

ITER Diagnosztikák Elektromos Infrastruktúrájának Fejlesztése

Nagy Dániel¹, Baross Tétény¹, Bendefy András², Darányi Fruzsina¹, Kiss István Gábor¹, Pataki Ádám¹, Szalai Judit², Veres Gábor¹

¹MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont

1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út. 29-33.

²Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

Az ITER egy széleskörű nemzetközi együttműködésben megvalósuló projekt, amelynek célja a magfúzió, mint energiaforrás békés célú felhasználhatóságának technológiai és fizikai demonstrálása. A fúziós kutatások világszerte ennek a berendezésnek a megépítésére összpontosulnak.

Az ITER építéséhez az egyik legjelentősebb magyar hozzájárulás a diagnosztikai jeltovábbvitelhez szükséges elektromos infrastruktúra kifejlesztése. A főbb fejlesztendő alkatrészek a kábelcsatlakozók, robot-csatlakozók, kábelek, kábelkötegek, kábelcsatornák, vákuumátvezetők. Az ITER speciális körülményei miatt a legtöbb esetben nem lehet kész ipari megoldásokat alkalmazni, hanem saját kutató-fejlesztő tevékenységet kell végezni ipari cégek bevonásával. Az cikk a közel egy éve zajló munkáról és főbb eredményeiről ad rövid áttekintést.

ITER projekt

A dél-franciaországi Cadarache-ban napjainkban épülő ITER egy széleskörű nemzetközi együttműködésben megvalósuló projekt, amelynek célja a magfúzió, mint energiaforrás békés célú felhasználhatóságának technológiai és fizikai demonstrálása. A fúziós kutatások világszerte ennek a berendezésnek a megépítésére összpontosulnak.

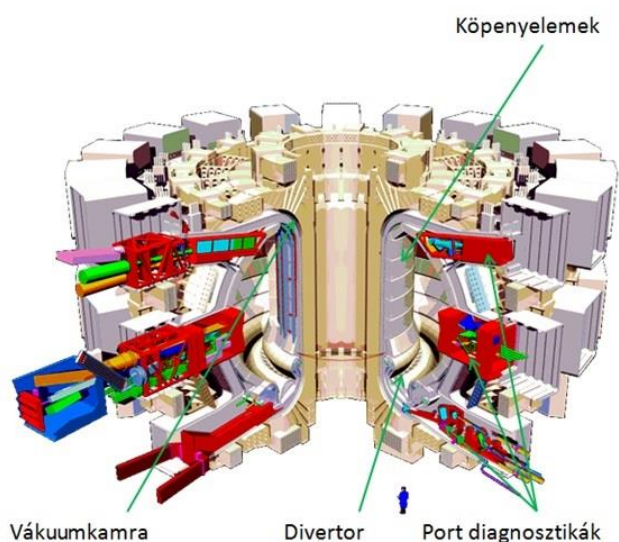
Az ITER, mint projekt elindításáról egy nagyhatalmi konferencián döntöttek az 1980-as években. Jelenleg hét partner vesz részt a berendezés építésében: EU, Japán, Oroszország, Kína, USA, India, Dél-Korea. Az egyes partnerek leginkább „in-kind”, azaz természetbeni hozzájárulással segítik a berendezés építését, ami azt jelenti, hogy a különböző komponenseket szállítják. A legnagyobb résztvevő az Európai Unió, ami a teljes beszállítások ~5/11-ed részét teljesíti, az összes többi résztvevő kb. 1/11-ed részben vesz részt az ITER építésében. A projekt irányítására és legfelsőbb szintű tervezésre az építkezés helyszínén működik az ITER Organization (IO), az európai beszállítások teljesítéséért pedig a Barcelonában tevékenykedő Fusion for Energy (F4E) felelős. A különböző alrendszerek fejlesztésére és gyártására az F4E „grant”-okat indít, amelyekre a tagállamok fúziós kutatócsoportjai és ipari cégei pályázhatnak. A kutatás-fejlesztési grantok támogatottsága 40%-os, az ipari grantoké 100%-os.

A kelet-európai régió országai közül talán Magyarország a legnagyobb résztvevő az ITER építésében (de tágabb értelemben a nemzetközi fúziós kutatásokban is). A részvételt kismértékben közvetlenül az IO-nak dolgozó mérnökök jelentik, de jóval nagyobb mértékben veszünk részt ITER

rendszerek fejlesztésében F4E grantokon keresztül. Ezek a munkák általában különböző európai kutatóintézetekkel közös konzorciumokban valósulnak meg. Jelentős magyar részvétellel jár jelenleg a bolométer kamerák fejlesztése, Test Blanket Module (TBM, olyan köpeny-kazetták, amelyeknek feladata trícium előállítás magreakciók által) fejlesztés, Charge Exchange Recombination Spectroscopy (CXRS) diagnosztika fejlesztés és a későbbiekben részletesen kifejtett TSD (Tokamak Services for Diagnostics) projekt.

ITER diagnosztikák

ITER egy kísérleti berendezés, amelynek vákuumkamrájában (és azon kívül is) nagyon sok diagnosztikai berendezést helyeznek majd el. Ezek egyrészt felelősek a berendezés biztonságos működéséért (pl. hő- és feszültségmérő szondák, stb.), másrészt a plazmafizikai jellemzők és mágneses tér megfigyeléséért és szabályozásáért (pl. mágneses diagnosztikák, bolométerek, neutron szenzorok, lézerek, stb.). Ezeknek a diagnosztikáknak megbízhatóan kell működniük az ITER élettartama alatt, mivel karbantartásra nem vagy csak korlátozott esetekben van lehetőség. A magfúzióra jellemző szélsőséges viszonyok miatt hagyományos megoldások különböző paraméterek (hőmérséklet, sűrűség, eloszlás) mérésére nem mindig alkalmasak, így a plazmadiagnosztika számos új eljárást fejlesztett ki a fúziós alkalmazásokra. Diagnosztikai szenzorok a vákuumkamrán belül a kamra belső falán, divertor kazettákon, és a portok három szintjén helyezkednek el, ezen felül kisebb számban pedig a vákuumkamra külső falán is (1. ábra).



1. ábra: ITER vákuumkamra és főbb elemei [1]

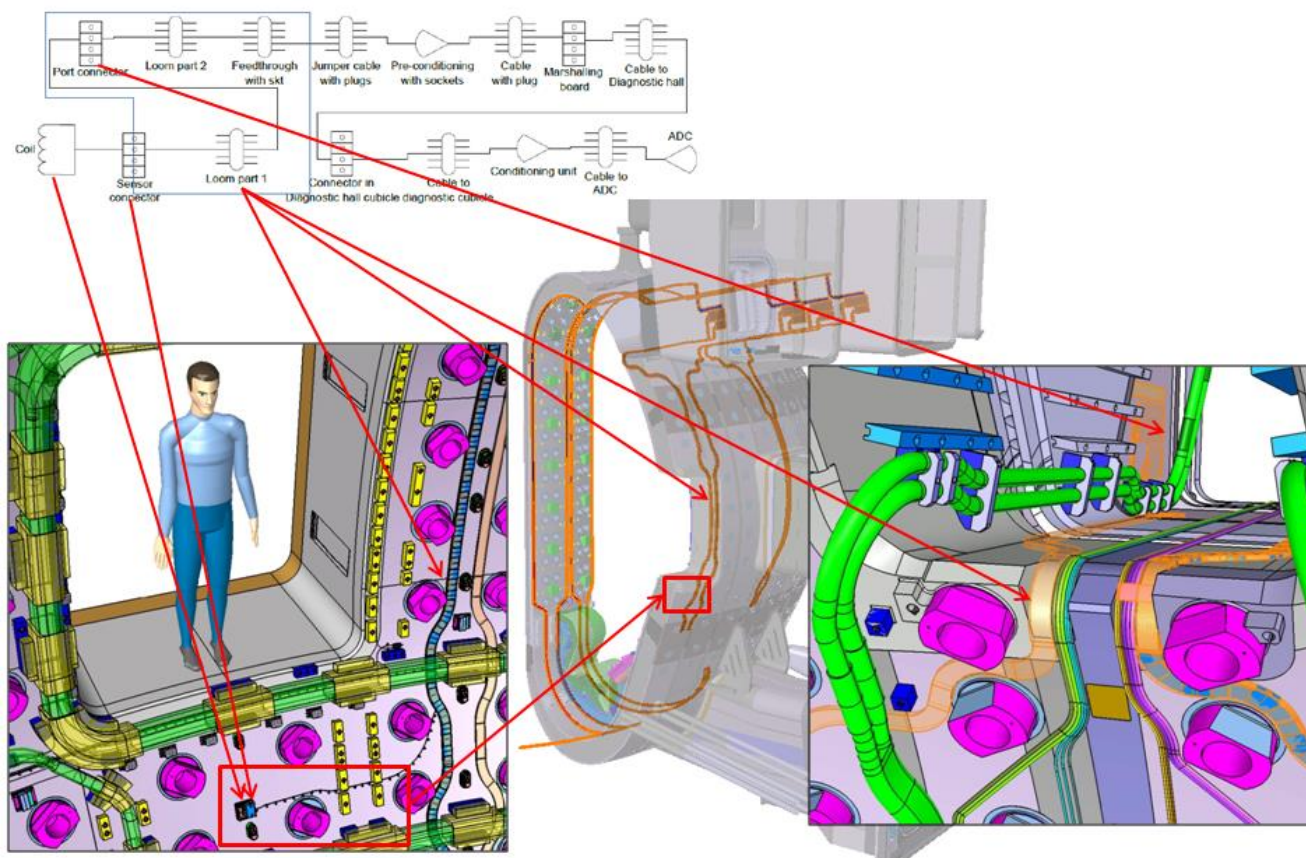
TSD projekt

A jelenleg folyó legjelentősebb magyar hozzájárulás az ITER-hez a diagnosztikák elektromos infrastruktúrájának fejlesztése. Erre a feladatra egy nemzetközi konzorcium alakult, amelynek vezetője az MTA WIGNER Fizikai Kutatóintézet, további tagjai pedig az MTA EK, BME, valamint az angol CCFE (Culham Centre for Fusion Energy). A konzorcium neve Tokamak Services for Diagnostics (TSD). Ez a konzorcium 2012-ben írt alá megállapodást az F4E-vel. A megállapodás egy 4 évre szóló keretszerződés (FPA – Framework Partnership Agreement) megkötésével indult, és

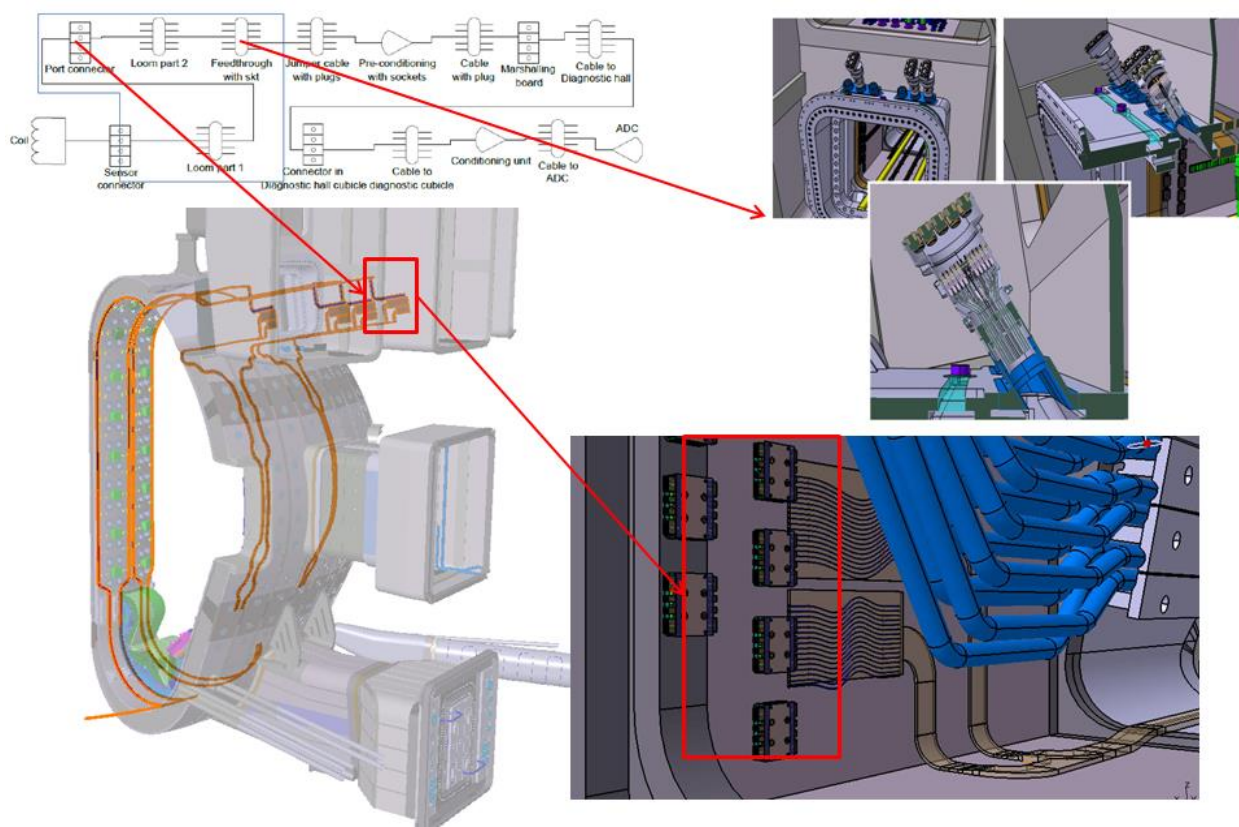
ennek időtartama közben, szükség szerint, konkrét feladatokra szóló Specific Grant-ok (SG) készülnek.

A TSD feladata az ITER diagnosztikák elektromos infrastruktúrájának kifejlesztése. A feladatba nem minden diagnosztika tartozik, csak azok, amelyek elektromos jeleket hoznak létre (tehát nem pl. optikai), és nem ún. port-diagnosztikák. Ezek a „kliens”-diagnosztikák a következők: mágneses, bolométer, DNFM (Divertor Neutron Flux Monitor), Langmuir szonda, nyomásmérők és hőmérők. A cél az, hogy a keletkezett jeleket a megfelelő minőségben kijuttassuk a vákuumkamrából. A vákuumkamrából kijutva még további jeltovábbító eszközökön keresztül jut el a jel az analóg-digitális átalakítóig, de ezen eszközök fejlesztése nem tartozik a feladataink közé.

A rendszer bemutatására egy jellemző (mágneses) jeltovábbítás látható a 2. és 3. ábrán. (jeltovábbító rendszer a köpenyelemek mögött helyezkedik el, de a köpenyelemek nincsenek ábrázolva a könnyebb érthetőség kedvéért). A diagnosztikai szenzortól (coil) a jel egy csatlakozón (connector) keresztül jut a diagnosztikai kábelbe. Itt egy rövid szakaszon közvetlenül a falhoz van rögzítve, majd csatlakozik egy kábelköteghez (loom), amiben 25 vagy 41 hasonló kábel van. Ez a kábelköteg a felső portba vezet a kábeleket, amelynek a levegő oldalához közel vannak a port csatlakozók (port connector). Ezen csatlakozón másik oldalán egy olyan kábel következik (loom part 2), ami egybe van gyártva és építve a vákuumátvezetővel (Feedthrough with socket), és ahol a levegő oldalra jut a jel.



2. ábra: Jellemző jelátvitel és elemei 1 [2]



3. ábra: Jellemző jelátvitel és elemei 2 [2]

A fejlesztések során két fő feladata van a TSD konzorciumnak. Az egyik K+F feladatként a rendszert alkotó komponensek kifejlesztése. Egy ilyen jellegű berendezésben a következő főbb peremfeltételeket kell figyelembe venni a fejlesztés során: neutron terhelés, magas hőmérséklet, vákuum-kompatibilitás, szűk beépítési helyek, karbantartás nagyon nehéz volta vagy lehetetlensége, és elektromágneses erők és hatások. Ezek a hatások minden vákuumkamrán belüli elemre érvényesek. Ezen felül azonban vannak speciális szempontok, amelyek a jeltovábbításra vonatkoznak. Az elektromos jelek kb a 10 Hz-100 MHz frekvenciatartományba és nV-tól kV-ig tartó feszültségtartományba esnek. A kisebb amplitúdójú jelek esetén a kábel hossza mentén fellépő hőmérsékletkülönbség és neutronsugárzás is tud relatíve jelentős zajokat produkálni, illetve a kábel vezetőképességét és szigetelését befolyásolni. Ezeket a szempontokat is figyelembe kell venni a fejlesztések során.

Ezen K+F feladatok során tehát az először az alkatrész koncepciót ki kell találni, majd a szükséges szimulációkkal (termikus, termomechanikus, elektromágneses, neutron sugárzás hatása) ellenőrizni, majd pedig prototípusokon tesztelni, amely során megpróbálunk ITER környezetet teremteni. Ezek a tesztek lehetnek például vákuum, mechanikai, elektromágneses, termikus, termo-mechanikus, elektromos, termo-elektromos, robot-kompatibilitási vagy sugárzásos. Ez a lépés a komponensek gyártási rajzainak elkészítésével zárul. A szükséges mennyiség legyártása nem feladata a konzorciumnak, erre a célra az F4E ipari grantokat fog kiírni.

A K+F feladatok mellett a másik fontos TSD feladat a rendszer szintű tervezés és a fejlesztéssel kapcsolatos óriási mennyiségű technikai adminisztráció elvégzése és karbantartása. Ez egy igen komoly feladat, mivel az ITER egy

nukleáris berendezés, egy rendkívül komplex berendezés, amit ráadásul több kontinensen fejlesztenek egyszerre. Ez csak úgy valósulhat meg, ha egy nagyon alapos és minden részletre kiterjedő projekt menedzsment struktúráját üzemeltetnek, amelynek karbantartása sok energiát igényel.

A TSD előzetes számításai alapján az általunk felügyelt rendszer néhány elemének becsült darabszáma az 1. táblázatban látható.

1. táblázat TSD komponensek besült száma

Elemtípus	Darabszám
Kábelek	~8800 (több tíz km)
Kábelkötegek	~125 (~1200 m)
Vákuumátvezetők	~175
Csatlakozók	~1400
Robotcsatlakozók	~17

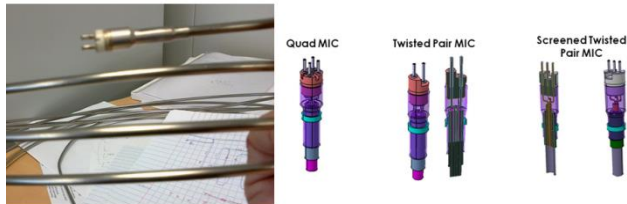
Jeltovábbító eszközök

Az alábbiakban, a feladat érzékeltetése végett, teljesség igénye nélkül néhány jeltovábbító eszköz részletesebb leírása következik.

Kábel

Az ITER-ben elektromos diagnosztikai jelek továbbítására MI (Mineral Insulated) kábelt fognak használni. Ebben egy, kettő vagy négy réz vezető szál fut, több vezető esetén általában csavarva a zajsűrés miatt. Szigetelőnek valamilyen kerámiaport használnak (Al-oxid vagy Mg-oxid). A külső réteg pedig egy acélköpeny, tulajdonképpen egy vékonyfalú

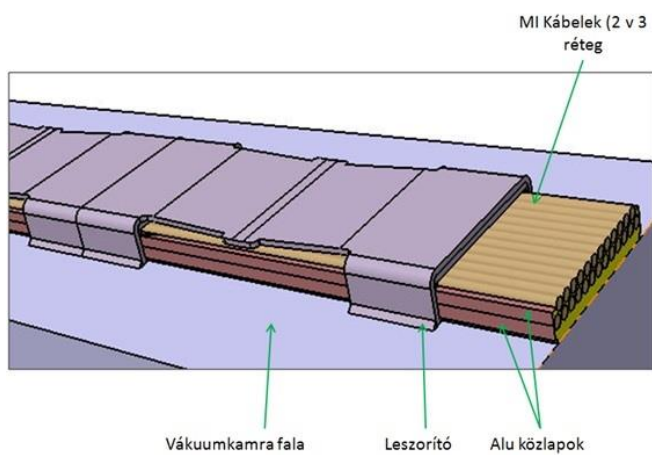
acél cső. Mivel a teljes kábelnek vákuum-tömörnek kell lennie, a kábelvégzódések ennek az alkatrésznek kritikus pontjai. A vákuumtömörségre fém-fém kapcsolat esetén precíziós hegesztést vagy keményforrasztást, elektromos szigetelés esetén pedig hermetikus kerámia-fém kapcsolatot használnak. A jellemző kábel átmérő ~4 mm, de 1,8-4,8 mm változhat.



4. ábra: MI kábel és végződéstípusok [2]

Kábelkötegek

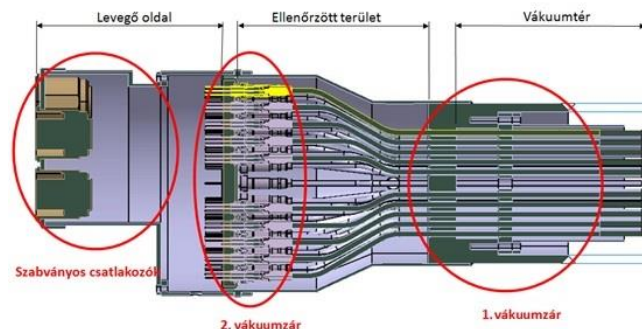
A kábelkötegek 25 vagy 41 db MI kábelt tartalmaznak, általában három rétegbe rendezve. A köpenyelemek mögött helyezkednek el, és a kábeleket vezetik a port csatlakozókig. Azért igényelnek komoly fejlesztést, mert nagyon jó hőátadást kell biztosítaniuk a kábelek és a vákuumkamra fala között. Erre azért van szükség, mert némely diagnosztika megkívánja, hogy nagyon kis hőmérséklet-ingadozás legyen a kábel hossza mentén (zajvédelem, max. 10 K hőmérséklet fluktuáció). Emiatt a kábelek között puha, könnyen deformálható alumínium segíti a hőátadást a kábelek és a vákuumkamra állandó hőmérsékleten tartott fala között. A kábelköteg nyomvonalai a 2. és 3. ábrán, egy jellemző kialakítás az 5. ábrán látható.



5. ábra: MI kábelköteg kialakítása [2]

Vákuumátvezetők

Az elektromos vákuumátvezetők az alsó és felső portokban helyezkednek el, és kb. 80 db MI kábelt képesek a levegőoldalra juttatni. Mivel ezek a vákuum- és tríciumzár részei, ezért a legmagasabb minőségi kategóriába tartozó komponensek, és az előírások alapján a gyártás és fejlesztés teljes folyamatával, dokumentálásával szemben komoly követelményeket kell teljesíteni. Dupla vákuumzárt tartalmazzanak, egy ellenőrzött térfogattal a kettő között, hogy a szivárgás esetén azonosítani lehessen a helyet. Az egyik koncepció szerint az első vákuumzár egy fém-fém kapcsolat a kábel köpenye és egy tárcsa között. Ezután a vezetőt szétválasztják a kábeltől és a második zár helyén műgyanta vagy kerámia szigetelőt alkalmaznak, a levegőoldalon pedig szabványos csatlakozót. A vákuumátvezető egy kialakítása a 6. ábrán látható.



6. ábra: Vákuumátvezető jellemző kialakítása [2]

Kitekintés

A projekt nehézségei főleg a gyakran változó prioritásokkal, koncepciókkal és kommunikációs problémákkal kapcsolatosak (több helyszínen párhuzamos fejlesztés). Mindazonáltal a projekt lehetőséget biztosít magyar mérnökök és kutatók számára, hogy betekintést nyerjenek egy ilyen világméretű, komplex berendezés építésébe, és ennek során hasznos, modern technológiákkal és menedzsment elvekkel ismerkedjenek meg.

Irodalomjegyzék

[1] <http://www.iter.org/album/media/7%20-%20technical#858>

[2] A. Encheva: System Design Description Document (DDD) for Diagnostic Electrical Services, IO dokumentum, 2012