja.

Mind az alapponthálózatok, mind az egyes technológiai egységek ellenőrzésekor a Geodéziai Intézet foglalkozott a geometriai paraméterek változásainak megfigyelésével, előrejelzésével is. Az ellenőrző adatoknál a geometriai koordináták mellett a befolyásoló tényezők (hőmérséklet, terhelés stb.) koordinátái is meghatározásra és – a meghatározási időpont megadásával együtt – adatbanki tárolásra kerültek.

A műszerek, mérőeszközök vizsgálata, kalibrálása is a szuperkontroll feladatkörébe tartozott. A hossz mérő eszközök helyszíni kalibrálásához összehasonlító alapvonalak létesítésére és ezek folyamatos ellenőrzésére került sor.

A **vizsgálati mérések** célja különböző volt. Többségében az építési pontosságot befolyásoló szerkezeti mozgások, torzulások és ezeket kiváltó környezeti és más hatások kimutatása volt a cél. Egyedi esetekben az épületszerkezetek mozgásait, torzulásait egy meghatározott hatásra, meghatározott célból kellett megvizsgálni.

A továbbiakban az Intézet e témakörbe eső tevékenységét egy-egy példán keresztül mutatjuk be.

A reaktorok szerelésének, üzemelésének engedélyezéséhez szükséges mozgás-, torzulásvizsgálat és prognosztizálás megrendelésére a IV. reaktor szerelése közben merült fel az igény. Az Intézet e felkérésre – az épületekben lévő alapponthálózatok magassági mozgásvizsgálati eredményei és összehasonlító elemzések alapján – gyors előzetes, majd fél éves vizsgálat alapján részletes szakértést adott.

A lokalizációs tornyok falának túlnyomás ($2,5 \times 10^5$ Pa) hatására fellépő torzulásvizsgálata az

I–IV. reaktor blokk beüzemelését megelőző, integrált tömörségi próbája során vált szükségessé. Falméretek: 42 m x 50 m x 1,5 m.

Az igen kismérvű falpont elmozdulások (1–5 mm) kimutatása egyedileg tervezett mérési és adatfeldolgozási technológiát igényelt, amelynél a környezeti és egyéb befolyásoló tényezők hatását mind a mérési eredményekre, mind a mérés tárgyára vo-



DM 503 típusú mérőállomás
(Fotó: BME Oktatástechnika)

natkozóan figyelembe kellett venni. A vizsgálat módszerei és eredményei a szomszédos országok atomerőmű építésénél is felhasználásra kerültek.

Zártláncú automatizált fotogrammetriai-geodéziai információs rendszer

Az Atomerőmű építése során a tervezett és létrehozott információs rendszernek az Atomerőmű építésben betöltendő funkcióját a Geodéziai Terv a következőkben foglalja össze:

- a geodéziai mérések, a fotogrammetriai felvételek teljes körű (numerikus, grafikus és képi) feldolgozása és kiértékelése, beleértve a méréstechnológiai előírások folyamatos és hatékony ellenőrzését;
- a számszerű, a rajzi és egyéb járulékos információk számítógépes, adatbankszerű tárolása;
- a mérési és a járulékos információknak a tervadatokkal való automatizált összevetése, kiértékelése, az ütközések feltárása és kijelzése;
- az atomerőmű üzemeltetéséhez a technológiai vezetékrendszerek teljes térbeli rögzítése, a sugár-

veszélyes zónákban az emberi beavatkozást igénylő feladatok kiküszöbölése.

A rendszer telepítése 1981-ben megkezdődött. Sajnos az embargó és a rövid határidő erősen megnehezítette az információ-technológiai csúcstechnika beszerzését. Ennek ellenére a létrejött rendszer nemcsak hazai, de európai összehasonlításban is megállta a helyét.

A rendszer alagondolatát úgy foglalhatjuk össze, hogy a sztereofotogrammetriát igyekezett összekapcsolni a digitális térképezéssel. A paksi helyszínen telepített ikerkamerákkal rendszeresen fényképezték az elkészült építési, szerelési szakaszokat, majd a telephelyen – a BME Geodéziai Intézetében – kiértékelve a felvételeket, egybevetették azokat a digitalizált tervrajzokkal.

A fotogrammetriai technika mellett korszerű geodéziai felmérő műszerek – mint a Kern Mekometer 3000 szabatos elektrooptikai távmérő, a Kern DKM 2AM optikai teodolit, valamint regisztráló tahiméterek és feldolgozó programjaik – is tartoztak a rendszerhez, mely lehetővé tette a különböző jellegű mérések eredményeinek integrálását a termék-előállítási folyamatban.

A létrehozott mérési és feldolgozási technológia pozitívan befolyásolta az egész hazai geomatikai szakmát.

Az információs rendszer továbbfejlesztésének keretében több műszaki feladat megoldására is sor került. Ezek közül az egyik legjelentősebb a geodéziai hálózatok méréseit feldolgozó (GHMF) programrendszer kifejlesztése volt.

A Gradis–2000 interaktív grafikus rendszer

A Paksi Atomerőmű beruházás digitális megvalósulási térképeinek elkészítése egyúttal a GRADIS–2000 interaktív grafikus rendszer első magyarországi alkalmazása volt.

Kiinduló alapként már számos üzemi térkép állt rendelkezésre, amelyek korábban az Atomerőmű térképrendszerében, 1:250 méretarányban készültek az M. 1 Mérnökgeodéziai Szabályzat és Jelkulcs előírásai szerint, az Atomerőmű helyi adottságainak és a megrendelők igényeinek figyelembevételével. A fontosabb, nagyobb pontosságot igénylő helyeken a digitalizálás útján nyert adatokat numerikus koordinátákkal helyettesítettük.

Az újonnan épített létesítményeket mérési vázlatok alapján szerkesztéssel rögzítettük. A térképi struktúra kialakítására a GRADIS–2000 kulcsszámrendszerét használtuk fel, így sikerült a felhasználói igényeknek megfelelő lekérdezési lehe-



GRADIS 2000 munkaállomás
(Fotó: BME Oktatástechnika)

tősegeket biztosítanunk. A munka későbbi fázisában szükségessé vált a grafikus anyag mellé járulékos szöveges információkat is begyűjteni és betölteni. Ezt a rendszer az attribútumok kezelésével segítette elő.

A svájci CONTRAVES cég által készített GRADIS-2000 jelentette 1982-ben Magyarországon az első valódi interaktív grafikus térképszerkesztő és nyilvántartó rendszert. A PDP 11/44 számítógépen RSX operációs rendszer felügyelete alatt és egy különleges munkaállomáson futó programrendszer jelentős lépés volt az automatikus térképszerkesztés és digitális feldolgozás magyarországi elterjedésében.

A Paksi Atomerőmű részére végzett munka befejezése után az állományt lezártuk, és megfelelő formátumba konvertálva átadtuk a megrendelőnek, ahol – tudomásunk szerint – folyamatos változásvezetéssel jelenleg is használatban van.

Fotogrammetriai vizsgálatok

A Paksi Atomerőmű építése során szükségessé vált olyan technológiai rendszer kifejlesztése, amely a tervezési, építési-szerelési és üzemeltetési döntésekhez a létesítmény megvalósult állapotáról a telepítési geometriát tükröző információszolgáltatást biztosítja.

A fotogrammetriai vizsgálatok a sugárveszélyes helyiségek készre szerelt állapotáról készült háromdimenziós állapotfelmérésére, az építési program időarányos teljesítésének ellenőrzésére, az építmények építés közbeni ellenőrző mérésére, valamint a reaktortérben történő szabatos ellenőrző mérésekre terjedtek ki.

A fotogrammetriai felvételek a feladat jellegétől függően mono- vagy ikerkamarákkal készültek. Egyes kamaraként elsősorban UMK kamara,

ikerkamaraként pedig a 120 cm fix bázison elhelyezett Zeiss SMK kamara került felhasználásra. A felvételek a pontossági igényektől függően üveglemezre, illetve mérettartó filmre készültek. A külső tájékozási adatok, valamint az illesztő- és ellenőrző-pontok meghatározása DM 502 típusú mérőállomással történt.

Az eredmények megjelenítése különböző – számszerű, grafikus, illetve képi – formában történt. Az eredményközlés legegyszerűbb formája az adatlista. A Paksi Atomerőmű reaktor-karbantartási munkálatai során szükségessé vált a IV. sz. reaktoregység főosztósíkjában lévő tőcsavarok helyzetének numerikus meghatározása is, melynél az eredmények grafikusan is megjelenítésre kerültek. Hasonló grafikus végtermék készült a sugárveszélyes helyiségek háromdimenziós felmérésekor is.

A zártláncú automatizált rendszer speciális végterméke a mérethelyes ortofotó. Ezek az ortofotók a beruházás műszaki ellenőrei részére irodai körülmények között is biztosították a helyszíni információt, illetőleg a tervekkel való összehasonlítást.

Személyi feltételek

A fenti feladatok végrehajtásában az Általános Geodézia Tanszék, a Felsőgeodéziai Tanszék, a Fotogrammetria Tanszék (a Geodéziai Intézet) dolgozói vettek részt. Munkájukat minden tanszék-, illetve intézetvezető támogatta. Jelenleg a vonatkozó paksi feladatokat az Általános- és Felsőgeodézia Tanszék szervezi.

A feladatok megoldásában a Tanszék folyamatosan együttműködött a megbízó és a társ geodéziai intézmények – az ERŐTERV, az ERBE, a PAV, a PA Rt., az FTV és a BGTV – szakértőivel.

A Geodéziai Intézet, illetve a Tanszék Paksi Atomerőműnél végzett tevékenységének eredményei

Közvetlen eredmények

A Tanszék a Paksi Atomerőmű geometriai paramétereinek minőségbiztosítását szolgálva hozzájárult ahhoz, hogy a Paksi Atomerőmű I-IV. blokkjának épületei, szerkezetei hazai szervezésben, hazai műszaki fejlesztéssel és irányítással megépüljenek, beüzemelésre kerüljenek és közel 30 éve probléma nélkül üzemeljenek. Továbbá az 1000-es blokkok műszaki előkészítése, tervezése keretében az építés geodéziai tervét hazai szabványként kiadják.

Közvetett eredmények

A Paksi Atomerőmű igényelte tervezési, kutatási és műszaki fejlesztési feladatok jelentős volumenű, tudományos igényű kutatás-fejlesztési feladatot és kutatási lehetőséget biztosítottak a Tanszék oktatóinak és kutatóinak.

A feladatok végrehajtásához tervezett műszaki fejlesztés keretében Magyarországra és a Tanszék-re is a legkorszerűbb mérő és adatfeldolgozó rendszerek beszerzésére volt lehetőség. Ezen eszközök felhasználásával jelentős műszaki fejlesztési és tudományos eredmények születtek. Ezeket a Paksi Atomerőmű igényeinek kielégítése mellett a szakirodalomban is közzöltük, magyar és nemzetközi konferenciákon előadtuk, tudományos szakmai lapokban, tervezési-segédletekben, műszaki utasításokban, szabványokban, tanulmányokban, disszertációkban felhasználtuk, valamint beépítettük a felsőoktatás anyagába.

IRODALOM

Dr. Csemniczky László–Homolya András: A digitális térképfeldolgozás minőségi kérdései; VI. Országos Térinformatikai Konferencia kiadványa, Szolnok, 1996.

Dr. Csemniczky László–Homolya András: A GRADIS–2000 interaktív grafikus rendszer rövid története; Fejezetek a térinformatika magyarországi történetéből a kezdetektől 2000-ig, Bonaventura GIS Bt. Budapest, 2001.

Dr. Detrekői Ákos–dr. Eőry Karácson–dr. Sárközy Ferenc: A Paksi Atomerőmű építése során létrehozott zártlencű, automatizált fotogrammetriai-geodéziai információs rendszer, Geodézia és Kartográfia, 1984. 4. sz.

Homolya András: A kataszterek térképi és leíró adatainak feldolgozása, problémák, lehetőségek, megoldások; Geodézia és Kartográfia, 47. évf. 1. szám, Budapest, 1995.

Homolya András: Közműfelmérés automatizált feldolgozása és adatbank kialakítása a GRADIS-2000 interaktív grafikus rendszeren; Közművek Felmérése és Nyilvántartása Konferencia kiadványa, Pécs, 1987.

Homolya András: Digitális térképek előállítása, problémák, megoldások, tapasztalatok; IV. Országos Térinformatikai Konferencia kiadványa, Szolnok, 1994.

Dr. Karsay Ferenc–dr. Speciár Attila: A Paksi Atomerőmű építésénél végzett geodéziai munkák eddigi tapasztalatai, Geodézia és Kartográfia 1983. 2. sz.

Dr. Kiss Antal: Paksi Atomerőmű speciális geodéziai ellenőrző mérési feladatai, Geodéziai és Kartográfiai Egyesület rendezvényén tartott előadás Budapest, 1984. 05. 08.

Kiss A.: Deformation measurement of the localizing tower under overpressure of a nuclear power station. Proceedings of International symposium on Long-Term. Observation of Concrete Structures (Organised by the RILEM Technical Committee 45 LTO with cosponsorship of ACI), Budapest, 1984. HOME VOLUME III. 62–72 p. Responsible publisher: M. Heincz. Institute for Quality Control of Building, Budapest.

A. Kiss: Analiz rezultatov issledovania peremesenia 4-ogo reaktora atomnoj elektrosztancii „Paks“ sz tocski zrenia szosztavlenia prognoza peremescsenia i szozdania diagnoszticeszköz szisztemü. Periodica Polytechnica Ser. Civil Engineering 34. 1990. 1–2. 47–67 p.

Dr. Kiss Antal: Építési munka minőségét befolyásoló szerkezeti mozgások és deformációk vizsgálata, PhD doktori értekezés Budapest, 1999, 139 p. + függelék

Sárközy F.: Geodiziceszkije rabotü na nyekatorüh kapitalynüh sztojkah VNR.; Előadás a Wrocław Egyetem Nyári Geodéziai Iskoláján; Levin Klodzky 1980.

Dr. Ugrin N.: Az OR–1 Ortofotó rendszer gyakorlati felhasználása, Geodézia és Kartográfia 1980. 5. sz.

Engineering Surveying Technical supervision and photogrammetric projects of the Department at the construction and operation of Paks Nuclear Power Station.

Dr. A. Kiss–dr. J. Czákó–dr. L. Csemniczky–O. Deák–dr. Á. Detrekői–A. Homolya–dr. L. Kis Papp–dr. F. Sárközy
Summary

The Department has taken part performing engineering surveying for several significant constructions in Hungary (such as: factories, bridges, power stations, urban development, office buildings etc.). One of the most significant task to provide engineering assistance to construction and development of Paks Nuclear Power Station, since 1967 with some little pauses till the recent time. The Department performed sophisticated engineering operations at Paks NPS such as: engineering planning research and consultancy; dimension control, surveying and mapping of ready made structures.