

ITER, a következő 10 év fúziós technológiai kihívása

Mészáros Botond

MTA KFKI RMKI 1121 Budapest Konkoly-Thege Miklós út 29-33, Tel: 392-2509, Fax: 392-2598,
botond.meszaros@rmki.kfki.hu

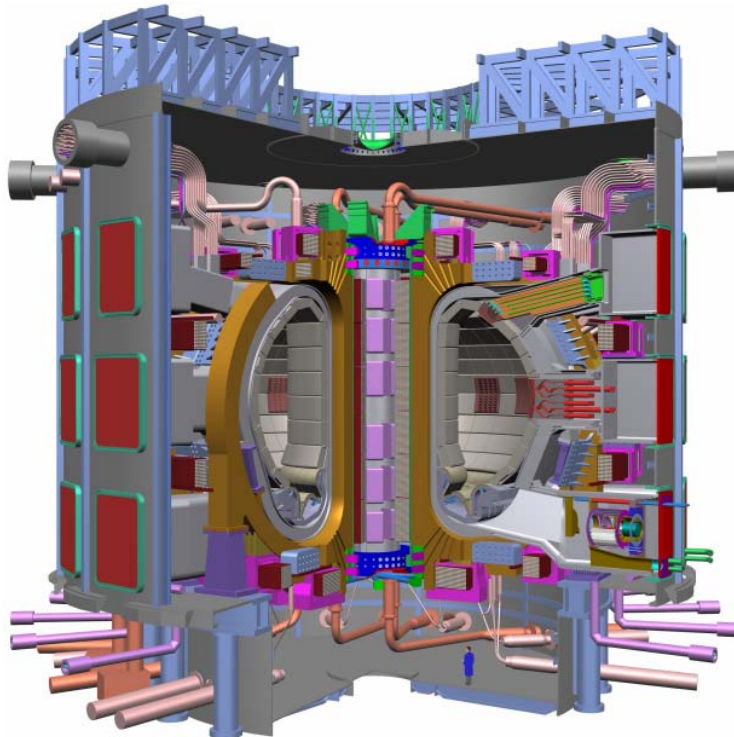
A fúziós szakma jelenlegi legnagyobb kihívást jelentő eseménye az ITER fúziós kísérleti reaktor előkészítő munkálatainak elindítása. A leendő telephely megtisztításával idén elkezdődött a 2018-ra tervezett átadásig tartó 10 éves tervezői és gyártási munka. Mivel a fő alkatrészek nagy vonalakban már megtervezésre kerültek, az elkövetkező időszak azok finomításával, gyártási dokumentációjával és gyártásával, illetve a portokba (felső, ekvatoriális, divertor) épülő diagnosztikák és kísérleti szerkezetek (úgy mint a tagországok által tervezendő különböző Trícium szaporító kazetták) kidolgozásával és gyártásával fog telni. Ebben a munkában az RMKI és a BME munkatársai is aktív részt vállaltak.

Az ITER

Az ITER fő paraméterei

Az ITER [1] (1.ábra) minden eddigi fúziós kísérleti erőműnél nagyobb méretekkkel fog megépülni biztosítandó az 500 MW fúziós teljesítmény elérését és a $Q=10$ fúziós

teljesítmény- fűtőtelsítmény arányát. Ehhez egy 2 m plazma kis sugárral és 6.2 m plazma nagy sugárral rendelkező tokamak megvalósítása a cél, mely 837 m³ plazma térfogattal fog rendelkezni a 3500 másodpercesre tervezett impulzusok során. Mindeközben a plazmában kialakuló áram 15 MA lesz, míg a toroidális mágneses mező a 6.2 m-es sugáron 5.3 T.



1. ábra: Az ITER tokamak metszete

Az ITER felépítése

Az ITER felépítése a főegységek bemutatásával a plazmatérből kifelé indulva kerül ismertetésre (2.ábra). Legbelül a vákuumkamra található, melynek feladata sokrétű: elsődleges feladata megteremteni az ultra nagy vákuum kialakításának feltételét, másrészt az ebben található köpenyelemek felelősek a neutronok tolerálható szintre való csökkentéséért, ezzel védve a környező alkatrészeket, főként a mágnesek épségét. A vákuumkamra továbbá ellátja az első radioaktív védelmi vonal szerepét, valamint biztosítja a plazmatérhez való hozzáférést a diagnosztikák, a fűtőegységek és a manipulátor számára. A kamrát egy hőszigetelő réteg borítja, majd a szupravezető mágnesrendszer tekercsei következnek. A rendszer tartalmaz 18 toroidális tekercset, 6 poloidálisat, a centrális

szolenoidot, illetve korrekciós tekercseket, melyek a mező hibák korrekciójára, gyártási eltérések, szerelési pontatlanságok kiküszöbölésére szolgálnak. A mágnesrendszer hozza létre a plazma áramot, valamint a plazmát összetartó mágneses teret. Következő rétegenként értelmezhetők a portok, melyek a diagnosztikák, a fűtés és a manipulátor számára biztosítják a plazmatérhez való hozzáférést. A szupravezető tekercsek hűtéséért a kriosztát egység felelős, míg a fő radioaktív védelmi vonalat a tokamak egységet lezáró beton biológiai pajzs képezi.

A betonpajzson kívül helyezkednek el az egyéb kiszolgáló egységek (úgy mint kriosztát részleg, melegkamra, adatfeldolgozó egység, trícium részleg, stb.), melyek a tokamak méretének többszörösét teszik ki.



2. ábra: Az ITER tokamak felépítése „rétegenként”

Manipulátor rendszerek

Egy műszaki szempontú elemzés során kihagyhatatlan a manipulátorok működésének vizsgálata. A tríciumüzem kezdetével a sugárzási szint ugrásszerűen megnövekszik a reaktorban, ekkor jön el a manipulátorok „ideje”. A cserélendő alkatrészek egy része vákuumkamrán kívülről hozzáférhető (pl. a diagnosztikák, port plugok), ám a

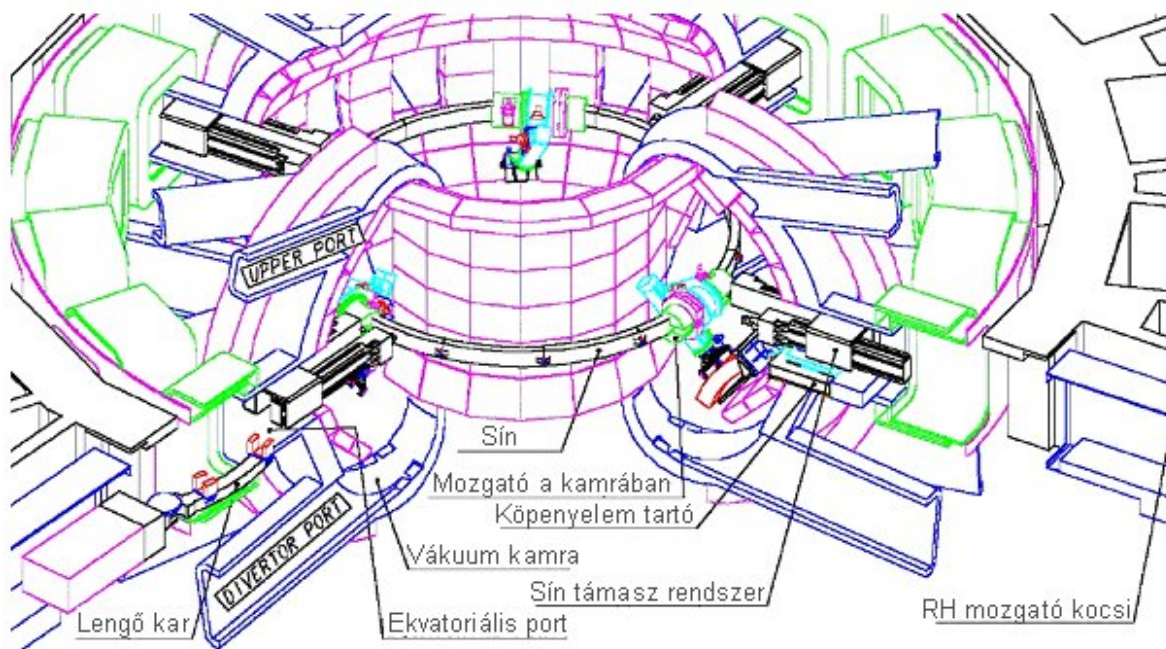
vákuumkamrán belül elhelyezkedő köpeny- és divertor elemek cseréje az ITER élettartama alatt elengedhetetlen. A belső alkatrészek cseréje igen bonyolult művelet. A következőkben ezek működése kerül bemutatásra.

Köpenyelem cserélő manipulátor

A köpenyelemek cseréjéhez egy sínrendszer (3.ábra) épül fel a vákuumkamrában. Ez a sínrendszer két fél darabban

tolódik be két szemközti ekvatoriális porton keresztül, majd az azoktól 90°-ra lévő két megtámasztáson felülve összekapcsolódik. Ezen a már teljesen körbejárható, 4 ponton megtámasztott sínen közlekedik a manipulátor robotkar, mely oly módon lett megtervezve, hogy minden egyes köpenyelemhez hozzáférjen. A manipulátor a

leszerelt köpenyelemet egy szállító járműbe helyezi, mely a port lezárása után a melegkamrába viszi karbantartásra. Egy köpenyelem cseréje 25 napot vesz igénybe, míg a teljes fal lecseréléséhez kb. 9 hónapra van szükség.



3. ábra: Köpenyelem cserélő manipulátor

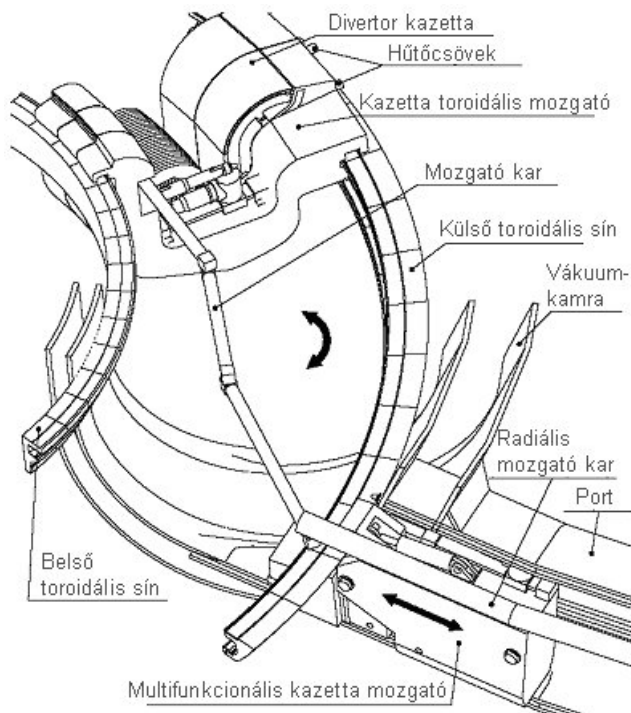
Divertor elem cserélő manipulátor

A divertor elemek cseréje három divertor porton keresztül kerül megvalósításra, ez portonként 18 elem cseréjét jelenti. A divertor mozgató (4.ábra) a porton át radiális irányban betolja a divertor kazettát a vákuumkamra alsó részére rögzített sínen, majd egy toroidális mozgató mechanizmus a végleges helyére illeszti azt. A divertor elemek cseréidejét erősen befolyásolja azok elhelyezkedése, tehát a legnehezebben hozzáférhető alkatrész cseréje 2 hónapot vesz igénybe, míg a teljes divertor készlet összesen 6 hónap alatt lecserélhető.

ITER diagnosztikák

Az ITER-ben 45 különböző diagnosztikai rendszer lesz megtalálható, melyek működési elvük szerint a következő 7 csoportba oszthatók [1]:

- Mágneses diagnosztika
- Neutron diagnosztika
- Optikai diagnosztika
- Bolometria
- Spektroszkópia
- Mikrohullámú diagnosztika
- Diagnosztikai semleges nyaláb



4. ábra: Divertor elem cserélő manipulátor

Ezen diagnosztikák kiválasztása sokrétű szempontrendszer alapján történt, melynek a legfontosabb elemei: megvalósíthatóság, tartósság, nukleáris kompatibilitás, minimális hatás a reaktor integritására, megbízhatóságára, költség minimalizálás. A diagnosztikák egyik „leghasznosabb” rendező elve azok szükségessége, ez alapján a következő csoportosítás lehetséges:

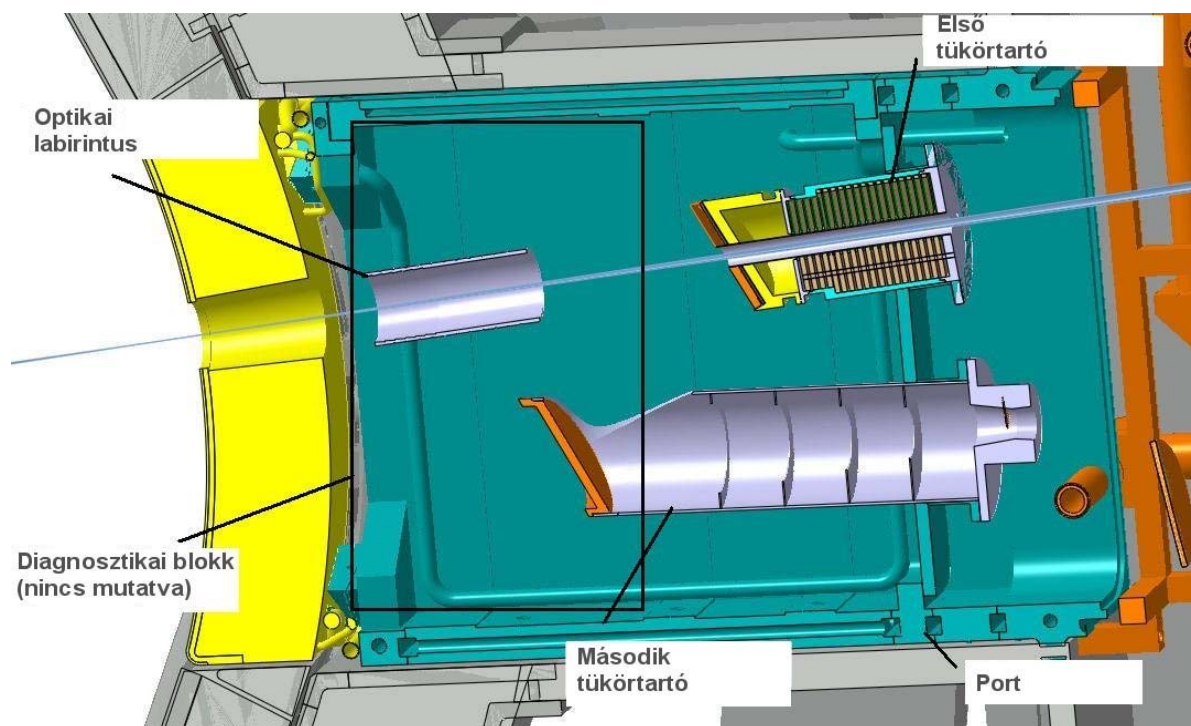
- Szükséges a reaktor védelméhez, illetve alapvető szabályozásához (méréndő paraméterek: pl. plazma alak, pozíció, függőleges irányú elmozdulás, toroidális mágneses mező, fúziós teljesítmény, stb.)
- Szükséges a magasabb szintű szabályozáshoz
- Kívánatos a fizikai kísérletekhez

A diagnosztikák elhelyezkedése a tokamakban: a vákuum kamrában, a felső, az ekvatoriális és a divertor portokban.

RMKI részvétel a diagnosztikák tervezésében

LIDAR Thomson Szórás diagnosztika

A diagnosztika a 10. ekvatoriális portban helyezkedik el (5.ábra), ahol az első és második fénygyűjtő tükrök tartószerkezetének tervezése, illetve a fény útját árnyékoló optikai labirintus fejlesztése folyik az RMKI-ban [2]. Mivel a terület a plazma közelében helyezkedik el, a koncepció kidolgozása során figyelembe kellett venni a hatalmas hőterhelést, valamint az elektromágneses erő okozta csúcsterheléseket. Mindemellett a lézernyaláb szórt fényének kiszűrése, illetve a plazma felől érkező nagysebességű részecskék okozta részecske kilökődés (sputtering) minimalizálása is fontos alapkövetelmény.

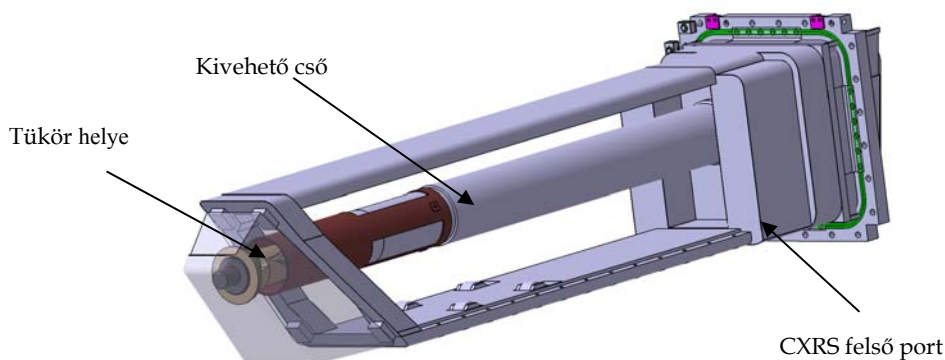


5. ábra: LIDAR diagnosztika port metszete

CXRS (Charge Exchange Recombination Spectroscopy) diagnosztika

A 3. felső portban található diagnosztika első, a megfelelő kilátás érdekében a plazma közelében elhelyezkedő tükrétartó, kivehető csőszerkezet (6.ábra) kidolgozását az RMKI mérnökei végzik. A plazmához közel elhelyezett tükrök két

fő jellegzetessége, hogy lerakódásoknak erősen kitett, illetve cseréje csak korlátozott alkalommal végezhető el. A fent említett vezette el a koncepció elkészítőit abba az irányba, hogy a cső ne egy, hanem több tükröt tartalmazzon, melyeket a vákuumtér megbontása nélkül ki lehet cserélni, növelve ezzel a nyitás nélküli használatban eltöltött időt.

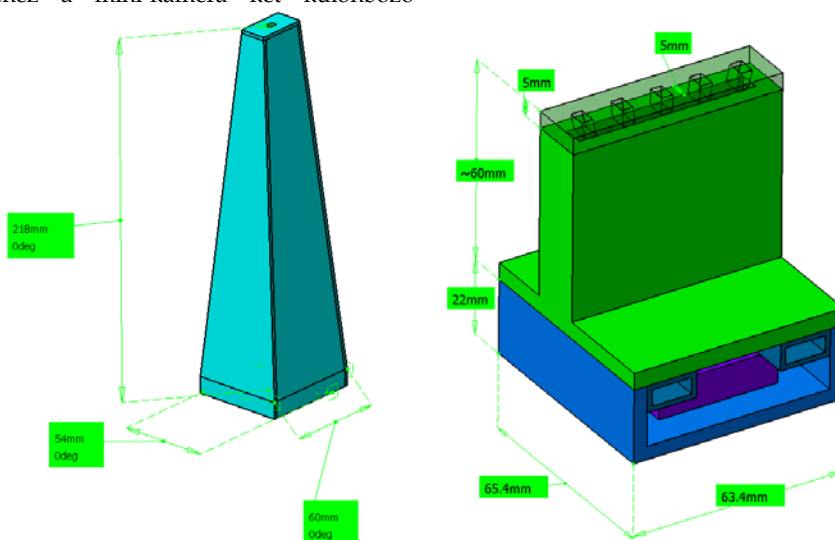


6. ábra: CXRS diagnosztika portja az első tükröt tartó kivehető csővel

Bolométer diagnosztika

A divertorba ágyazott Bolométer mini-kamerák koncepcionális tervezését, valamint azok termikus analizését is végzi jelenleg az RMKI mérnökcsoportja [3]. Ez magában foglalja egy megvalósíthatósági tanulmány elkészítését is. Az analízis elkészítéséhez a mini-kamera két különböző

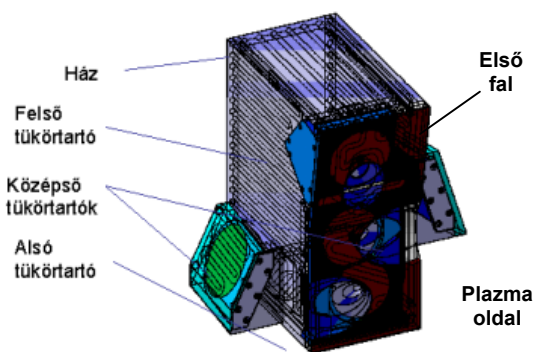
beépítési helyre került megtervezésre, úgymint pin-hole típusú, illetve kollimátor típusú beépítés (7.ábra). A nukleáris és nem-nukleáris hőterhelést figyelembe vevő termikus analízis rozsdamentes acél és réz alapanyagra is lefuttatásra került az eredmények összehasonlítása végett.



7. ábra: Pin-hole és kollimátor típusú Bolométer kamerák

Látható/infravörös megfigyelő rendszer

Az RMKI munkatársai végzik a diagnosztika első, egyben legérzékenyebb tükröi megfogásának tervezését és hűtésének kidolgozását [4]. Ezek a tükrök az ekvatoriális porton keresztül belógnak a vákuumkamrába a plazma tér közelébe, ezért kiemelkedően fontos a hűtésükről, illetve védelmükről gondoskodni, a lehetőségekhez mérten gyors és egyszerű cseréjüket biztosítani. A fent leírtak figyelembevételével került kidolgozásra a tükrőtartónak és házának, valamint ezeket védő ún. első fal elemek koncepciójának kialakítása (8.ábra).

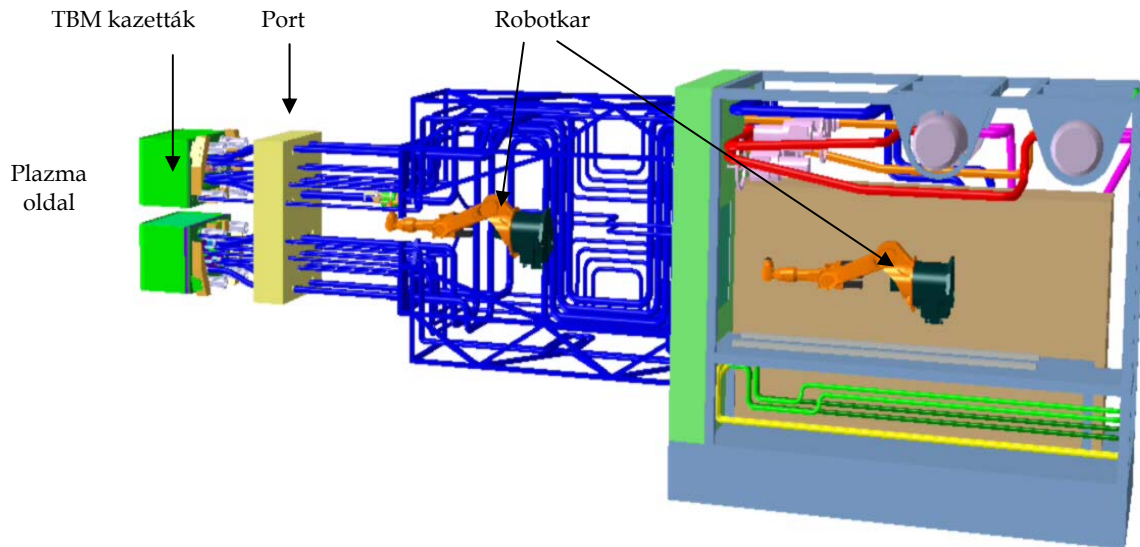


8. ábra: Tükrőtartó egység

RMKI részvétel a TBM (Test Blanket Module) fejlesztésben

A trícium szaporító kazetták (TBM) integrálását (9.ábra) egy magyar fejlesztő csoport végzi az RMKI vezetésével [5]. Mivel az ITER működésének első 10 évében 8 különböző TBM tesztelése van tervben, ezek integrációjának keretein belül nemcsak a beépítést és kiszerezést kell megoldani,

hanem ezek időigényét is minimalizálni kell a reaktor állásidejének csökkentése érdekében. Ennek fényében a mérnökcsoport kidolgozott egy koncepciót, mely egy teleszkóposan betolható robotkar segítségével 4 kétműszakos nap alatt ki tud cserélni 2 darab TBM-et, elvégezve a hőszigetelő anyag bontását és felépítését, a csatlakozó csövek elvágását és újrahegesztését, valamint a hegesztések ultrahangos vizsgálatát.



9. ábra: Hozzáférés a trícium szaporító kazetták kisegítő egységeihez manipulátor karral

Irodalomjegyzék

- [1] www.iter.org
- [2] B. Mészáros, *Second Intermediate report of EFDA 06-1450 TW6-TPDS-DIADES*, 2007
- [3] S. Kálvin, G. Grunda, *Second intermediate report of EFDA contract 06-1447*, 2007
- [4] J. Sárközi, *Second Intermediate report of EFDA task TW6-TPDS-DIADES PP11*, 2007
- [5] Bede O., *NAP beszámoló*, 2007