



EUROOPA
KOMISJON

Dhenduse uuringud

TUUMASÜNTEESI UURINGUD

Euroopa tuleviku
energiaallikas

ÜLDINFO



EURATOM

Kas oled huvitatud teadustööst Euroopas?

RTD info on meie kvartaalselt ilmuv ajakiri, mis hoiab sind kursis tähtsaimate arengutega

(tulemused, programmid, sündmused, jne.).

See on saadaval inglise, prantsuse ja saksa keeles. Tasuta koopia või tellimus on saadaval aadressil:

Euroopa Komisjon

Teadusuuringute Peadirektoraat

Informatsiooni ja kommunikatsiooni üksus

B-1049 Brüssel

Faks (32-2) 29-58220

E-mail: research@cec.eu.int

Internet: http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo/index_en.html

EUROOPA KOMISJON

Teadusuuringute Peadirektoraat

Tuumasünteesienergia uuringud

üksus J6 Tuumasünteesi Assotsiatsiooni Lepingud

Kontaktisik: Hugues Desmedt

Euroopa Komisjon

kontor CDMA 04/74

B-1049 Brüssel

Tel. (32-2) 29-98987

Faks (32-2) 29-64252

E-mail: hugues.desmedt@cec.eu.int

EUROOPA KOMISJON

TUUMASÜNTEESI UURINGUD

Euroopa tuleviku energiaallikas

***Europe Direct on teenus, mis aitab sul leida vastuseid sinu
küsimustele Euroopa Liidu kohta***

***Tasuta telefoninumber:
00 800 6 7 8 9 10 11***

Õiguslik teadaanne:

Euroopa Komisjon ega ükski isik, kes tegutseb Komisjoni nimel, ei ole vastutav selle eest, milleks järgnevat informatsiooni võidakse kasutada. Vaated, mis on esindatud selles väljaandes, on autori vastutusel ja ei peegelda ilmtingimata Euroopa Komisjoni vaateid.

Palju täiendavat informatsiooni Euroopa Liidu kohta on saadaval Internetist.

See on leitav võrguaadressilt <http://europa.eu.int>.

Kataloogiandmed on leitavad väljaande lõpust.

Luksemburg: Euroopa Ühenduste Ametlike Väljaannete Talitus, 2005

ISBN 92-894-77203-7

© European Communities, 2005

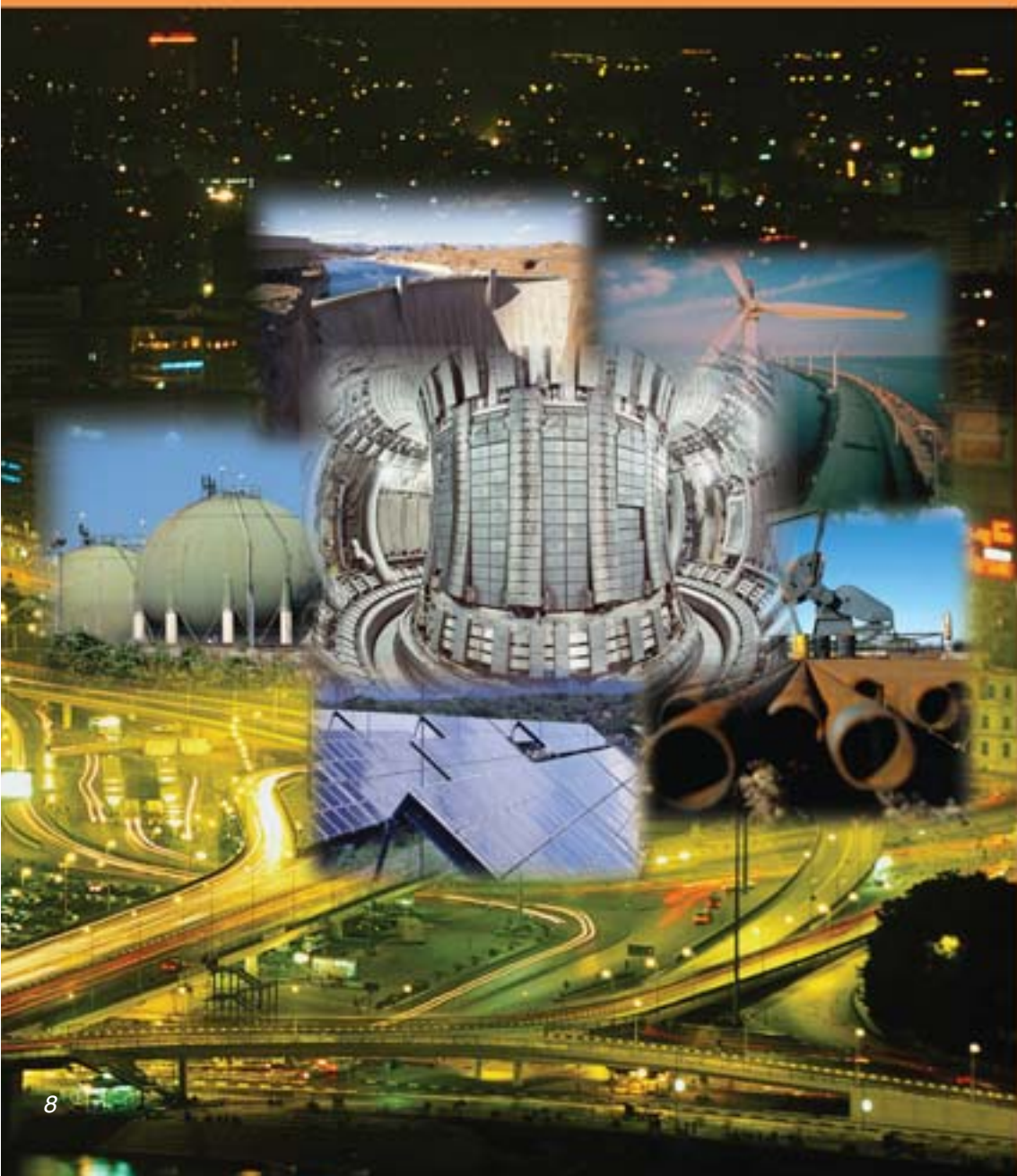
Kopeerimine on lubatud juhul, kui märgitakse algallikas.

Trükitud Belgias

TRÜKITUD VALGELE KLOORIVABALE PABERILE

Sisukord

| | |
|--|----|
| SISSEJUHATUS TUUMASÜNTEESI | |
| Vajadus tagatud ja säästva energia järele | 9 |
| Tähti toitev energiaallikas | 10 |
| Tuumasüntees energiatootmiseks | 11 |
| Ohutus | 12 |
| Keskkonnamõju | 13 |
| Edusammud magnetilises tuumasünteesiuuringutes | 14 |
| | |
| EUROOPA TUUMASÜNTEESIPROGRAMM | |
| ITER ja Euroopa tuumasünteesialane strateegia | 16 |
| Euroopa tuumasünteesiuuringute valdkond | 18 |
| | |
| KUIDAS TUUMASÜNTEES TOIMIB | |
| Magnetsulustatud tuumasüntees | 20 |
| Tokamaki põhikomponendid | 22 |
| Plasma kuumutamine | 24 |
| Plasmadiagnostika ja modelleerimine | 25 |
| ITER - tee tuumasünteesienergiani | 26 |
| Pikaajaline tehnoloogiategvus | 28 |
| | |
| Väljapoole suunatud tegevused Euroopas | 30 |
| Eiroforum | 32 |
| Euroopa haridus- ja koolitustegevus | 33 |
| Tuumasünteesi T&A tehnoloogiasirded muudesse kõrgtehnoloogia valdkondadesse | 34 |
| | |
| Viited | 35 |
| “Täheleojatest” | 38 |
| DVD | 39 |





Vajadus tagatud ja säästva energia järele

Euroopa Liidu (EL) majandus sõltub küllaldaselt hulgal tagatud energiavarustusest. Tänapäevaseid vajadusi rahuldavad peamiselt fossiilsed kütused (nafta, kivisüsi ja looduslik gaas), mis annavad 80% kogu kasutatavast energiahulgast. Peaaegu 67% fossiilsetest kütustest imporditakse. Summaarselt katavad imporditud fossiilkütused käesoleval ajal ca 50% ELi energiavajadusest ja aastaks 2030, eriti, mis puudutab naftat, on oodata selle kasvu 70%-ni.

Meie elustandardi säilitamiseks on vajalikud kindlalt tagatud ja säästlikud energiaallikad. Teadlased kogu Euroopas arendavad mitmesuguseid keskkonnasõbralikke, turvalisi ja säästlikke energiatootmise tehnoloogiaid. Üheks nende seas on tuumasüntees (fusioon).

Pikaajalises perspektiivis annab tuumasüntees võimaluse suuremastaabiliste energiaallikate kasutamiseks, millel on väike keskkonnamõju, mis on turvaline ja millel on tohutud ning laialt levinud kütusevarud.

Tuumasünteesil põhinevad jõujaamad on eriti sobilikud baasenergia vajaduste katteks tihedalt asustatud ning industriaalpiirkondades. Samuti võib kasutada neid vesiniku tootmiseks vesinikupõhise majanduse jaoks.

Käesolev buklet kirjeldab tööd, mida teevad Euroopa teadlased eesmärgiga muuta tuumasünteesienergia ühiskonna hüvanguks kättesaadavaks.



Tähti toitev energiaallikas

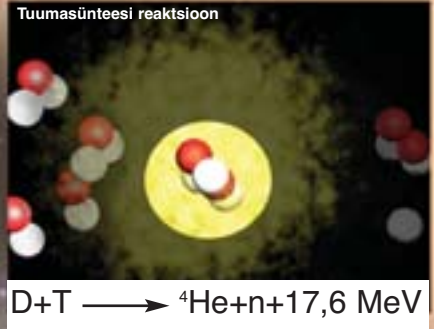
Tuumasüntees on protsess, mis on päikese ja tähtede energiaallikas. Väikese massiga aatomituumad „sulavad” kokku ja vabastavad energiat. Päikese sisemuses lubab ülisuur gravitatsioonirõhk sellel „sulamisel” toimuda temperatuuridel suurusjärgus 10 miljonit °C.

Niisuguse temperatuurini kuumutatud gaas muutub plasmaks, milles elektronid on täielikult eraldunud aatomituumadest (ioonidest). Plasma on aine neljas olek ainult talle iseloomulike omadustega. Viimaste tundmaõppimisele ongi plasmafüüsika uuringud keskendunud. Kuigi maal on plasmaolek haruldane, koosneb enam kui 99% universumist plasmast.

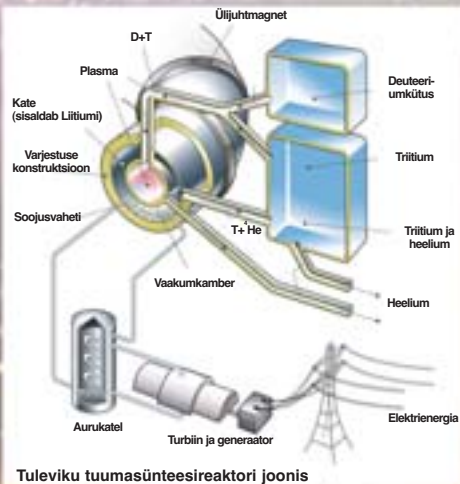
Tuumasünteesienergia huvipakkuvate tootmisvõimsuste saavutamiseks tunduvalt madalamatel rõhkudel (10 miljardit korda väiksem kui Päikesel), mida võime tekitada Maal, peab temperatuur ületama 100 miljonit °C. Selliste temperatuuride saavutamine nõuab võimsat plasmakuumutust ja soojuskadude minimeerimist, hoides kuuma plasma eemal anumaseintest. See saavutatakse plasma paigutamisega tugevate magnetväljade tekitatud toroidaalsesse „puuri”. Magnetväli takistab elektriliselt laetud plasmaosakeste põgenemist: see moodsaim tehnoloogia on kogu Euroopa tuumasünteesi programmi aluseks.



Tuumasüntees energia tootmiseks



Tuumasünteesi reaktsioon vesiniku kahe isotoobi, deuteriumi (D) ja triitiumi (T) vahel on esimese põlvkonna tuumasünteesireaktori väljatöötamise aluseks, teised tuumasünteesi reaktsioonid vajavad veelgi kõrgemaid temperatuure. Deuterium on looduslikult esinev mitteradioaktiivne isotoop, mida saab eraldada veest (keskmiselt 35 g iga kuupmeetri vee kohta). Triitiumi Maakeral ei esine, ent seda hakatakse tootma tuumasünteesireaktoris liitiumist (laialt levinud kergmetall). Iga tuumasünteesi reaktsioon tekitab alfa-osakese (s.t. heeliumituuma) ja suure energiaga neutroni.



Neutronid pangevad plasmast ja aeglustuvad plasmata ümbritsevas kattes. Seal muundatakse liitium triitiumiks, mis ringleb kütusena vaakumkambris tagasi ning neutronite poolt tekitatud soojust saab kasutada auru tootmiseks, mis käivitab elektrigeneraatorite turbiinid. Ühemiljonilise elanikkonnaga linna elektriga varustamiseks ühe aasta jooksul vajab tuumasünteesi elektrijaam üht väikest veoautokoormat kütust.



Ohutus



Tritiumi käitlemise rajatis

Tuumasünteesireaktor on nagu suur gaasipõleti: reaktorisse pritsitud kütus põletatakse ära. Mistahes hetkel reaktorikambris oleva kütuse hulk on väga väike (umbes 1g DT-segu 1000 m³ kohta) ja kütuse pealeandmise katkemisel jätkuvad tuumasünteesi protsessid veel kõigest mõne sekundi. Seadeldise mistahes häire põhjustab plasma jahtumise ja seega ka fusiooni protsesside lakkamise.

Peamised tuumasünteesi kütused, deuterium ja liitium, samuti reaktsiooniprodukt heelium, ei ole radioaktiivsed. Radioaktiivne vahekütus triitium laguneb mõistlikult kiiresti (poolestusajaga 12,3 aastat) ja tema lagunemine tekitab väga väikese energiaga elektroni (beetakiirguse). Õhus on elektroni teepikkuseks ainult mõni millimeeter ja ta ei ole võimeline isegi paberilehest läbi tungima. Sellest hoolimata on triitium kahjulik, kui ta peaks organismi sattuma. Niisiis on sellises rajatises projekteeritud ja rakendatud turvameetmed triitiumi käitlemiseks.

Kuna triitiumi toodetakse reaktori kambris fusiooniprotsessi säilitamiseks vajalikus koguses, siis puudub vajadus radioaktiivse kütuse regulaarseks transpordiks tuumasünteesijaama.



Keskkonnamõju

Tuumasünteesi reaktsioonide toodetud energiat hakatakse kasutama tänapäeval viisil, s.t. elektri tootmiseks, soojusena tööstuse vajadusteks või ka võimalikuks vesiniku tootmiseks.

Termotuuma elektrijaama kütusekulu saab olema äärmiselt väike. Üks GW elektrilise võimsusega termotuumajaam toodab umbes 7 miljardit kWh elektrienergiat ja vajab terve aasta vältel töötamiseks umbes 100 kg deuteeriumi ja 3 tonni looduslikku liitiumi. Kivisõe elektrijaam vajab aga – ilma süsiniku isoleerimiseta/sekvestreerimiseta – sama energiakoguse tootmiseks umbes 1,5 miljonit tonni kütust.

Tuumasünteesireaktorid ei tooda kasvuhoonegaase ja muid reostusaineid, mis võivad kahjustada keskkonda ja/või põhjustada kliimamuutusi.



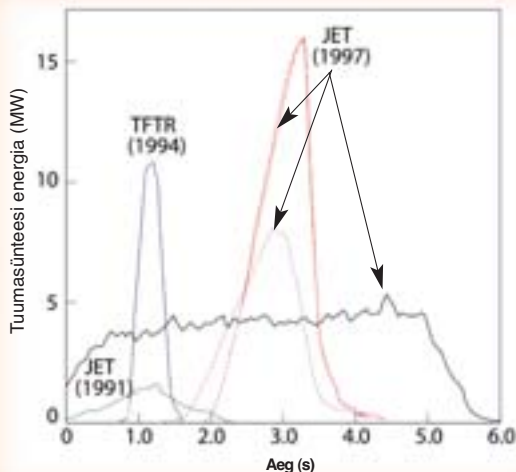
Tuumasünteesi reaktsioonide käigus tekitatud neutronid aktiveerivad plasma ümber paiknevaid materjale. Materjali-komponentide hoolikas valik lubab need regulatoorsest kiirgusohutuskontrollist vabastada (ja võimalik, et ka ümber töödelda) umbes 100 aastat pärast jõujaama seiskamist. Seetõttu ei kujuta tuumasünteesi jõujaamade jäätmed tulevastele põlvkondadele liigset koormat.

Euroopa Tokamaki rajatis JET (Culham-UK)



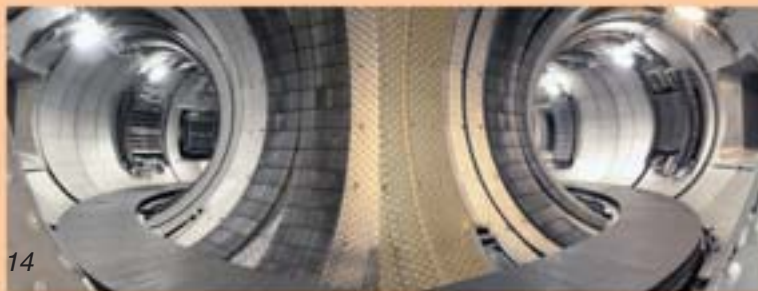
Edusammud magnetilises tuumasünteesiuuringutes

Euroopa tokamak JET (Joint European Torus) on maailma suurim tuumasünteesi keskus ja käesoleval ajal ainukene seade, mis on võimeline töötama DT-kütuseseguga. JET on saavutanud kõik algselt kavandatud eesmärgid ning mõningatel juhtudel on neid isegi ületanud. 1997 a. saavutas JET tuumasünteesienergia tootmises maailmarekordilise võimsuse 16 MW.



Tuumasünteesienergia-alased saavutused

Euroopas on mitmeid suuremaid eksperimenteraalarajatisi, mis annavad oma panuse tuumasünteesi-alaste uuringute arenguks vajalikku teadmistaasi. Üks hiljutine saavutus on seotud TORE SUPRA tokamakiga Prantsusmaal, kus tegeletakse kvaasi-stabiilse režiimi uurimisega. 2003. aastal tekitas nimetatud seade kõrgkvaliteetse plasmalahenduse rekordilise kestusega 6,5 minutit. Selle aja kestel plasma alahoidmiseks sisestatud energia, mis tuli ka soojusena eraldada, oli suurem kui 1GJ (üks tuhat miljonit džauli on piisav 3 tonni vee keemaajamiseks).



Tore Supra (Cadarache, F) rekordkestusega kõrgkvaliteetne plasmalahendus



ITER ja Euroopa tuumasünteesi-alane strateegia

Euroopa Liidu liikmesriikide ja Euratomi raamprogrammiga assotsieerunud riikide tuumasünteesi teadus- ja arendustegevuse (T&A) eesmärgiks on “jõujaamade prototüüpreaktorite ühisloomine ühiskonna vajaduste rahuldamiseks: käitusohutus, keskkonasõbralikkus, majanduslik raken-datavus”..

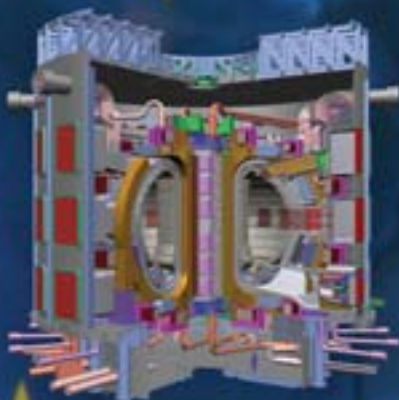
Selle pikaajalise eesmärgi saavutamise strateegias sisaldub eksperimentaalreaktori ehitamine, mille poole püüeldakse rahvusvahelises koostöös ITER .

ITER-tokamaki üldeesmärk on demonstreerida tuumasünteesienergia teaduslikku ja tehnoloogilist teostatavust rahumeelsetel eesmärkidel. ITER saavutab selle eesmärgi, demonstreerides deuteeriumi-triitiumi plasma kontrollitud põlemist, lõppeesmärgina - pidevreežiimis töötamine ning demonstreerides olulisi tehnoloogiaid terviklikus reaktorisüsteemis.

ITERile järgneb demonstratsioonireaktor (“DEMO”), mis esimest korda oleks võimeline tootma arvestatavas koguses elektrit ja ennast triitiumiga varustama. ITERi ning hiljem DEMO ehitamine nõuab

Euroopa tööstuse olulist kaasamist, millega kaasneb füüsika- ja tehnoloogia-alane T&A tegevus tuumasünteesi laboratuurimites ja ülikoolides.

ITERi skeem





Viimastel aastatel on ITER-seadme projekteerimises osalemine (koos rahvusvaheliste partneritega) olnud Euroopa tuumasünteesi uurimisprogrammide oluliseks osaks. Üldjoontes järgib selle konstruktsioon Euroopa JET-seadet (Joint European Torus, Culham, UK), mis saavutas 1997. a. maailmarekordilise tuumasünteesi võimsuse 16 MW. Ekstrapoleerimine ITERile on tehtud ulatuslike modelleerimiste kaudu, kasutades asjakohaseid Euroopa ja rahvusvahelistest tuumasünteesi eksperimentidest pärinevaid andmebaase.

ITER'i koostöö viiakse ellu Rahvusvahelise Aatomienergia Agentuuri (International Atomic Energy Agency - IAEA, Viin) egiidi all. ITER'i üldine strateegiline eesmärk on demonstreerida tuumasünteesienergia teaduslikku ja tehnoloogilist teostatavust rahumeelsetel eesmärkidel.



ITER Euroopas, Cadarache.
Kunstniku ettekujutus.

Paralleelselt ITER'iga toimub töö DEMO pikka väljatöötamist nõudvate T&A probleemide arendamisel. Tuumasünteesi reaktori tingimustele optimeeritud kõrgtehnoloogiliste konstruktsioonimaterjalide (esmajoonelise väikese neutronaktiivsusega materjalide) arendamine on üheks tähtsaks eesmärgiks.



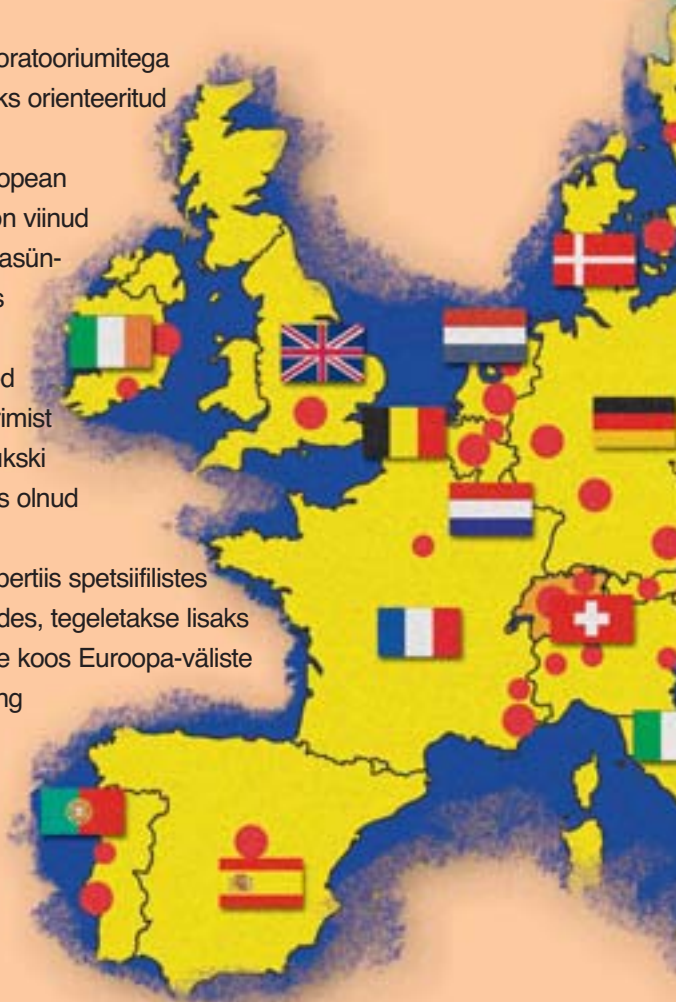
Euroopa tuumasünteesiuringute valdkond

Euroopa tuumasünteesi programmi põhijoneks on unikaalne koordineerimine, mis võimaldab kõikide oluliste uurimisvaldkondade asjakohaste T&A ressursside intensiivset kasutamist Euroopat hõlmavas koostöös. Eriti tähtis on koostöö JET'i kasutamisel ning tehnoloogiaprogrammis Euroopa Tuumasünteesi Arendamise Lepingu (ETAL, European Fusion Development Agreement (EFDA)) raames, mis on tugevalt ITER'le orienteeritud, kuid sisaldab ka DEMO'le suunatud uuringuid.

Niisugune, suurte ja väikeste laboratooriumitega koordineeritud ühiseks eesmärgiks orienteeritud tuumasünteesiprogramm on

Euroopa teadusruumi (ERA, European Research Area) hea näide, mis on viinud Euroopa magnetsulustatud tuumasünteesi rahvusvahelistes uuringutes eesliinile. Euroopa ühinenud tuumasünteesilaborite saavutused on võimaldanud JET'i konstrueerimist ning arengut ITERi poole, mida ükski liikmesriik või ühinenud riik poleks olnud võimeline saavutama üksi.

Et koondada maailma parim ekspertiis spetsiifilistes ühist huvi pakkuvates valdkondades, tegeletakse lisaks rahvusvahelisele ITER'i koostööle koos Euroopa-väliste partneritega ka mitmete kahe- ning mitmepoolsete lepingute raames Euroopa ning Euroopa-väliste laborite vahel.





Vastavalt Euratomi asutamislepingule koordineerib Euroopa tuumasünteesi uuringuid ja arendusprogramme Euroopa Komisjon ja neid teostatakse järgmisel kujul:

- Assotsiatsioonilepingud uurimisasutuste või organisatsioonidega liikmesriikides ning Euratomi Raamprogrammiga ühinenud riikides (Euratomi assotsiatsioonilaborid on kaardil kujutatud punaste punktidenä).
 - EFDA leping, mis kindlustab:
 - tuumasünteesi tehnoloogia-alased tegevused, mida teevad assotsiatsioonid ja tööstus;
 - JET'i rajatise ühise kasutamise;
 - Euroopa-poolse panuse rahvusvahelisse koostöösse, näiteks ITER.
 - Piiratud kestusega lepingud riikidega, kellel tuumasünteesi "assotsiatsioon" puudub.
 - Teadlaste mobiilsuse ja Euratomi stipendiumite edendamise lepingu.

EL 6. raamprogrammis (2002-2007) on tuumasünteesienergia uuringud prioriteetne uurimisvaldkond, mille Ühenduse eelarve on 750 miljonit € (sellest 200 miljonit € võib kasutada ITERi ehituse alustamiseks).

Euroopa tuumasünteesiuuringute edu aluseks on umbes 2000 füüsiku ja inseneri töö Euroopa laborites ja tööstuses.

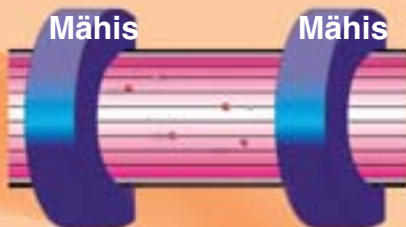


Magnetsulustatud tuumasüntees

Magnetsulustatud tuumasünteesil kasutatakse tugevaid magnetvälju plasma sulgemiseks "vaakumanumasse", mis isoleerib plasmat õhust. Ideaaljuhul ei saaplasma koostisosad, elektrililaenguga ioonid ja elektronid, magnetvälja jõujooni läbida. Ent nad võivad vabalt liikuda piki magnetvälja jõujooni.

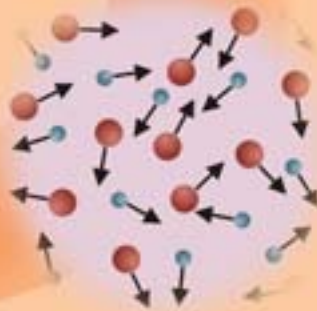


Magnetsulustatud tuumasüntees



Plasma magnetväljas

Painutades jõujooni selliselt, et tekib suletud ring, on plasma osakesi põhimõtteliselt võimalik lõksu püüda. Osakesed ja nende energia on põlemiskambri seintest hästi isoleeritud ja seega säilib ka kõrge temperatuur. Tegelikult toimuvad reaalses toroidaalses magnetsüsteemis energiakaod mitmesuguste protsesside vahendusel, nagu kiirgus ja osakeste kokkupõrked, mis aja jooksul põhjustavad osakeste pagemise plasmas risti magnetvälja jõujoontega.



Plasma ilma magnetväljata

Magnetväli tekitatakse võimsa elektrivoolu poolt, mis ringleb reaktorikambri väljapoole paigutatud mähistes. Sageli annab oma panuse magnetpuuri moodustamisse ka plasmas tekitatud vool.



Poloidaalvälja mähised



Plasmavool

Plasma

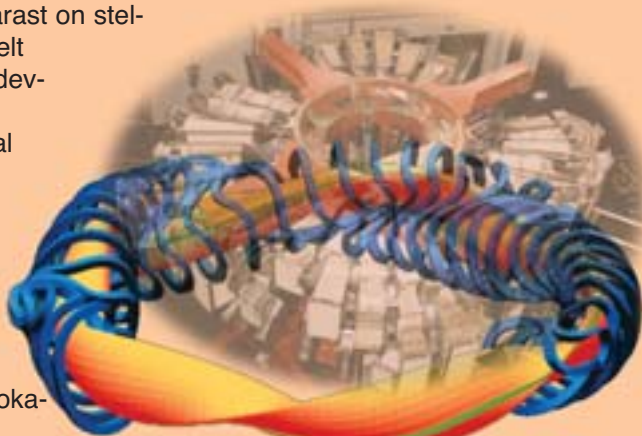
Toroidaalvälja mähised

Magnetvälja jõujoon

Tokamaki joonis

Tokamakiks nimetatavas masinatüübis toimib plasma transformaatori sekundaarmähisena (primaarmähiseks on väline mähis) ja voolumuutus primaarmähises indutseerib voolu plasmats. Lisaks plasmats vangistava magnetvälja tekitamisele põhjustab vool tänu plasma elektrilisele takistusele ka kuumutamist. Kuna transformaator ei saa genereerida voolu pidevalt, on plasmal piiratud kestus ning stabiilset olekut peab säilitama muude vahenditega.

Stellaraatoriks nimetatavas masinas kasutatakse sama magnetsulustamise põhimõtet, kuid välised mähised on keerulise kujuga ja plasmats voolu tekitamisel ei tugineta transformator-efektile. Seepärast on stellaraatorid põhimõtteliselt võimelised töötama pidevrezhiimil. Suurim uus rajatis, mida käesoleval hetkel ehitatakse, on stellaraator W 7-X Greifswaldis (Saksamaa). Teised eelpool nimetatutele sarnased magnetkonfiguratsioonid on kompakne (või sfäiline) tokamak ja pöördvälja pintš-lahendus.



Stellaraatori joonis



Tokamaki põhikomponendid

Tsentraalsolenoid

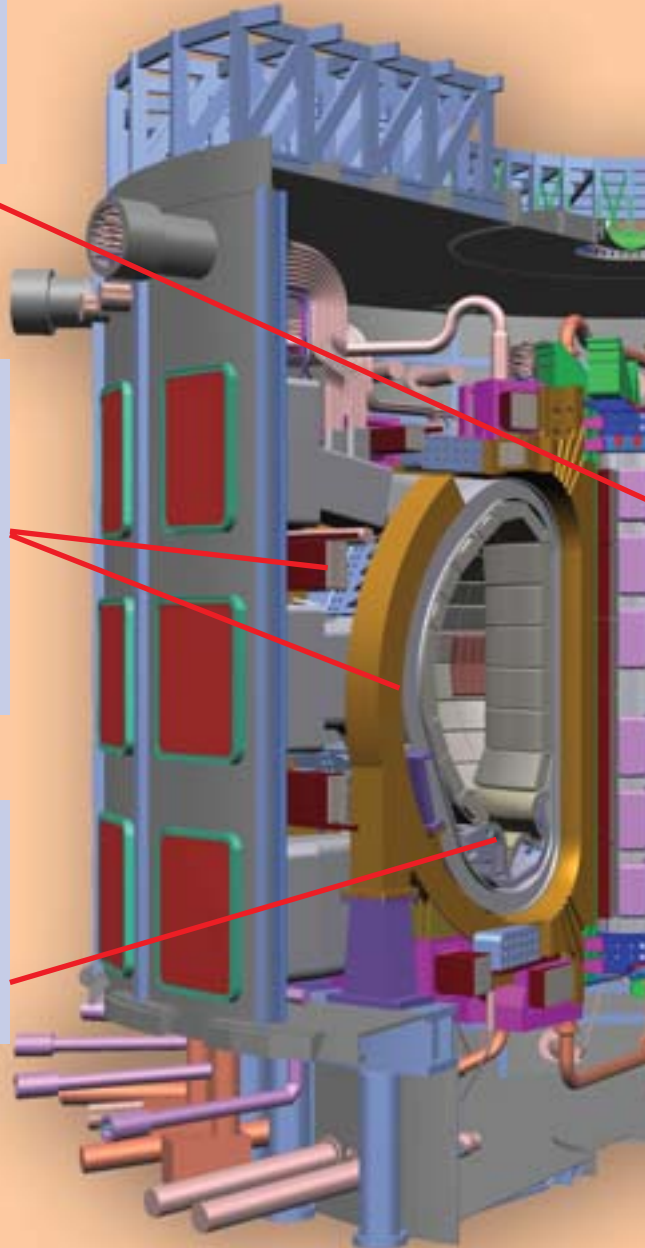
Trafo primaarmähis. Sekundaarmähise moodustab plasma.

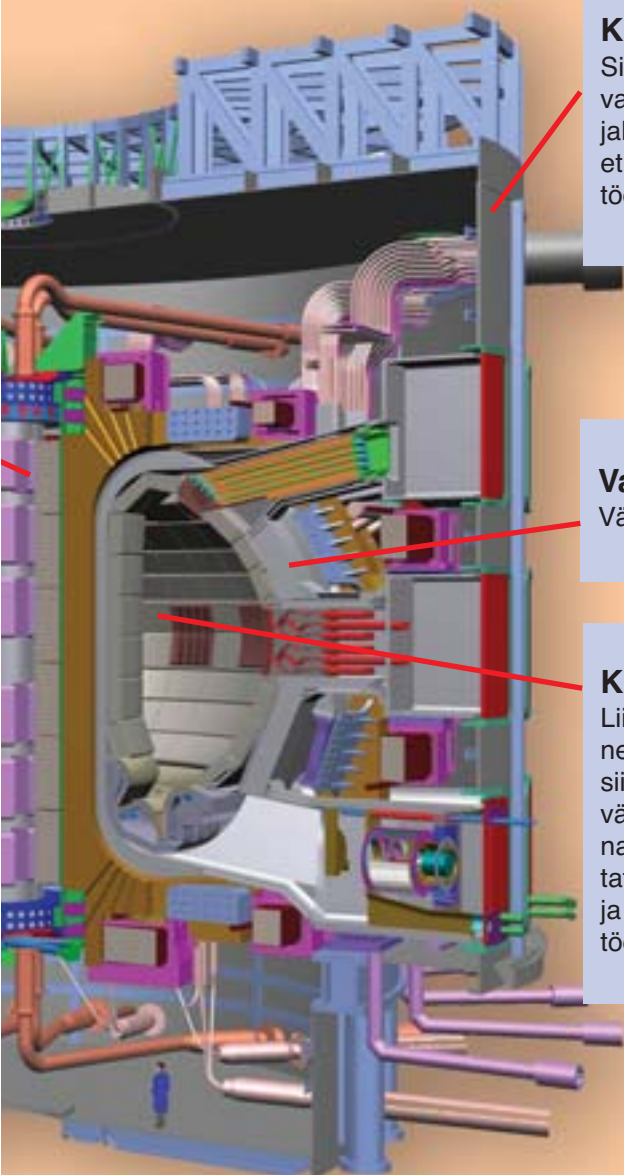
Toroidaalvälja mähised ja poloidaalvälja mähised

Need genereerivad tugeva magnetvälja (tavaliselt umbes 5 teslat, mis on ~100 000 korda Maa magnetväljast tugevam), mis sulustab plasma ja takistab sellel vaakumkambrist seinu puudutamast.

Divertor

Eemaldab lisandid ja heeliumi vaakumkambrist ning on ainukeseks pinnaks, kus plasma tahtlikult seinu lastakse puudutada.





Krüostaat

Sisaldab mähiseid ja vaakumkambrit ning on maha jahutatud umbes $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ juurde, et hoida ülijuhtivaid magneteid töötemperatuuril ($-269\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Vaakumkamber

Väldib õhu tungimise plasmaruumi.

Kate

Liitium asub kattemoodulites. Kui neutronid reageerivad liitiumiga, siis toodetakse triitiumi, mida saab välja eraldada ja plasmasse suunata. Neutronite energia kasutatakse veesärgi soojendamiseks ja auru tootmiseks, mis paneb tööle elektrigeneraatorid.



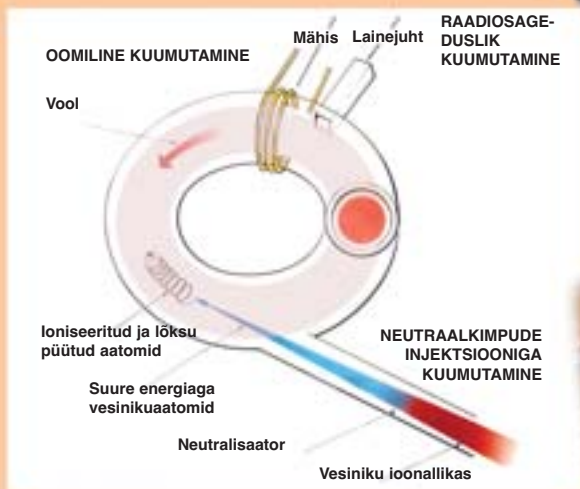
Plasma kuumutamine

Tokamaki plasmal läbiv vool annab oma panuse selle kuumutamisse. Plasma temperatuuri tõusul muutub oomiline kuumutamine vähem tõhusaks ja viib plasma ainult mõne miljoni kraadini, s.o. umbes 10 korda madalamaks, kui on vaja tuumasünteesireaktsioonide massiliseks tekitamiseks. Temperatuuri tõstmiseks toimub edasine kuumutamine väliste allikatega.

Kõrgsageduslikul kuumutamisel kasutakse suure võimsusega ja erineva sagedusega elektromagnetilisi laineid, mis annavad oma energia plasmale resonantsneeldumise teel.



Neist süsteemidest on väljaarendatud kolm: iooni-tsüklotronresonantne kuumutamine (5 MHz kuni 20 MHz), elektron-tsüklotronresonantne kuumutamine (100-200 GHz, peamiselt mikrolained) ja madalsageduslik-hübriidne kuumutamine (1-8 GHz).



Raadiosagedusantenn Tore Supras (CEA, Cadarache – F)

Suure energiaga neutraalsete osakeste kimbud suunatakse plasmasse, mille läbimisel annavad nad kokkupõrgetel plasmaosakestele oma kineetilise energia plasmale.



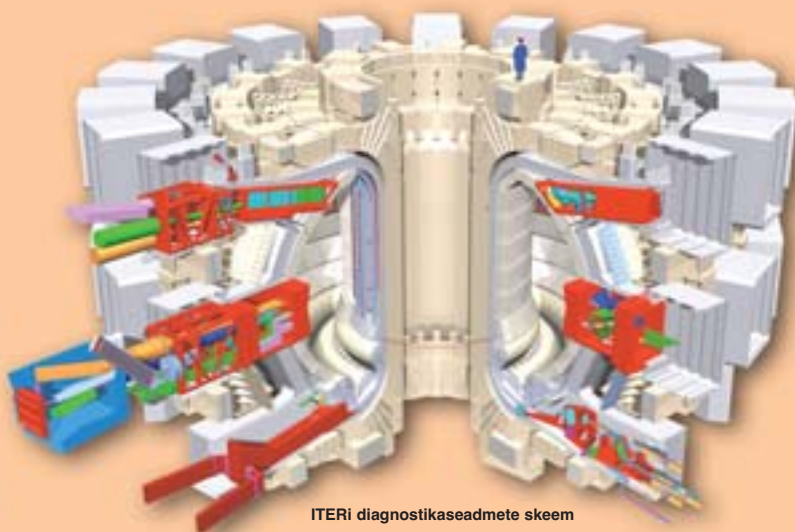


Plasmadiagnostika ja modelleerimine

Tuumasünteesireaktori konstrueerimiseks on vaja mõista plasmas toimuvaid protsesse. See aga nõuab keerukaid ja kompleksseid mõõtesüsteeme, mida nimetatakse diagnostikaseadmeteks.

Euroopa laborites on väljaarendamisel ülivõimsaid lasereid kasutavad diagnostikaseadmed seiramiseks plasma igat aspekti alates temperatuurist plasma keskmes, kuni lisandite hulga ja tekkepaigani plasmas.

Selliste diagnostikavahenditega saadud andmed kasutatakse ära uute arvutiprogrammide arendamisel, mis peaksid lõpuks olema võimelised ennustama seadme talitlust ja kindlustama, et seade töötaks nagu loodetud.



ITERi diagnostikaseadmete skeem



ITER - tee tuumasünteesienergiat

ITER on järgmine tähtsaim teetähis tuumasünteesireaktorite arengus.

ITER'i projekti aluseks on edukas rahvusvaheline koostöö mitmete T&A ja tehnoloogiaprojektide raames. ITER peab olema võimeline genereerima 400 MW tuumasünteesi võimsust 6 minuti vältel, kestvust planeeritakse pikendada hiljem pidevrežiimini.

ITERi kapitalimaksumus ulatub umbes 4,6 miljardi euroni (2000. a. vääringus). Pärast kokkuleppe saavutamist rahvusvaheliste partnerite vahel kulub ITER'i ehitusele 8-10 aastat ja seejärel peaks seade töötama umbes 20 aastat.

ITER baseerub maailmas paljudel masinatel saadud teaduslikele saavutustele.

ITERi divertori täismootmetes prototüüp

ITERi divertori kaugjuhtimise katseplatvorm

Kõrgsageduslik Gütron-mikrolaineallikas



Suure võimsusega laser-
keevitus (11 kW)
vaakumkambri sektori
jaoks



Toroidaalvälja mudelmärise
katsetamine



Kõrgsageduslik Gütron-
mikrolaineallikas (1MW)



Kaitseosumuste
kõrgtemperatuurikatsetus



Framatome'is katsetatud täismõõtnes
divertori märklauda näidis



Katte katserajatis

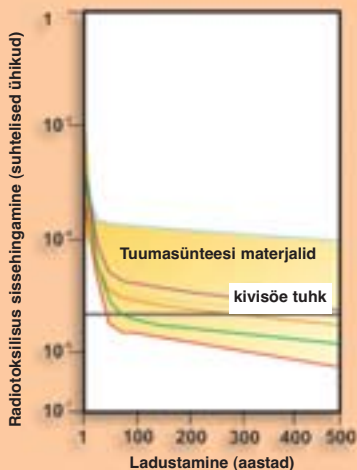


Pikaajaline tehnoloogia-tegevus

ITER'ga seotud tööde kõrval tehakse palju tuumasünteesi tehnoloogia-alaseid uurimis- ja arendustöid DEMO tarvis. Euroopa briiderkatte uurimused keskenduvad heeliumiga jahutatud liitium-plii ja keraamiliste briidervereiste kasutamisele. Need uurimistööd on tuumasünteesireaktori tritiumitsükli väljatöötamiseks kriitilise tähtsusega.

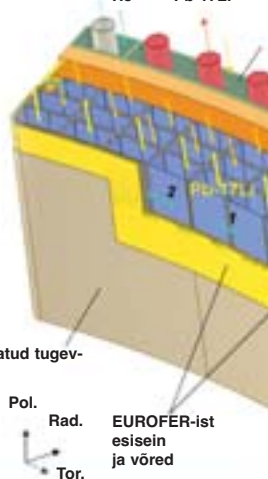
Euroopa konstruktsioonimaterjalide arendus keskendub vähendatud neutronaktiivsiooniga ferriit- ja martensit-terastele (EUROFER) ning kaugemas perspektiivis ränikarbiid-komposiitidele.

Samuti käsitletakse ohutuse ja keskkonnaküsimusi. Need peamiselt täiustatud kontseptsioonidele ja aktiveeritud materjalide vähendamisele keskendunud küsimused viivad olulisele järeldusele: on võimalik selline tuumasünteesireaktor, mille mistahes jaamasisene avari ei nõua ümberkaudse elanikkonna evakueerimist. Sotsiaal-majanduslikud uuringud analüüsivad tuumasünteesi majanduslikke aspekte ja pika-ajalisi stsenaariume.



Tuumasünteesi jõuama materjalide radiotoksilisuse muutus ajas arvatuna erinevate mudelitega ja võrrelduna kivisõe tuha radiotoksilisusega

He alasüsteemid
He Pb-17Li



Esiseinale kinnitatud tugevduskihid

Katsekatte kontseptsioon



Tritiumump



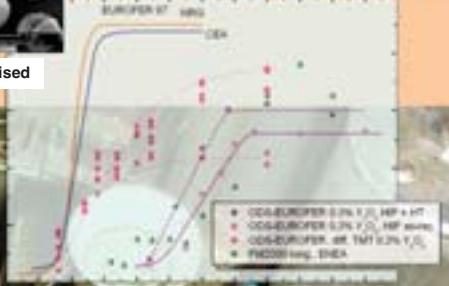
Berülliumveerised



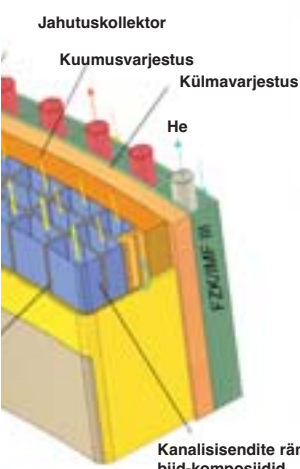
Vedelmetalli korrosioonikatse



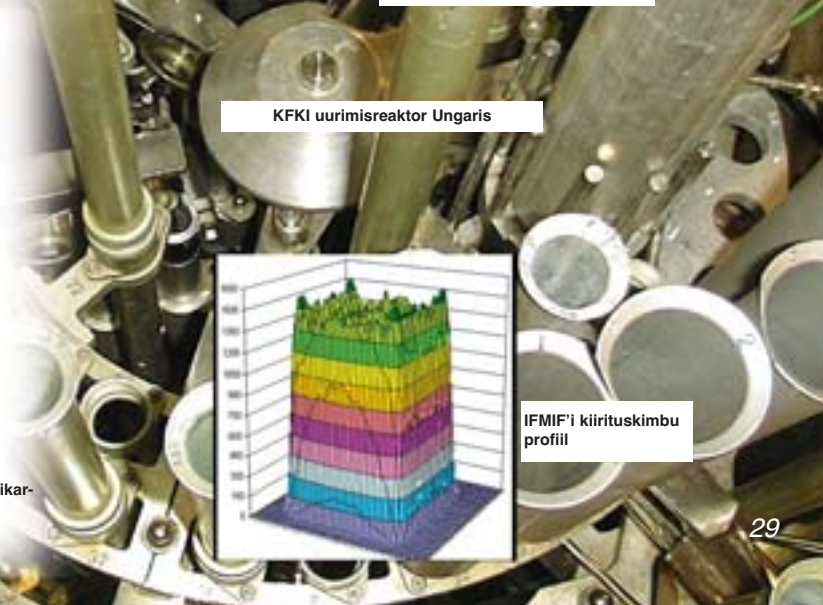
EUROFER'i materjalide näited



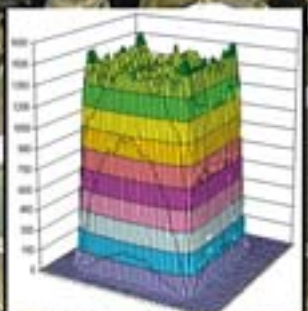
EUROFER'i materjali omadused



Kanalisisendite ränkarbiid-komposiidid



KFKI uurimisreaktor Ungaris



IFMIF'i kiirituskimbu profiil



Väljapoole suunatud tegevused Euroopas

Fusion Expo rändnäitus on loodud ja seda on paljudes Euroopa linnades esitatud informeerimaks avalikkust ja õpilasi Euroopa tuumasünteesenergia uurimistegevustest.





Fusion Road Show

Fusion Road Show (tuumasünteesinäitus ratastel) on välja töötatud Association Euratom-FOM (NL) poolt ja on heaks näiteks tuumasünteesiga seotud kogukonna edukast avalikkusele suunatud tegevusest. Näitus koosneb reast lihtsatest põhiprintsiipe seletavatest eksperimentidest, milles on ühendatud meelelahutuslik esitus koos selgitustega.



Eiropforum

EFDA kaudu osaleb Euroopa tuumasünteesiprogramm EIROforumis. See on koostöö Euroopa seitsme valitsusvahelise teadusliku uurimis-asutuse vahel, mis vastutavad infrastruktuuride ja laboratooriumide eest. EIROforumi peamine eesmärk on mängida aktiivset ja konstruktiivset rolli Euroopa teaduse heatasemelisuse ja mõju edendamisel. Üheks erieesmärgiks on organisatsioonide välistegevuste koordineerimine, hõlmates tehnoloogiasirdeid ja avalikkuse teavitamist.

EIROforumi seitse liiget on:

- **CERN** Euroopa Tuumauuringute Organisatsioon (CH),
- **EFDA** Euroopa Tuumasünteesi Arendamise Leping (GB, D),
- **EMBL** Euroopa Molekulaarbioloogia Labor (D),
- **ESA** Euroopa Kosmoseagentuur (EU),
- **ESO** Euroopa Lõunaobservatoorium (D, CL),
- **ESRF** Euroopa Sünkrotronkiirguse Keskus (F),
- **ILL** Laue-Langevin'i Instituut (F).



Physics on stage 3 – Teachers in action
(Füüsika laval 3 – õpetajad aktsioonis)





Euroopa haridus- ja koolitustegevus

Noorte teadlaste haridus ja koolitus on oluline osa assotsiatsiooni tööplaanist. Paljud assotsiatsiooni töötajad peavad õpetajaametit akadeemilistes asutustes, peamiselt ülikoolides ning umbes 200-250 tudengit ning doktoranti viivad oma uurimistöid läbi assotsiatsiooni laboratooriumites. Mitmed assotsiatsioonid korraldavad tuumasünteesi ja plasmafüüsika kursuseid ning suvekoole tudengitele ja noorteadlastele.

Mõned assotsiatsiooni poolt korraldatavad suvekoolid:

- Carolus Magnuse suvekool – assotsiatsiooni TEC rühm (B,D,NL),
- Culhami suvekool – Euratom-UKAEA (UK),
- Volos'i suvekool – Euratom-Kreeka (GR),
- IPP CR suvekool – Euratom-Plasmafüüsika Instituut, (CZ)



Tuumasünteesi T&A tehnoloogiasiidred muudesse kõrg-tehnoloogia valdkondadesse

Tööstus on aidanud kaasa tuumasünteesi T&A vajalike seadmete konstrueerimisel ja tehnoloogiate arendamisel. Sellisest suhtest on tööstus kasu saanud, suurendades kogemusi ja arendades tööstustooteid tuumasünteesi alalt väljapoole jäävates valdkondades. Need tehnoloogiasiidred hõlmavad plasmatöötlemise tehnikaid, pinnatöötlust, paranenud valgustusseadmeid, plasmaekraane, vaakumtehnoloogiat, võimsuselektronikat ja metallurgiat.



Kosmosetehnikas kasutatav ioonmootor

Tuumasünteesialaste teadmiste siire toimub samuti teadlaste vahendusel, kes liiguvad tuumasünteesiuuringutelt muudesse tehnoloogia valdkondadesse, tuues kaasa tuumasünteesi alal omandatud oskused. Selline n.ö „risttolmlemine” ja interdistsiplinaarsus on üks olulistest jõududest, mis hoogustavad Euroopa teaduslikku ja tehnoloogilist progressi.





Viited

Taustainfo:

Towards a European Strategy for the Security of Energy Supply, Green Paper, European Commission, COM (2000)769

http://europa.eu.int/comm/energy_transport/en/lpi_lv_en1.html

Asjakohaseid veebilehti:

http://europa.eu.int/comm/research/energy/fu/fu_en.html

<http://www.efda.org>

<http://www.jet.efda.org>

<http://www.iter.org>

<http://www.fusion-eur.org>

<http://www.euroforum.org>

Lisainfo:

R.Antidormi

European Commission

Directorate General RTD J6 Fusion Association Agreements

Rue de la loi, 200

B-1049 Brussels

tel: +32 229 98899 - fax: +32 229 64252

e-mail: rosa.antidormi@cec.eu.int

http://europa.eu.int/comm/research/energy/fu/fu_en.html

MÜÜK JA TELLIMINE

Väljaannete talituse tasulised väljaanded on saadaval meie müügiesindustes üle maailma.

Kuidas väljaannet hankida?

Võtke ühendust müügiesinduste nimekirjast valitud esindusega ja esitage oma tellimus.

Kust saada müügiesinduste nimekirja?

- Väljaannete talituse veebileheküljelt <http://publications.eu.int/>
- või küsige paberväljaannet faksi teel: (352) 2929-42758

Euroopa Komisjon

Tuumasünteesiuuringud: võimalik tulevikuenergia Euroopa jaoks

Luksemburg: Euroopa Ühenduste Ametilike Väljaannete Talitus

2005 — 40 pp. — format A5, 14.8 X 21.0 cm

ISBN 92-894-7723-7

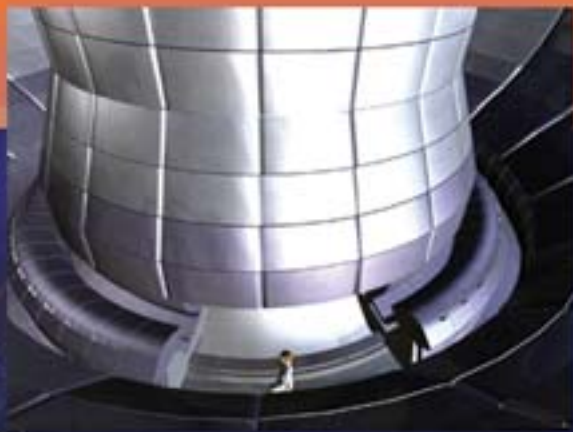
“Täheoojast”



Kaheksaminutiline film “Täheoojad” (“Starmakers”, ingl. k.) kirjeldab rahvusvahelise koostööna ehitatavat suurt eksperimentalrajatist ITER kui järgmist astet teel tuumasünteesi energia poole. Külaskäigul virtuaalses reaalsuses antakse vaatajaskonnale visuaalne ülevaade sellest hiiglaslikust projektist. Film viib vaatajaskonna imetlusväärsele kolmemõõtmelisele rännule virtuaalmaailma, kasutades vaatamiseks passiivseid polariseeritud klaasidega prille. Sellel näitusel demonstreeritav versioon on kahemõõtmeline ja ei vaja eriprille.

Film on toodetud Euroopa Komisjoni Teadusuuringute Peadirektoraadi rahalisel toel Centre de Recherches en Physique des Plasmas, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (CH) poolt. Film on loodud DS SA (Paris – F) stuudio digitaaltehnoloogiaga ja sisaldab ITER’i seadme CAD-disaini.





8th ENERGY FILM
FESTIVAL
LAUSANNE 2001

Grand Prix
du Festival



Langue
française
ou
allemande

Année 4

Scénario

Réalisation

Co-production

The Steamers

Laurent Luchinière, Paris, France

Marie-Jeanne Pige, Lausanne, Suisse
et Antoine Kadi, Paris, France

Association Suisse Cinématographique
ASFC - ASFC, Lausanne, Suisse

COMMISSION SUISSE
DU CINÉMA

COMMISSION SUISSE
DU CINÉMA

Ministrite Nõukogu on oma Euratomi eriprogrammi (Euratom Specific Programme) otsuses öelnud:

“Tuumasünteesi energia võib hakata mängima sajandi teisel poolel olulist rolli suure-mahulises emissiooni-vabas elektritootmises. Tuumasünteesiuuringutes astunud edusammud, õigustavad edasi si jõupingutusi pikaajalise eesmärgi - tuumasünteesil põhineva jõujaama - suunas”.

Käesolev buklett kirjeldab Euroopa tuumasünteesiuuringuid ning selle koordineerimist ja juhtimist. Järgmise põlvkonna tuumasünteesi eksperiment ITER peaks sillutama 21. sajandi teisel poolel tee tuumasünteesini, et anda oluline panus maailma energiatoodangusse.

Bukleti materjal põhineb Euroopa tuumasünteesiprogrammi teadustegevusel.



Väljaannete talitus

