O NEKIM AKTUALNOSTIMA U TEMELJNIM FIZIKALNIM I INŽENJERSKIM ISTRAŽIVANJIMA

Akademik Božidar Liščić

Iz djelatnosti Stalnog odbora za fizikalne i inženjerske znanosti (PESC)
Europske znanstvene zaklade (ESF)

Sažetak

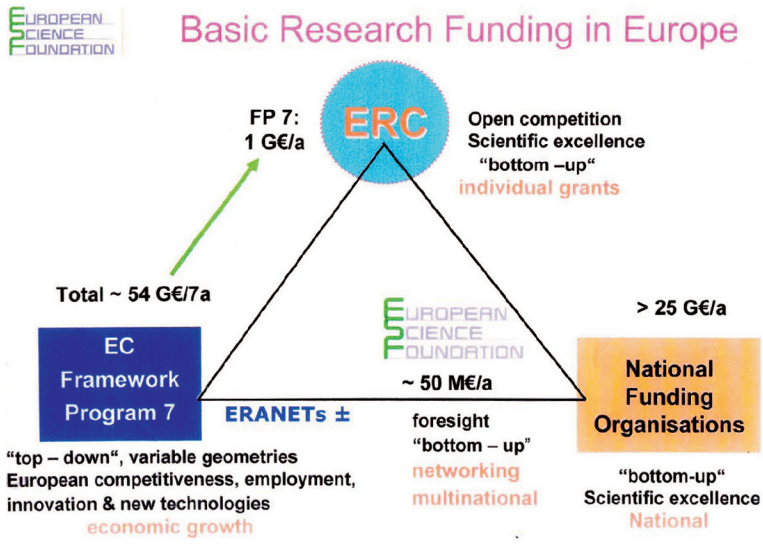
Sadržaj ovog priloga kratak je opis djelovanja Stalnog odbora za fizikalne i inženjerske znanosti (*Standing Committee for Physical and Engineering Sciences* – PESC) Europske znanstvene zaklade (*European Science Foundation* – ESF) u temeljnim istraživanjima iz područja fizike, kemije, matematike, informatičko-komunikacijskih znanosti, znanosti o materijalima i temeljnih inženjerskih znanosti. Navedeni su mehanizmi djelovanja ESF-a te primjeri nekoliko aktualnih europskih suradničkih projekata (EUROCORES) koji predstavljaju trendove u temeljnim europskim istraživanjima. Prikazom nekoliko ključnih projekata ukazano je na važnost istraživanja materijala i pripadnih tehnologija. Najavljeno je osnivanje novih ekspertnih grupa u okviru PESC-a za područja računalnih znanosti te istraživanja materijala. Dan je kratak osvrt na funkciju i aktivnost Europskog strateškog foruma za istraživačke infrastrukture (*European Strategy Forum on Research Infrastructures* – ESFRI) uz opis nekoliko primjera novih kapitalnih istraživačkih uređaja u Europi.

Ključne riječi: ESF, PESC, EUROCORES, ESFRI

1. UVOD

U današnjem vremenu naglog razvoja znanosti i tehnologije izdvajaju se u svijetu vrlo velika sredstva za istraživanje, koje postaje sve složenije, interdisciplinarno i multidisciplinarno, te zahtijeva sve sofisticiraniju i sve skuplju istraživačku infrastrukturu. Posljedica je toga objedinjavanje sredstava koja pojedina zemlja odvaja za istraživanje, na regionalnoj ili kontinentalnoj razini. Taj je proces poglavito važan za male zemlje, s ograničenim financijskim i kadrovskim potencijalima.

Slika 1 prikazuje, u grubim crtama, kako se financira istraživanje u Europi. Sedmi okvirni program Europske komisije (FP7) od 2006. do 2013. god. raspolaže s ukupno 54 milijarde EUR, tj. s oko 7,7 milijardi EUR godišnje. Od toga milijarda EUR/god. odlazi Europskom istraživačkom savjetu (*European Research Council* – ERC), koji dobivena sredstva koristi ponajprije za dodjelu stipendija (grantova) mlađim i već etabliranim znanstvenicima.



Slika 1. Financiranje temeljnih istraživanja u Europi

S druge strane, daleko najveća sredstva za istraživanje nalaze se u nacionalnim agencijama za financiranje u pojedinim europskim državama.

Ukupna suma tih sredstava iznosi preko 25 milijardi EUR godišnje, što je 3,25 puta više od sredstava kojima raspolaže FP7.

Budući da u svakoj zemlji znanstvenici istraživači prate razvoj znanosti i znaju glavne trendove istraživanja te ih žele u svojoj zemlji prihvatiti, razumno je pretpostaviti da se na mnogo mjesta istovremeno radi na istim temama, tj. da postoji mnogo nepotrebnog ponavljanja i neracionalnog trošenja sredstava. Kod malih zemalja postoji i pitanje ima li zemlja u kadrovskom smislu dovoljnu kritičnu masu znanstvenika u specifičnom području da se sama upusti u velike i složene istraživačke projekte.

Razuman odgovor na takvo stanje i racionalno rješenje jest objedinjavanje kadrovskih potencijala i financijskih sredstava na razini, u ovom slučaju Europe, umrežavanjem u zajedničke istraživačke programe i projekte, što je upravo glavna zadaća i djelatnost Europske znanstvene zaklade (ESF).

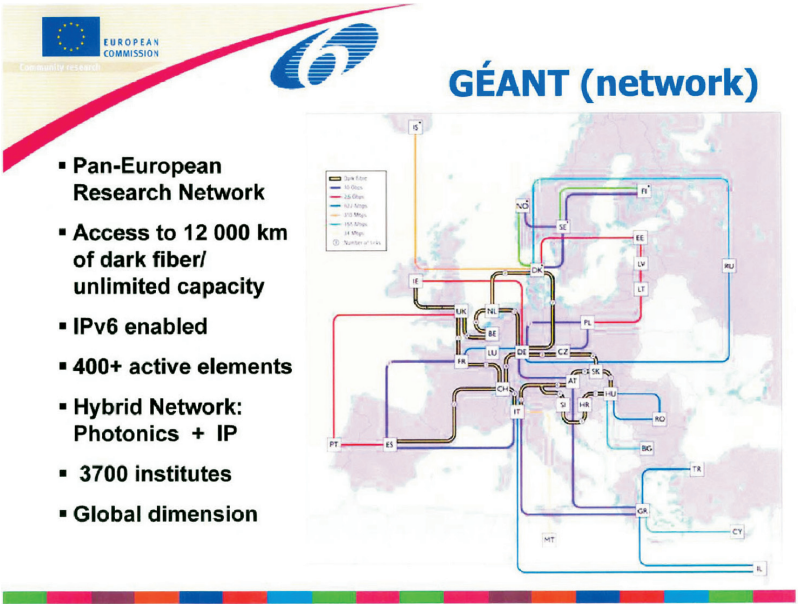
Slika 2 prikazuje oglas natječaja ERC-a raspisanog za prvu polovicu 2009. godine (za sva područja znanosti) za stipendije etabliranim znanstvenicima u trajanju od pet godina ukupne vrijednosti od po 3,5 milijuna EUR. Iz tog je oglasa vidljivo da će se na temelju tog natječaja dodijeliti oko 300 stipendija, a kao kriterij za izbor služi isključivo znanstvena izvrsnost.

Natjecati se mogu kandidati iz svih europskih država, pa i s drugih kontinenata, pod uvjetom da rade u nekoj od europskih znanstvenoistraživačkih institucija.



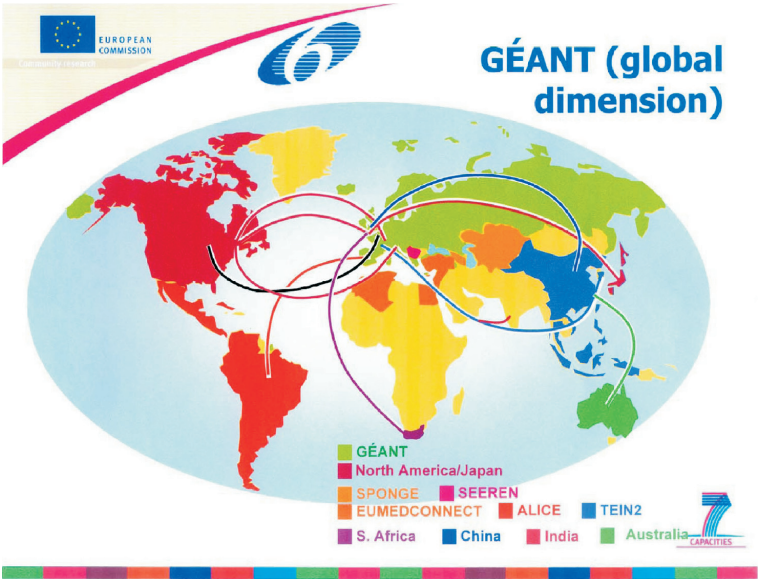
Slika 2.
Natječaj Europskog istraživačkog savjeta za stipendije naprednim znanstvenicima za 2009. god.

Suradnja znanstvenika u različitim državama jednog kontinenta, ali i između kontinenata, omogućena je danas suvremenom komunikacijskom mrežom. Slika 3 prikazuje shemu paneuropske istraživačke mreže GEANT, koja povezuje 3.700 istraživačkih institucija, u koju je uključena i Hrvatska.



Slika 3. Paneuropska istraživačka komunikacijska mreža GEANT

Kao što je vidljivo na slici 4, ta mreža ima i globalne dimenzije – povezuje naime znanstvenoistraživačka središta na svim kontinentima.



Slika 4. Globalne znanstvenoistraživačke komunikacije

2. EUROPSKA ZNANSTVENA ZAKLADA (*EUROPEAN SCIENCE FOUNDATION* – ESF)

Članicama ESF-a jest 77 nacionalnih organizacija iz 30 europskih zemalja; to su:

- nacionalne institucije koje financiraju temeljna istraživanja *(Funding Agencies);*
- institucije koje se bave temeljnim istraživanjima *(Research Organizations)*;
- akademije.

ESF djeluje preko svojih pet stalnih odbora *(Standing Committees)*:

1. Stalni odbor za humanističke znanosti (*Standing Committee for the Humanities* – SCH);
2. Stalni odbor za znanost o životu i okolišu (*Standing Committee for the Life, Earth and Environmental Sciences* – LESC);
3. Europsko medicinsko istraživačko vijeće (*Standing Committee for the European Medical Research Councils* – EMRC);

4. Stalni odbor za fizikalne i inženjerske znanosti (*Standing Committee for the Physical and Engineering Sciences* – PESC);

5. Stalni odbor za društvene znanosti (*Standing Committee for the Social Sciences* – SCSS).

Godišnji proračun ESF-a iznosi ~50 milijuna EUR Broj stalno zaposlenih: 130
Sjedište: Strassbourg Područni ured: Bruxelles
Od 2004. god. ESF administrativno upravlja organizacijom COST (*Cooperation in Science and Technology,* Suradnja na području znanosti i tehnologije) i za to dobiva od Europske komisije 20,9 milijuna EUR/god.

Članice ESF-a iz Hrvatske su:

- Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti i
- Nacionalna zaklada za znanost, visoko školstvo i tehnologijski razvoj Republike Hrvatske.

3. STALNI ODBOR ZA FIZIKALNE I INŽENJERSKE ZNANOSTI *(STANDING COMMITTEE FOR PHYSICAL AND ENGINEERING SCIENCES* – PESC)

Članovi: 39 znanstvenika iz 30 europskih zemalja.
Voditelj *(Chairman):* prof. Mats Gyllenberg – Sveučilište u Helsinkiju *(University of Helsinki)* (od 1. siječnja 2009.)
Jezgrena skupina *(Core Group):* 7 članova
Znanstvena područja u domeni PESC-a:

- fizika;
- matematika;
- kemija;
- informatika i računarske znanosti;
- znanost o materijalima;
- temeljne inženjerske znanosti.

Odbori eksperata *(ESF Expert Committees)* za specifična područja koji podupiru djelatnost PESC-a jesu:

- Odbor za radio-astronomske frekvencije (*Committee on Radio-Astronomy Frequencies* – CRAF);
- Europski kolaborativni odbor za nuklearnu fiziku (*Nuclear Physics European Collaboration Committee* – NuPECC);
- Europski odbor za znanost o svemiru (*European Space Science Committee* – ESSC).

Sjednicama PESC-a prisustvuju predstavnici:

- Europske komisije (*European Commission* – EC);
- Europskog matematičkog društva (*The European Mathematical Society* – EMS);
- Europskog konzorcija za istraživanja u informatici i matematici (*The European Research Consortium for Informatics and Mathematics* – ERCIM);
- Izraelske akademije znanosti *(The Israel Academy of Sciences);*
- Američke nacionalne znanstvene zaklade (*The U. S. National Science Foundation* – NSF).

4. MEHANIZMI DJELOVANJA ESF-a

Istraživačke radionice *(Exploratory Workshops)*

To su jednodnevne ili dvodnevne sjednice manjih grupa (20 – 30 sudionika) znanstvenika iz područja koje odgovara temi radionice. Predlagač teme poziva sudionike i organizira sastanak, za što dobiva od ESF-a oko 15.000 EUR.

Cilj tih sjednica jest otvaranje novih smjerova u istraživanjima ili ispitivanje novih područja istraživanja koja imaju potencijal da utječu na novi razvoj u znanosti. Od predloženih tema za takve sastanke očekuje se da imaju potencijal iniciranja budućih suradničkih projekata.

ESF financira godišnje, u svim domenama, oko 50 istraživačkih radionica.

U domeni PESC-a tijekom 2008. financirano je i obavljeno 12 sljedećih sastanaka:

1. **The Relevance of Mathematics Education**, 7. – 10. siječnja 2008., Cambridge, Ujedinjena Kraljevina;
2. **Singularities in Mechanics: Description and Formation**, 21. – 25. siječnja 2008., Pariz, Francuska;
3. **Astrophysical Tests of Fundamental Physics**, 26. – 30. ožujka 2008., Porto, Portugal;
4. **Hyperbranched Polymers as Novel Materials for Nanoscale Applications: Insight from Experiment, Theory and Simulation**, 26. – 28. svibnja 2008., Heraklion, Grčka;
5. **Physics of Micro and Nano Flows**, 9. – 12. lipnja 2008., Leiden, Nizozemska;
6. **Science and Technology of Agreement**, 19. – 21. lipnja 2008., Barcelona, Španjolska;
7. **Interplay Between Superconductivity and Magnetism at Nanometer Scale**, 19. – 22. lipnja 2008., Paestum, Solerno, Italija;
8. **Correlations in Computer Science**, 6. – 12. kolovoza 2008., Brussels, Belgija;
9. **Extreme Laboratory Astrophysics: Advances and Opportunities in High-Energy Density Experiments**, 21. – 24. rujna 2008., Pariz, Francuska;

10. **Advanced Instrumentation for Cancer Diagnosis and Treatment**, 23. – 27. rujna 2008., Oxford, Ujedinjena Kraljevina;
11. **Computational Disease Modelling**, 24. – 26. rujna 2008., Barcelona, Španjolska
12. **Euroice 2008**, 1. – 3. listopada 2008., Granada, Španjolska.

Na temelju natječaja iz 2008. god. za *istraživačke radionice* koje će se održati 2009. god., od ukupno 338 prijedloga u svim domenama bilo ih je 55 koji spadaju u domenu PESC-a. Nakon što je jezgrena skupina *(Core Group)* detaljno pregledala sve recenzije, predložila je za daljnju proceduru sljedećih 12 tema:

1. **Biosignatures on Exoplanets: The Identity of Life** (zajedno s LESC-om);
2. **Observation, Characterisation and Evolution of Habitable Exoplanets and Their Host Star** (zajedno s LESC-om);
3. **Curves, Coding Theory and Cryptography;**
4. **Modularity for Versatile Motor Learning: From Neuroscience to Robotics and Back** (zajedno s LESC-om i SCH-om);
5. **Applications of the Ads/cft Duality to Qcd;**
6. **How to Constrain the High Density Symmetry Energy;**
7. **Bionanotechnology: Development and Application of Principles of Nano- and Bio-Sciences to Sensing, Diagnostics & Therapy** (zajedno s EMRC-om i LESC--om);
8. **Exploring the Interactions Between Carbon and Organic Chemical Cycling in Terrestrial Ecosystems** (zajedno s LESC-om);
9. **Frontiers in European Research on Liquid Crystalline Soft Matter** (zajedno s LESC-om)
10. **Iron-Based Layered Superconductors – Iblas;**
11. **Two New Avenues in High Temperature Super-Conducting Materials;**
12. **Science of Information** (zajedno s LESC-om i SCSS-om).

U ovom natječaju prvi su se put pojavila dva prijedloga da se istraživačka radionica održi u Hrvatskoj. To su:

- **Quantitative Analysis of Properties and Structures: Mathematical Chemistry and Computational Biology** (prijedlog D. Vukičevića, Split)
- **How to Constrain the High Density Symmetry Energy** (prijedlog Z. Basrak, Zagreb).

Posljednji od njih ušao je u uži izbor, a radionica je održana u razdoblju 15. – 18. listopada 2009. u Zagrebu.

Programi istraživačkog umrežavanja (*Research Networking Programmes* – RNP)

To su dugoročni (4 – 5 god.) umreženi istraživački programi koji čine platformu za istraživačke grupe što ih financiraju zainteresirane nacionalne agencije. Cilj tih programa jest baviti se bitnim znanstvenim problemima za unapređenje znanosti.

Uspješan prijedlog takvog programa, izabran na temelju javnog natječaja i međunarodnog panela recenzenata, mora sadržavati visokokvalitetne znanstvene prijedloge i pokazati dodanu vrijednost u realizaciji, na europskoj razini. Te programe ESF predlaže svojim članicama za financiranje "à la carte". Trenutno je u domeni PESC-a u tijeku 29 aktivnih RNP programa u iznosu od ukupno 2,7 milijuna EUR.

Kao rezultat natječaja iz 2007. god., od ukupno primljena 122 prijedloga (važno je napomenuti da svi oni dolaze od samih znanstvenika, tj. *bottom-up*), 53 su bila u domeni PESC-a. Nakon procedure i izbora, za financiranje je predloženo sljedećih sedam tema:

1. **Exploring the Physics of Small Devices (EPSD) –** statistička fizika;
2. **Interactions of Low-Dimensional Topology and Geometry with Mathematical Physics (ITGP) –** matematika;
3. **Large Hadron Collider and Cosmology (LHCC) –** fizika elementarnih čestica;
4. **Quantum Spin Coherence and Electronics (QSpiCE) –** kvantna fizika;
5. **Research Links to Explore Heat Transfer for Saving Energy (RELTRANS) –** inženjerstvo;
6. **Super-intense Laser-matter Interactions (SILMI) –** kvantna optika;
7. **New Frontiers of Infinity: Mathematical, Philosophical and Computational Prospects** (INFTY), koji vodi Stalni odbor za humanističke znanosti (SCH) i Stalni odbor za fizikalne i inženjerske znanosti (PESC).

Od članica ESF-a zatraženo je da se do 30. listopada 2008. izjasne jesu li zainteresirane i voljne sufinancirati koji od predloženih programa istraživačkog umrežavanja (RNP). Očekuje se da će oni RNP-ovi koji poluče dovoljnu razinu sufinanciranja započeti u prvoj polovici 2009. god.

Uključenost **hrvatskih znanstvenika** u RNP programe iz domene PESC-a; stanje 2008. god.

Europski kolaborativni istraživački projekti (*European Collaborative Research Projects* **– EUROCORES)**

Svrha EUROCORES sheme jest omogućiti istraživačima u europskim zemljama razviti suradnju i znanstvenu sinergiju te podržati vrhunsko istraživanje u svim znanstvenim područjima kako bi se zadovoljile potrebe što su ih izrazile nacionalne znanstvene zajednice u skladu sa svojim strateškim prioritetima. Shema omogućuje fleksibilni

okvir za istraživače iz Europe, a kad je to oportuno, i iz SAD-a i Kanade, što omogućuje nacionalnim agencijama sufinanciranje, a nacionalnim istraživačkim organizacijama da umrežavanjem postignu kritičnu masu znanstvenika potrebnu za velike istraživačke programe.

	Program	**Član Upravljačkog odbora *(Steering Committee)***	Trajanje	Sufinanciranje godišnje EUR	Status programa
1.	Highly Frustrated Magnetism (HFM)	dr. Ana Smontara	2005. – 2010.	2000,-	u tijeku
2.	Quantum Geometry and Quantum Gravity (QG)	dr. Larisa Jonke	2006. – 2011.	2000,-	u tijeku
3.	Molecular Simulations in Biosystems and Material Science (SimBioMa)	dr. Vlasta Mohaček-Grošev	2006. – 2010.	2000,-	u tijeku
4.	New Generation of Organic Based Photovoltaic Devices (ORGANISOLAR)	dr. Mile Ivanda	2006. – 2010.	2000,-	u tijeku

U domeni PESC-a u tijeku je šest sljedećih EUROCORES programa ukupne vrijednosti 34 milijuna EUR:

1. **Cold Quantum Matter (EuroQUAM) –** 10 zemalja sufinancira EuroQUAM;
2. **Friction and Adhesion in Nanomechanical Systems (FANAS)** – 17 agencija iz 16 zemalja sufinancira FANAS;
3. **Fundamentals of Nanoelectronics (FoNE) –** 18 agencija iz 16 zemalja sufinancira FoNE;
4. **Quantum Standards and Metrology (EuroQUASAR)** – 12 zemalja sufinancira EuroQUASAR;
5. **Self-Organised Nano-Structures (SONS II) –** 16 agencija iz 15 zemalja sufinancira SONS II;
6. **Smart Structural Systems Technologies (S3T)** – 17 agencija iz 15 zemalja sufinancira S3T.

Ovogodišnji ESF-ov natječaj za nove teme EUROCORES programa rezultirao je s 38 prijedloga, od kojih je 12 iz domene PESC-a. Nakon selekcije unutar jezgrene skupine *(Core Group)* i naknadno ESF-ova Odbora za znanstveno savjetovanje *(ESF Science Advisory Board),* predložena su za sufinanciranje sljedeća tri programa:

1. Maximizing the Impact of Graphene Research in Science and Innovation (EuroGRAPHENE);
2. Origin of the Elements and Nuclear History of the Universe (EuroGENESIS);
3. Synthetic Biology: Engineering Complex Biological Systems (EUROSYNBIO).

ESF – Propulzivni istraživački projekti *(Forward Looks)*

To je ESF-ov instrument koji omogućuje europskoj znanstvenoj zajednici i nacionalnim institucijama, gdje se vodi znanstvena politika, razviti srednjoročni i dugoročni pogled i analize budućih istraživanja kako bi definirale agendu i prioritete na nacionalnoj i na europskoj razini, u globalnom kontekstu. Logički temelj *(The Rationale)* ESF--ova propulzivnog istraživačkog projekta *(Forward Look)* jest sljedeći:

"The nature of research is that it is unpredictable but, within reason, Forward Look for the next 5 to 10 years should provide a useful guide for everyone concerned in monitoring the health of European Science".

U domeni PESC-a aktivan je sljedeći propulzivni istraživački projekt *(Forward Look)*: **"European Computational Science – The Lincei Initiative: from computers to scientific excellence (2006-2008)".**

Taj propulzivni istraživački projekt pokrenula je znanstvena zajednica za simulaciju materijala na atomskoj skali (CECAM) sa svrhom da se razvije vizija kako će računalne znanosti evoluirati u sljedećih 10 do 20 godina. Motivacija je nepostojanje europske infrastrukture za znanstvenoistraživački softver, što rezultira rasipanjem resursa; sprječava razvoj računalnih znanosti i smanjuje europsku kompetitivnost u odnosu na SAD, Japan i Kinu. Pojedini dijelovi procedure programiranja (na nano-, mikro-, mezo- i makroskali) ponavljaju se u raznim područjima istraživanja.

Predviđeno je rješenje formiranje Europske znanstvene računalne istraživačke infrastrukture (*European Scientific Computing Research Infrastructure* – ESCRINS) temeljene na Europskoj računalnoj suradnji (*European Computational Collaborations* – ECC's) u različitim područjima znanosti. Rješenja koja se predlažu (slične inicijative postoje u SAD-u i u Japanu) postaju još važnija kada se uzme u obzir da će u sljedećih 10 – 20 godina znanstvene zadaće biti još složenije i više multidisciplinarne.

Implementacija preporuka tog propulzivnog istraživačkog projekta treba voditi k naprednoj kibernetičkoj infrastrukturi koja bi omogućila Europi da zadrži vodeću poziciju u tom području.

5. PRIMJERI EUROCORES PROJEKATA KOJI PREDSTAVLJAJU TRENDOVE

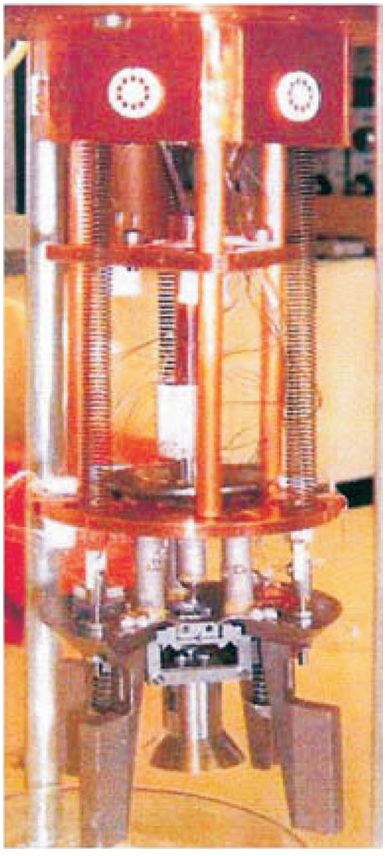
Self-Organised Nano-Structures **(SONS)**

Self-assembly or self-organisation (samoskupljanje ili samoorganiziranje) proces je u kojem je uspostavljena supramolekularna hijerarhijska organizacija u kompleksnom sustavu međusobno spojenih komponenata. Mehanizam koji ostvaruje organizaciju određen je natjecanjem interakcija među komponentama. Hijerarhija interakcija odre-

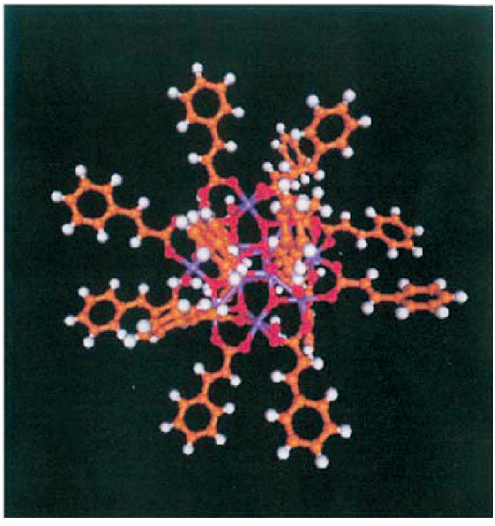
đuje hijerarhiju razina u finalnom nanostrukturiranom materijalu. Istraživači sada mogu stvarati materijale koji se sami organiziraju u kompleksne finalne strukture.

SONS je **brzorastuće područje** istaknuto u mnogim zemljama kao **ekstremno važno u znanosti i tehnologiji u sljedećem desetljeću.**

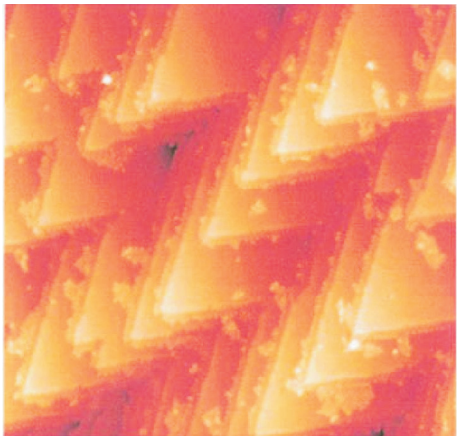
Ono nudi veliku paletu potencijalnih tehnoloških prodora u mnogim područjima. To je primjer gdje su inženjerski razvoj i rješavanje znanstvenih problema bitni za postizanje cilja, stoga se u istraživačkim projektima programa SONS koriste vrhunske ekspertize iz različitih područja (fizika, kemija, znanost o materijalima, biologija).



Slika 5a.
Glavni radni alat unutar nanorežima: vlastita konstrukcija pretražnog tunelirajućeg mikroskopa (*Scanning Tunelling Microscope* – STM) u grupi prof. J. V. Bartha (*Ecole Polytechnique Federal,* Lausanne, Švicarska)



Slika 5b.
Izgled molekule za molekularnu magnetsku tiskarsku ploču: rendgenska *(X-ray)* slika strukture magnetski aktivne molekule Mnl2. Grupa prof. Veciana (*Institut de Ciencia de Materials de Barcelona* – Španjolska)



Slika 5c.
STM slika visoke rezolucije jednog molekularnog slaganja na površini Cu(100). Grupa prof. Kerna (*Max-Planck Institut*, MPI-FKF, Stuttgart, Njemačka).

Prvi natječaj za prijedloge unutar programa SONS raspisan je 2002. god. Okupio je 23 agencije za financiranje iz 20 zemalja i rezultirao financiranjem 16 kolaborativnih istraživačkih projekata (*Collaborative Research Projects* – CRP) uključivši 82 istraživačke grupe, ukupnim iznosom od 12 milijuna EUR tijekom 3 – 4 godine. Prva konferencija SONS programa održana je u svibnju 2004. god. u Strassbourgu.

Nazivi projekata *(po abecedi)*

Assembly and Manipulation of Functional Supramolecular Nano-Architectures at surfaces	FUNSMARTs
BIo-Organics Nanostructuring for molecular electroniCS	BIONICS
Higher Levels of Self-Assembly of Ionic Amphiphilic Copolymers: Strategies Based on Multiple Molecular Interactions	SONS-AMPHI
Nanochemical Patterning Combining Selective Molecular Assembly Systems and Colloidal Lithography	NANO-SMAP
Nanoscale Electrical Transport in Self-Organized Molecular Assemblies	NETSOMA
Nanoscale electronic devices via templating supramolecular polyelectrolytes	NEDSPE
Novel Optical Methods for Self-Assembled Nanostructures	NOMSAN
One-dimensional molecular self-assembly on vicinal surfaces	MOL-VIC
Self-Assembled Low-Dimensional Semiconductor Nanostructures	SALDSON
Self-Organised Amphiphilic Block Copolymer Nanostructures	AMPHI
Single-Atom And Single-Molecule Electronic Components	SASMEC
Structure Elucidation of Shear Oriented Ionic Self-Assembled Materials	SISAM
(Supra)-Self-Assemblies of Transition Metal Nanoclusters	SSA-TMN
Surfactant-PolyElectrolyte Nanostructure Self-Assembly	SPENSA
System for Photonic Adjustment of Nano-scale Aggregated Structures	SPANAS
Taking Steps towards "Molectronics". A venture encompassing Nanotechnology and Synthetic Methodology	NANOSYN

Drugi natječaj za SONS program raspisan je 2005. god. kako bi omogućio istraživanje za daljnje 2 – 3 godine.

FUNSMARTs Project: Samoorganiziranje i manipulacija funkcionalnih supramolekularnih nanoarhitektura na površinama.

To je mreža od osam europskih istraživačkih grupa iz područja kemije i fizike, koja omogućava ekspertizu u: supramolekularnoj kemiji, fizikalnim znanostima na nanoskali i računalnim simulacijama radi razvoja novih koncepata usmjerenih samoorganiziranosti funkcionalnih nanoarhitektura na definiranim površinama.

Radi stavljanja supramolekularnih nanoarhitektura na višu razinu struktura, upotrebljena je tehnika nanoprintanja. Predviđene funkcionalnosti u ovom projektu su: upravljanje molekularnim magnetizmom na nanoskali i istraživanje novih koncepata za molekularne motore.

Sistemski parametri kao što su temperatura, svjetlo, zračenje fotona, tlak, električni potencijal, tunelska struja ili kemijska reaktivnost predviđeni su kao mogući okidači budućih nanoskopskih uređaja i motora.

Biološki inspirirano inženjerstvo senzora, aktuatora i sustava
(*Bio-Inspired Engineering of Sensors, Actuators and Systems – EuroBioSAS)*

Svi živi organizmi, od jednostanične bakterije do višestaničnih životinja, ovise o **senzorima** i senzorskim procesima kako bi imali pouzdanu informaciju o svojem unutarnjem i vanjskom okruženju. Ta informacija koristi se za regulaciju hijerarhije procesa od staničnog metabolizma do ponašanja organizma.

To ponašanje ostvaruje se preko **aktuatora,** koji u pogledu dužinske skale obuhvaćaju 10 redova veličina (od najmanjeg molekularnog motora: 10^{-8} m do najdužeg mišića kita: 10^{1} m).

Bogatstvo prirode u različitosti dizajna, razvijenih prirodnom selekcijom tijekom milijuna godina – ima ključ riznice konstrukcijskih principa te nudi **inovativna,** ali **ispitana** rješenja za čitav niz znanstveno važnih, a tehnički izazovnih inženjerskih problema. To je multidisciplinarni zadatak za biološki inspirirano inženjerstvo, koje, s jedne strane, postavlja važne znanstvene i tehnološke izazove te, s druge strane, vodi do novih konstrukcijskih rješenja i tehnologija u čitavom nizu inženjerskih primjena.

U lipnju 2009. godine održana je u Italiji zajednička američko-europska (NSF-ESF) radionica *BioSensing and BioActuation: Interface Between Living and Engineered Systems*, nakon koje je konzorcij od 22 znanstvenika iz SAD-a i Europe izradio prijedlog projekta (EuroBioSAS).

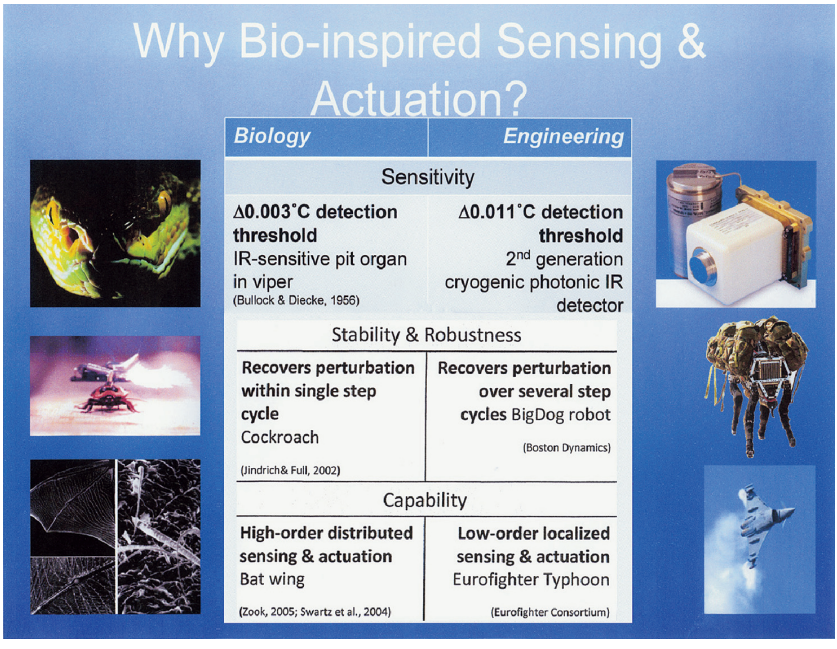
U rezoluciji s tog sastanka, među ostalim, stoji doslovno ovo:

“Postoji izvanredno interesantna i uzbudljiva nova granica istraživanja u temeljnim znanostima i u inženjerstvu o biološki inspiriranim senzorima, aktua-

torima i sustavima, koja će predstavljati osnovu revolucionarnih bioizvedenih i bioinspiriranih tehnologija".

Navedeni prijedlog projekta strukturiran je oko četiri velika izazova:

1. senzorske informatike po uzoru na život (**Sensor informatics guided by life);**
2. hijerarhijske organizacije bioloških sustava (**Hierarchical organization of biological systems);**
3. naprednog inženjerstva i konstrukcije bioloških komponenata i sustava (**Forward engineering & design of biological components & systems);**
4. višefunkcionalnih materijala i uređaja za raspodijeljeno djelovanje i osjećanje (**Multi-functional materials & devices for distributed actuation & sensing).**

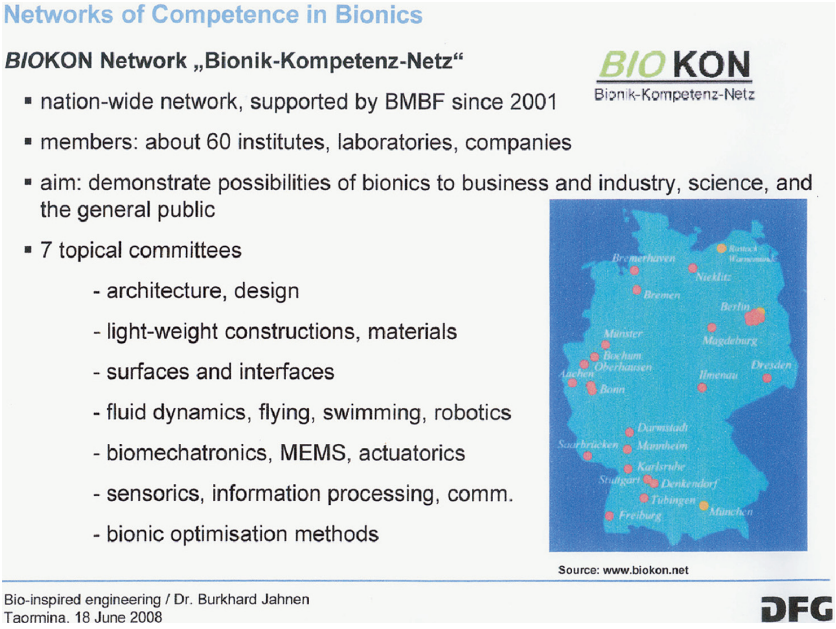


Slika 6. Tri primjera biološki inspiriranog inženjerstva: osjetljivost, stabilnost te sposobnost osjećanja i reagiranja

OSJETLJIVOST, STABILNOST te *SPOSOBNOST OSJEĆANJA I REAGIRANJA* samo su neki kriteriji u biološki inspiriranom inženjerstvu.

OSJETLJIVOST:

Prag osjetljivosti na temperaturu npr. u ustima zmije otrovnice iznosi 0,003^{O}C. Najnovije inženjersko postignuće (druga generacija kriogenički hlađenih radijacijskih detektora) ima prag osjetljivosti pri mjerenju temperature 0,011^{O}C. Gotovo smo dostigli prirodu!



Slika 7. Mreža kompetentnih istraživačkih centara za biomimetička istraživanja, BIOKON

STABILNOST:

Kad se žoharu poremeti stabilnost, on se u stabilan položaj vraća **u jednom koraku.** Najsavršeniji četveronožni robot (*Big Dog, Boston Dynamics*), kad mu se stabilnost poremeti, vraća se u stabilan položaj **tek u nekoliko koraka.** Tu smo još dosta daleko od onoga što može priroda.

SPOSOBNOST OSJEĆANJA I REAGIRANJA:

Krilo šišmiša (koji leti noću i ne orijentira se vidom) ima senzore i aktuatore širom krila **raspodijeljene u velikom broju.** Europski borbeni zrakoplov (*Eurofighter Typhoon*), kao jedna od posljednjih avionskih konstrukcija, ima na krilima **tek nekoliko senzora.**

Dvije najveće europske mreže biomimetičkih istraživanja jesu BIOKON u Njemačkoj i BIONIS u Engleskoj.

Smart Structural Systems Technologies (S3T)

“Smart structure” sustav je koji posjeduje sposobnost spoznavati stanje u svom okolišu, procesuirati te informacije u realnom vremenu te izvršavati odgovarajuću akciju na siguran i pouzdan način. Time takav sustav smanjuje nesigurnost.



Slika 8. Primjena metalnih legura s prisjetljivošću oblika (*Shape Memory Alloys* – SMA) za prigušivanje vibracija noseće užadi na visećim mostovima, zbog vjetra

Velike nesreće uzrokovane zakazivanjem inženjerskih konstrukcija, kod građevina, u transportu ili drugim ljudskim djelatnostima, postaju u 21. stoljeću sve manje prihvatljive, a zaštita ljudi bez ikakvog rizika *(zero-risk protection)* postaje dugoročna ambicija. S druge strane, od inženjera se traži da znatno povećaju efikasnost konstrukcija, uz smanjenje troškova.

EUROCORES program S3T, koji je proizašao iz zajedničkog interesa za suradnju ESF-a i NSF-a, nastoji stvoriti teoretsku i eksperimentalnu osnovu za integraciju suvremenih senzora u sustave za monitoriranje i upravljanje velikim objektima. Program je sam po sebi višedisciplinaran te se koristi ekspertizama iz područja građevinarstva, strojarstva, aeronautike, elektrike, znanosti o materijalima, svemirske tehnike i računarstva.

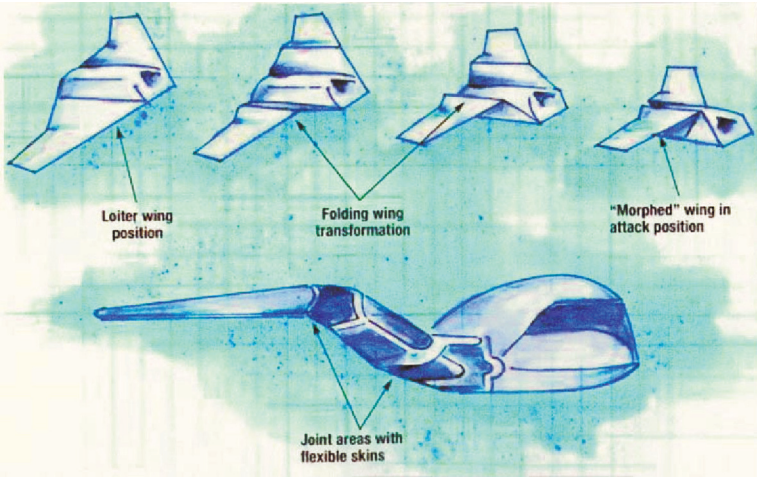
Početni sastanak za taj program održan je u rujnu 2006. god., a sufinancira ga 18 nacionalnih agencija iz 15 zemalja. Program se sastoji od nekoliko zasebnih kolaborativnih istraživačkih projekata (*Collaborative Research Projects* – CRPs), od kojih izdvajamo sljedeća tri:



Slika 9. Sustav za mikro-mjerenje i monitoriranje starenja podzemnih infrastrukturnih objekata

1. *Shape Memory Alloys to Regulate Transient Responses in Civil Engineering* (SMARTeR)

Metalne legure s prisjetljivošću oblika (*Shape Memory Alloys* – SMA), koje promjenom okolnih uvjeta same zauzimaju prethodno određen oblik i pri tome mogu izvršiti aktiviranje neke konstrukcije, mogu kao "pametni" materijali služiti da ublaže efekte prolaznog preopterećenja. Cilj tog projekta jest izrada metodologije i alata za optimalnu konstrukciju SMA prigušivača za primjenu u građevinarstvu, tj. zakonitosti djelovanja,



Slika 10. Mogućnost promjene oblika krila zrakoplova u letu kao primjer kontrolirane prilagodbe konstrukcije u više točaka

te modela materijala i numeričkog alata za simulaciju i upravljanje. U ovom slučaju eksperimenti i provjera odnose se na smanjenje vibracija noseće užadi na visećim mostovima, zbog vjetra.

2. *Micro-Measurement and Monitoring System for Ageing Underground Infrastructures* (Underground M3)

Jedan od velikih izazova u građevinarstvu jest praćenje starenja objekata. Svrha ovog projekta u kojem sudjeluju Sveučilište u Cambridgeu *(The University of Cambridge)*, *Institute of Microelectronics and Microsystems – Bologna*, *Universidad Politecnica de Catalunya* i *Czech Technical University Prag)* jest razvoj prototipa sustava za procjenu stanja i monitoriranje starenja podzemnih infrastrukturnih objekata. U prvom dijelu fokus je na razvoju alata za mikrodetekcije uz korištenje računalne vizije, a u drugom dijelu razvoj alata za mikromonitoriranje i komunikaciju uz korištenje mikroelektromehaničkih sustava (MEMs) i bežične komunikacije te alata za naprednu inženjersku analizu. Eksperimentalni se dio i izvodi na podzemnim željeznicama u Pragu, Londonu, Barceloni i Madridu.

3. *Smart Aircraft Morphing Technologies* (SMORPH)

Napredak u razvoju "smart" struktura i u razvoju aktivnih materijala u proteklom desetljeću dovest će vjerojatno do znatnih promjena u konstrukciji aviona zahvaljujući mogućnosti kontrolirane promjene oblika krila u letu, što se naziva "morphing". Mogućnost sklapanja krila u letu posjeduju i neki leteći kukci. Takve letjelice sposobne su adaptirati se i povećati svoje performanse rekonfiguracijom oblika krila u specifično oštrim uvjetima (npr. kod napada borbenog aviona). Jedno od bitnih obilježja takvih letjelica jest mogućnost prilagodbe konstrukcije promjenom oblika u više točaka *(multi-point design adaptability)*. Za analizu i ispitivanje toga koncepta koristit će se zračni tunel i bespilotne letjelice kojima se upravlja na daljinu.

6. NOVI EKSPERTNI ODBORI PESC-a, U OSNIVANJU

Ekspertni odbor za računalne znanosti
(*Expert Committee on Computational Sciences* – CSEC)

Kako bi se europskim znanstvenicima omogućio optimalan pristup superračunalima, u travnju 2007. europske su zemlje Austrija, Finska, Francuska, Njemačka, Grčka, Italija, Norveška, Poljska, Portugal, Španjolska, Švedska, Švicarska, Nizozemska, Turska i Ujedinjena Kraljevina potpisale memorandum o novoj inicijativi Partnerstvo za napredno računarstvo u Europi (*Partnership for Advanced Computing in Europe* – PACE), koja će

razvijati to strateški važno područje i brinuti se o njemu. Još u okviru programa FP-6 osnovan je konzorcij *Distributed European Infrastructure for Supercomputing Applications* (DEISA1), koji se temelji na uskoj povezanosti jedanaest nacionalnih superračunalnih centara *(high performance computing – HPC centres)* iz sedam europskih država. Program DEISA2, koji financira Europska komisija u okviru FP-7, nastavlja razvijati i podržavati paneuropsku raspodijeljenu infrastrukturu visokih računalnih performansi, koja je međusobno povezana širokopojasnom mrežom GEANT2 od 10 Gb/sec.

Zajedničkim financiranjem organizacije *Europe's National Research and Education Networks* (NRENs) i Europske komisije (EC) ta je infrastruktura proširena na preko 50.000 kilometara, povezujući 34 zemlje na kontinentu i ostvarujući vezu sa Sjevernom Amerikom i Azijom.

S druge strane, u okviru PESC-a u završnoj je fazi propulzivni istraživački projekt *The Lincei Initiative: from computers to scientific excellence*, čija je zadaća razviti viziju kako će se računalne znanosti razvijati u sljedećih 10 do 20 god.

Slijedom tih događanja nekoliko članica ESF-a izrazilo je interes i potporu za osnivanje gore navedenog ekspertnog odbora u okviru PESC-a. Na sastanku jezgrene skupine PESC-a u lipnju 2008. zaključeno je da će se taj zahtjev razmatrati kad budu poznate zaključne preporuke navedenog propulzivnog istraživačkog projekta, jer je panel tih znanstvenika odgovoran za predlaganje prioriteta i uspostavljanje kontakata s nacionalnim savjetima za istraživanje, centrima sa superračunalima, sveučilištima, velikim europskim istraživačkim organizacijama (CERN, ESA) i industrijom.

Ekspertni odbor za istraživanje o materijalima
Expert Committee on Materials Research

Europski forum za materijale (*European Materials Forum* – EMF), osnovan 2005. god., organizacija je za znanstvena i tehnološka pitanja u području znanosti o materijalima i inženjerstva *(Material Science and Engineering)* u Europi, čiji je cilj da javno nastupa i daje neovisne savjete onima koji vode politiku razvoja te da stimulira suradnju između istraživača i industrije. Predsjednik tog foruma prof. Kleiber pokrenuo je akciju za osnivanje navedenog odbora u okviru PESC-a.

Znanost o materijalima i inženjerstvu *(Material Science and Engineering)* područje je koje obuhvaća mnoge discipline (fiziku, kemiju, biologiju, softver), a oslanja se, s jedne strane, na temeljna istraživanja, a s druge na inženjerstvo. Navedeno područje ima ključnu ulogu u unapređenju ekonomskih performansi globaliziranog svijeta, u kvaliteti života i zapošljavanju ljudi. To se poglavito očituje u životnom okolišu, zdravlju, komunikaciji i transportu, a postiže se razvojem novih energetskih tehnologija, umjetnih ljudskih implantata i ciljanih nanostrukturnih lijekova, novih elektronskih, optičkih i magnetskih materijala te trajnih materijala visokih perfor-

mansi, koji mogu učiniti putovanje bržim, sigurnijim i komfornijim, s manje energije i štete za okoliš.

Ekonomsko značenje materijala za Europu izrazito je veliko, jer je barem 20 milijuna radnih mjesta izravno ili neizravno povezano s tim područjem aktivnosti. To objašnjava i nastojanja u zadnjim godinama da se u tom području pojačaju kapaciteti visokog obrazovanja, istraživanja i inovacija. Nažalost, istraživanja koja se provode u 27 europskih država u mnogo su slučajeva više-manje ista, ali na različitim razinama. Zbog primjetnog povećanja broja visokoškolskih ustanova u Europi, što je u osnovi pozitivno, znatno je porastao broj grupa koje istražuju iste teme, a pri tome nisu dovoljno financirane ili nemaju kritičnu masu.

Kad je riječ o informatičko-komunikacijskim tehnologijama (ICT), svjedoci smo izvanredno brzog rasta poluvodičke elektronike kao važnog područja unutar ICT-a. Treba međutim reći da je taj impresivni napredak bio moguć kombinacijom osnovnog koncepta, perfekcioniranjem novih materijala i razvojem novih principa uređaja. Jedan od aktualnih izazova jest razvoj silicijskih THz tranzistora, u čemu je Europa jedan od predvodnika.

Tehnologije potrebne za energetske izvore kao što su sunčeva energija, vjetroelektrane i nuklearne centrale ovise najviše o novim materijalima, što vrijedi i za prijenosnike energije (skladištenje vodika, daljnji razvoj baterija).

Smanjenje štetnog djelovanja CO_2, umjesto njegova spremanja duboko u zemlju ili u more, može se postići recikliranjem CO_2 u nove energente u dvostupnjevanom procesu:

1. elektrolizom morske vode, da se dobije H_2, uz korištenje one **prekomjerne** energije sunca, vjetra ili električnih centrala koju **momentalno ne možemo spremiti;**
2. reduciranjem CO_2 s H_2, za što su potrebni odgovarajući katalitički materijali.

Desetak članica ESF-a (među njima DFG iz Njemačke i CNRS iz Francuske) na upit je odgovorilo da je zainteresirano za osnivanje gore navedenog ekspertnog odbora u okviru PESC-a. Sljedeći korak za osnivanje tog odbora jest izrada *Terms of Reference*.

7. ULOGA I VAŽNOST ISTRAŽIVANJA MATERIJALA *(MATERIAL SCIENCE & ENGINEERING)* – PRIMJERI:

Novel Organic Metal Hybrids

Nova vrsta hibridnih materijala koji se sastoje od metala i organskih spojeva nazvanih MOFs (*Metal Organic Frameworks*) jedan je od velikih prodora u fizici i kemiji čvrstog stanja, čiji je potencijal tek sada prepoznat, uz vrlo velik broj mogućih primjena.

Jedna od prvih velikih primjena MOFs-a bit će sigurno skladištenje vrlo zapaljivih plinova kao što su vodik i metan, poglavito u automobilskoj industriji, zbog urgentne potrebe da se umjesto derivata nafte upotrijebi vodik. Zapravo se MOFs već upotrebljava za skladištenje vodika i mnogi proizvođači automobila imaju te proizvode u svojim prototipovima.

MOFs su porozni materijali s mikroskopskim rupicama, slični saću s molekularnim dimenzijama. To svojstvo materijala da ima astronomske brojeve sićušnih rupa u relativno malom volumenu može se koristiti u razne svrhe, od kojih je jedna spremište za plinove. Molekule plina difundiraju u čvrsti materijal MOFs i sadržane su u njegovim porama. Ključna prednost MOFs-a jest da za istu spremljenu količinu plina znatno smanjuje pritisak molekula plina. Tako se naprimjer količinu plina spremljenu u bocu pod pritiskom od 200 bara može spremiti u posudu iste veličine izrađenu od MOFs-a kod pritiska od 30 bara. Poroznost MOFs materijala koristi se i za katalizatore za ubrzanje kemijskih reakcija za čitav niz materijala i farmaceutskih primjena.

Postoji još tehnološki izazov, a to je znanje *(know-how)* o tome kako se taj materijal oblikuje i, s druge strane, kako MOFs treba dizajnirati da odgovori specifičnim zahtjevima. MOFs je kristalinični materijal koji se stvara u vrlo pravilnom rasporedu iz otopine, jednako kao što kristaliziraju sol ili šećer. Znanstvenici još moraju naučiti kako manipulirati početnim uvjetima da dobiju baš onaj kristalinični sustav i raspored koji žele.

Plastic Solar Cells

U jednom od kolaborativnih istraživačkih projekata (*Collaborative Research Projects* – CRPs) EUROCORES programa SONS2 *(Self Organized Nano Structures),* pod nazivom SUPRAMATES, na kojem rade znanstvenici na *Instituto per la Sintesi Organica e la Fotoreattivita* u Bolonji, upotrijebljena je novorazvijena metoda za mjerenje nanostruktura tzv. *Kelvin Probe Force Microscopy* (KPFM), koja je proširenje metode *Atomic Force Microscopy* (AFM) i 1.000 je puta veće rezolucije od optičkih mikroskopa.

Standardni AFM ekstremno je oštar šiljak (debljine svega nekoliko atoma) čiji vrh skenira površinu oscilirajući gore-dolje i na taj način slijedi atomske detalje površine kako se sile između tog šiljka i površine mijenjaju. Gibanje šiljka bilježi se pomoću visokofokusirane laserske zrake povezane s računalom.

KPFM proširuje tu metodu primjenom električnog potencijala šiljka, koji omogućuje mjerenje elektronskih svojstava i sastava površine, kao i njezinu topografiju. Jedno od otkrivenih svojstava radna je funkcija površine, koja je povezana s katalitičkom aktivnošću materijala, otpornošću na koroziju i njegovim elektroničkim svojstvima.

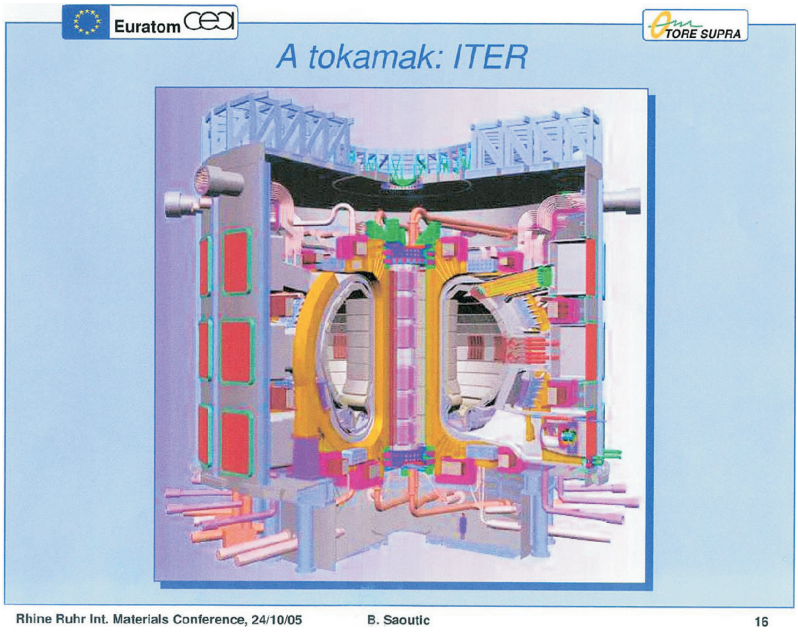
Istraživanja navedenih znanstvenika fokusirana su na materijale koji se upotrebljavaju kao aktivne komponente čitavog niza optoelektroničkih naprava, uključujući organske svjetloemitirajuće diode (OLEDs), tankoslojne tranzistore i materijale za konverziju solarne energije. Optimiranje takvih naprava ovisi o sposobnosti finog ugađanja *(fine-tuning)* gibanja elektrona između elektrode i organskog materijala te njihova putovanja kroz materijal.

Da bi mogla mjeriti elektrostatske interakcije, KPFM-proba mora vibrirati. Upotrebljavajući različite frekvencije vibracija, omogućena su površinska mjerenja na na-

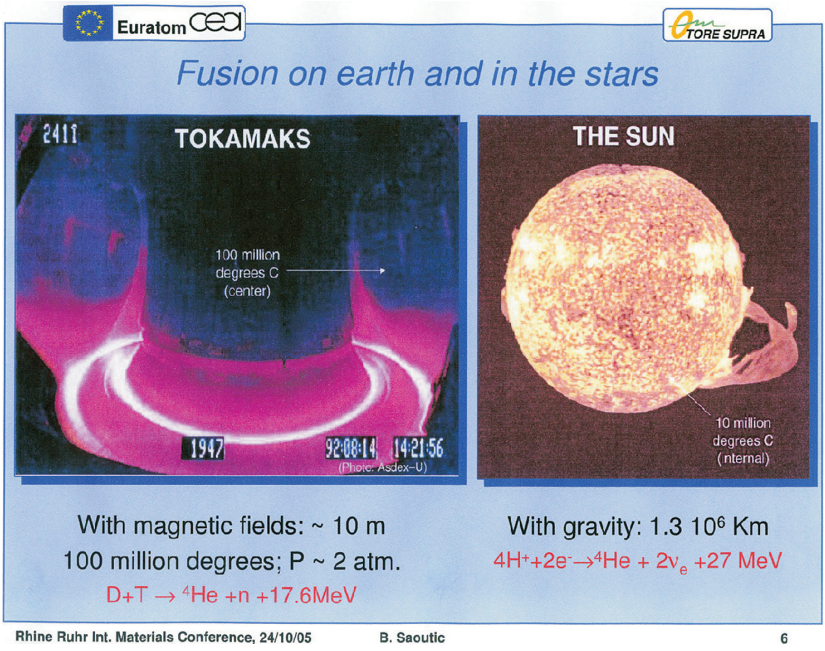
nometarskoj skali, pa se može istraživati odgovor na pitanje: kako je povezana nanoarhitektura na površini materijala s njezinom funkcijom. Grupa u Bolonji primijenila je navedenu tehniku za proučavanje **organskih** fotovoltaičkih materijala (polyisocyanopeptida – polimera) kao skela na koje se mogu smjestiti tisuće molekula koje primaju elektrone. Kao rezultat toga oni mogu proizvesti stotine nanometarski dugih žica, koje apsorbiraju svjetlost. Oni su u stanju, pomoću KPFM mjerenja, izravno vizualizirati fotovoltaičku aktivnost nanožica, što pruža uvid u način kako bi mogle biti načinjene plastične solarne ćelije. To je nov put razvoja **efikasnih i jeftinih plastičnih solarnih ćelija** koje bi mogle znatno smanjiti troškove proizvodnje obnovljive sunčeve energije i učiniti je komercijalno održivom.

Solar Paint on Steel to Generate Renewable Energy

Drugačiju ideju za fotovoltaičko korištenje sunčeve energije slijedi grupa istraživača u PV *Accelerator Laboratory*, Shotton u Walesu, Ujedinjena Kraljevina, u suradnji s jednim anglo-nizozemskim proizvođačem čeličnih limova. Ti se limovi, kao što je poznato, sve više upotrebljavaju u suvremenoj arhitekturi, na fasadama, osobito kod visokih zgrada. Istraživanje vodi Sveučilište Swansea *(Swansea University)* zajedno s Kraljevskim koledžom *(Imperial College)* u Londonu i još dva britanska sveučilišta.



Slika 11. Shema fuzijskog eksperimentalnog reaktora *(International Thermonuclear Experimental Reactor* – ITER*)*



Slika 12. Fuzijska reakcija u reaktoru tipa TOKAMAK i unutar sunca

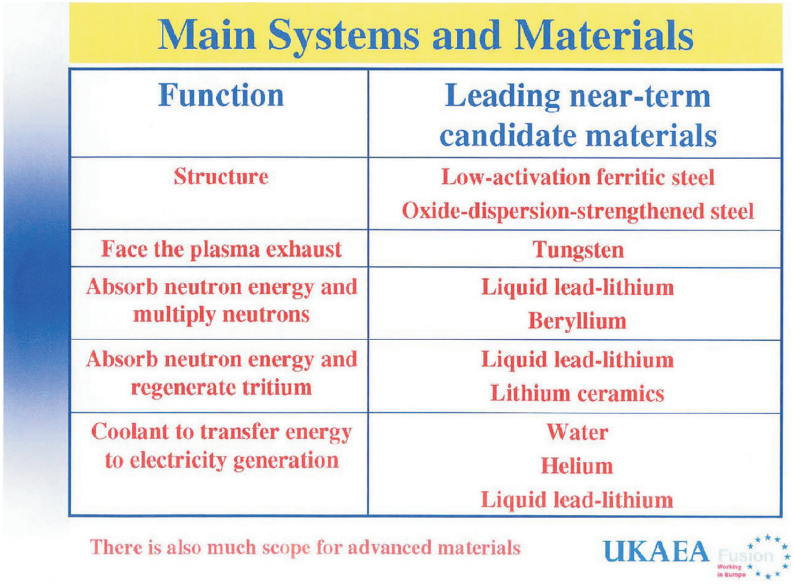
Ideja se sastoji u razvoju višeslojne boje strukturirane tako da omogućuje fotovoltaičku pretvorbu sunčeve energije, a koja bi se nanosila na čelične limove izravno pri njihovu valjanju.

Fotovoltaička boja (pasta) sastoji se od sljedeća četiri sloja:

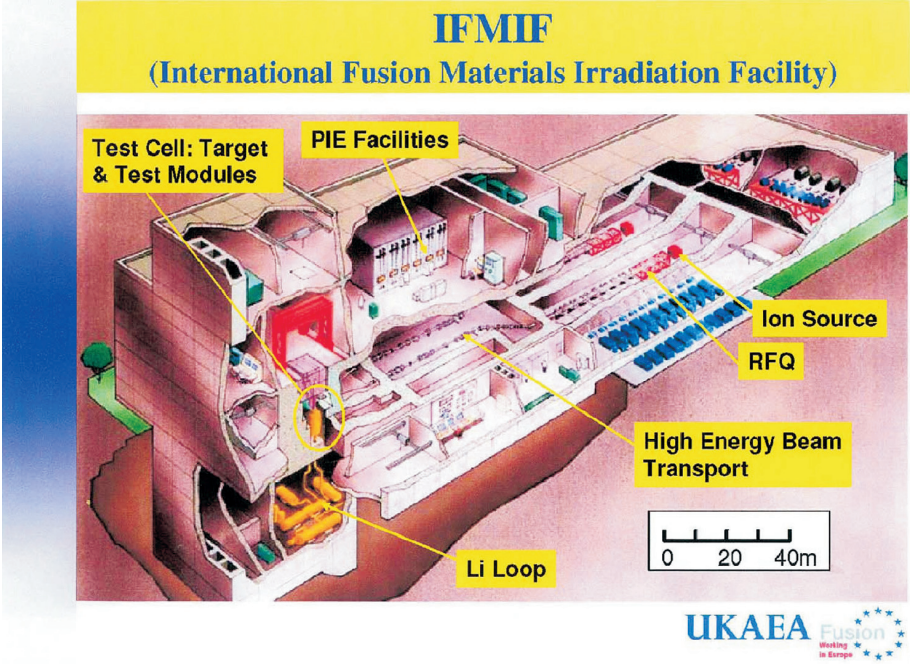
1. od temeljnog sloja;
2. od sloja boje osjetljiva kao solarne ćelije;
3. od sloja elektrolita ili titanova dioksida (TiO_2);
4. od zaštitnog filma.

Takva pasta nanosi se na čelični lim kod njegova valjanja u četiri prolaza ispod valjka, sloj po sloj. Istraživači u navedenom laboratoriju razvijaju tehnologiju da se to događa brzinom od 30 do 40 m^2/s. Princip djelovanja nanesene paste jest sljedeći: svjetlo pogađa sloj osjetljiv kao solarne ćelije, uzbuđuje molekule koje služe kao apsorber. Te molekule otpuštaju elektrone u nanokristalični titanov dioksid, koji služi kao kolektor elektrona i dio strujnog kruga.

Prednost navedenog rješenja jest u tome što može učinkovitije hvatati nisku svjetlosnu radijaciju (kroz oblake) od konvencionalnih solarnih ćelija, pa je učinkovitije u klimatskim područjima s mnogo oblačnih dana.



Slika 13. Funkcije u fuzijskom reaktoru i prioritetno predviđeni materijali, odnosno sredstva za realizaciju tih funkcija



Slika 14. Postrojenje za ispitivanje izdržljivosti materijala za izgradnju fuzijskog nuklearnog reaktora

International Fusion Materials Irradiation Facility (IFMIF)

Za trajno rješenje energetskih potreba čovječanstvo se nada primjeni fuzijom dobivene nuklearne energije. Goriva za nju ima po cijelom svijetu u obilju, nema problema s odlaganjem radioaktivnog otpada kao ni s emisijom za okoliš štetnih plinova.

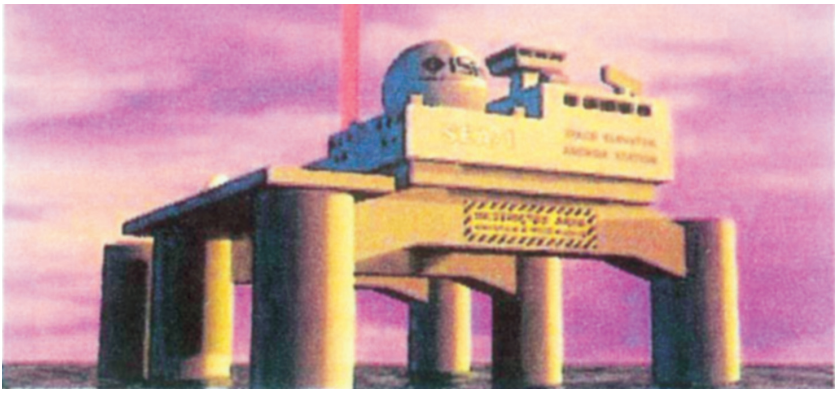
Ove je godine, prema planu, u fazu konstrukcije ušao *International Thermonuclear Experimental Reactor* (ITER), do sada najveći i tehnološki najsofisticiraniji eksperiment nuklearne fuzije. To je internacionalni projekt koji zajednički financiraju Kina, Europska unija, Švicarska, Indija, Japan, Južna Koreja, Ruska Federacija i SAD, a gradi se u francuskom mjestu Cadarache.

Znanstveno-tehnološki izazov pri gradnji tog reaktora jest proizvesti održivu energiju nuklearnom fuzijom i zadržati je u reaktoru pri nezamislivo visokim temperaturama.

ITER je uređaj koji se temelji na konceptu TOKAMAK, kod kojega je vrući plin (plazma) zadržan u prstenastoj posudi pomoću magnetskog polja. Plin je zagrijan na oko 100 milijuna °C, a uređaj bi trebao proizvesti električnu energiju snage 500 MW.

Naravno da je za izgradnju ITER-a ključni problem, o kojem ovisi i dinamika realizacije čitavog projekta – izbor i razvoj odgovarajućih materijala, i to ne samo zbog nezamislivo visokih temperatura, već možda još više zbog štetnog djelovanja fluksa neutrona. Štete koje u materijalu mogu nastati zbog fluksa neutrona jesu sljedeće:

- pogreške u atomskoj građi materijala (intersticijski atomi, vakancije) proizvedene fluksom neutrona putovat će u materijalu od jednog mjesta na drugo;
- te će pogreške djelovati međusobno jedna na drugu, nakupljati se, različito putovati do dislokacija i do granica zrna;
- navedene pogreške u materijalu imat će za posljedicu: puzanje materijala (*creep*), gubitak istezljivosti i gubitak lomne žilavosti.



Slika 15. Umjetnikova predodžba izgleda zemaljske stanice za svemirsko dizalo koje bi se uzdizalo 36.000 km u svemir

Navedeni fenomeni nastaju u granicama vremena od pikosekundi do godina.

Budući da je štetan utjecaj fluksa neutrona (do 14 MeV) na materijal **tijekom više godina** potpuno nepoznat, odgovarajuća se iskustva ne mogu stjecati u izgradnji samog reaktora ITER, jer je paralelno nužno razvijati nove legure i kompozite. Zbog toga je potrebno najprije izgraditi IFMIF za ispitivanje ponašanja razvijenih materijala. IFMIF je veoma intenzivan, na akceleratoru temeljen neutronski izvor fluksa od oko 1018 n/m^2/s, koji će koristiti deuterij-litijsku reakciju. Kao kritičan kriterij za kvalifikaciju nekog materijala predviđa se uvjet da izdrži specifične uvjete fuzije od najmanje 10 – 15 MWy/m^2 za vrijeme radnog vijeka reaktora.

Baza podataka o efektima zračenja na materijale, razumijevanje tog procesa i razvoj modela za predviđanje ponašanja materijala ubrzat će razvoj materijala za proces fuzije, a koristit će i materijalima za IV. generaciju fizijskih reaktora.

Prema planu dinamike događanja, ispitivanje prioritetnih materijala u IFMIF-u trebalo bi završiti do 2027. godine, tako da se prvi fuzijski reaktor u komercijalnoj upotrebi ne može očekivati prije 2050. godine.

Elevator to Stars (Svemirsko dizalo)

Ovaj projekt na prvi pogled zaista graniči sa znanstvenom fantastikom, međutim (prema *The Timesu* od 22. rujna 2008.) u Japanu, odakle ta inicijativa potječe, ne samo da postoji Japanska udruga za nebesko dizalo *(Japan Space Elevator Association)*, već tu ideju ozbiljno razmatraju velike japanske kompanije i sveučilišta.

Ideja svemirskog dizala jest da se sa zemaljske stanice (na slici 15 – kako je zamišlja umjetnik) do visine od 36.000 km, gdje se u geostacionarnoj putanji nalazi satelitska stanica, proteže uže po kojem se odgovarajućom brzinom uspinje ili spušta kabina prometala u kojoj bi se transportirali ljudi ili oprema. Tako bi se, prema mišljenju japanskih znanstvenika, za svladavanje Zemljine gravitacije trošilo i do 100 puta manje energije nego lansiranjem svemirskog broda *(Space Shuttlea).*

Postoje, naravno, još mnogi nerazjašnjeni aspekti i mnogo prodora potrebnih u inženjerskim rješenjima te oprečna mišljenja o mogućnosti realizacije navedenog projekta; jedno je međutim sigurno i poznato: temeljni problem leži u izradi samog užeta, tj. u materijalu za njegovu izradu. Bez razvoja i proizvodnje odgovarajućeg visokokvalitetnog materijala ta se ideja nikad neće moći realizirati.

Uže mora biti izvanredno lagano, ali istovremeno imati čvrstoću 180 puta veću od čvrstoće čelika.

Rješenje za materijal užeta, prema grupi koja radi na ovom projektu, leži u uporabi ugljikovih nanocjevčica (*carbon-nanotubes*), čestica koje mogu biti formirane u vlakna i čija je masovna proizvodnja sada u fokusu velikih japanskih tekstilnih kompanija.

Da to rješenje vodi u pravom smjeru, potvrđuju (prema *Pittsburg Tribune-Review* od 18. listopada 2008.) najnovija istraživanja na Institutu za materijale visokih perfor-

mansi *(High-Performance Materials Institute)* Floridskoga državnog sveučilišta *(Florida State University)*. Tamo su razvili materijal nazvan *buckypaper*, koji je oko 10 puta lakši, ali moguće je i da je do 500 puta čvršći od čelika! On se sastoji od cjevčica od oblikovanih ugljikovih molekula 50.000 puta tanjih od ljudske vlasi! Te su cjevčice varijacija molekula *buckminster* fulerena (ime su dobile po arhitektu Backminsteru Fulleru), to jest trećeg oblika (poslije grafita i dijamanta) u kojem je prisutan čisti ugljik, u obliku lopte sa 60 atoma. Jedan gram ugljikovih nanocjevčica u obliku lista pokrio bi površinu od 2/3 nogometnog igrališta. Ta ogromna površina osnova je čvrstoće ugljikovih nanocjevčica. Ako ih se izloži visokom magnetskom polju, one se usmjeravaju u istom smjeru, što povećava njihovu zajedničku čvrstoću. *Buckypaper* nastaje slaganjem slojeva nanocjevčica jednog na drugi i njihovim prešanjem u oblik kompozita.

Za razliku od konvencionalnih kompozitnih materijala, taj je materijal, kao bakar, dobar električni vodič i ima dobru toplinsku vodljivost, kao čelik. Predviđa se da će prve primjene novog materijala biti: zaštita od elektromagnetskih smetnji i gromova u avionima, elektrode za gorivne ćelije, superkondenzatori i baterije. Očekuje se da će taj materijal za oko pet godina biti certificiran za uporabu u zrakoplovstvu, što će predstavljati revolucionarni napredak u svemirskoj tehnici.

8. EUROPSKI STRATEŠKI FORUM O ISTRAŽIVAČKIM INFRASTRUKTURAMA (*EUROPEAN STRATEGY FORUM ON RESEARCH INFRASTRUCTURES* – ESFRI) – *EXAMPLES OF NEW LARGE SCALE RESEARCH INFRASTRUCTURE*

ESFRI je strateški instrument za razvoj znanstvene integracije u Europi i za jačanje njezina internacionalnog dosega. Osnovan je 2002. god. po nalogu Europskog parlamenta, a njegove članove imenuju ministri za znanost i istraživanje zemalja članica i pridruženih zemalja.

Po definiciji ESF-a, u znanstvenu infrastrukturu spadaju:

- veliki istraživački uređaji (*Large-Scale Research Infrastructure*), s jedinstvenim mogućnostima;
- srednji i mali istraživački uređaji, koji imaju europsko ili regionalno značenje, a mogu se nalaziti na jednom mjestu ili biti distribuirani;
- baze podataka (na jednom mjestu ili distribuirano) koje su bitne za istraživanja u Europi;
- podupiruća ICT infrastruktura za europska istraživanja, kao što su širokopojasne komunikacije i računalne mreže.

Europska komisija (EC), Europska znanstvena zaklada (ESF) i EuroHORCs (*European Heads of Research Councils*) organizirali su 2006. god. istraživanje *(survey)* europske istra-

živačke infrastrukture koje je obuhvatilo: opremu u radu, onu koja je bila u fazi nadogradnje i onu koja je trebala postati operativna u 2006. godini. Rezultati tog istraživanja osnova su za *on-line* bazu podataka o europskoj istraživačkoj infrastrukturi, koja će se stalno nadopunjavati i biti na raspolaganju znanstvenicima te onima koji vode politiku istraživanja i donose odluke o novoj istraživačkoj opremi.

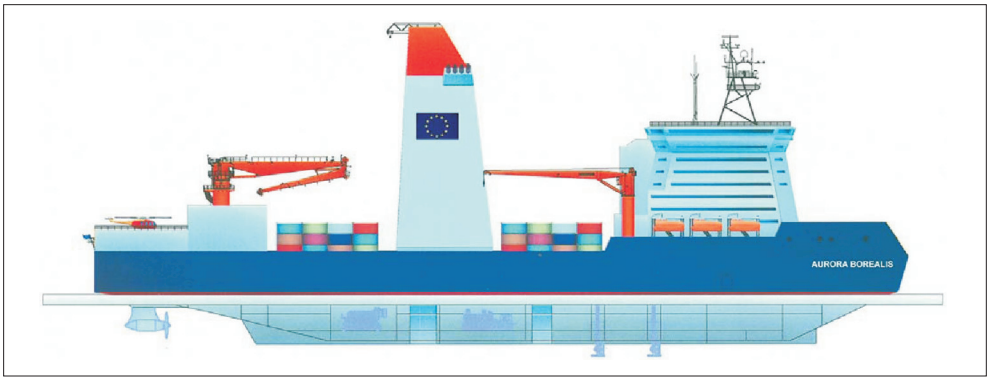
Postoji popis od 35 projekata za novu veliku istraživačku infrastrukturu *(Large Scale Research Infrastructure)*, za sva znanstvena područja, koji čine ključne stupove za jačanje europskog istraživačkog prostora (ERA). Slijedi kratak opis nekoliko tih projekata.



Slika 16. Zgrada u kojoj se nalazi veliki istraživački uređaj za proizvodnju pulsova X-zraka *(European X-ray Free Electron Laser)* što se gradi u Njemačkoj

Extreme Light Infrastructure (ELI)

U nekoliko godina intenziteti LASER-a povećani su za šest redova veličina i toliko su veliki da se zakoni optike mijenjaju u fundamentalnom smislu. To novo područje optike naziva se relativistička optika (*Relativistic Optics*).



Slika 17. Europski polarni istraživački ledolomac *Aurora Borealis*

Misija ELI, zamišljena kao europski napor, sastoji se u postizanju ultra-relativističkog režima. Njezin je važan aspekt mogućnost da proizvede ultrakratke pulsove fotona, elektrona, protona, neutrona, muona i neutrina u režimu attosekunde (10^{-18} s). Istraživanje u toj domeni vremena pomoći će da se razjasni attosekundna dinamika u atomskoj fizici i fizici plazme.

U istraživanju materijala ELI bi mogla pomoći da se bolje razumiju mehanizmi oštećenja u materijalima izloženim visokim fluksovima neutrona, što je osobito važno za nuklearne reaktore. ELI će biti prvi uređaj u svijetu posvećen interakciji LASER-a s materijalom, u najvišoj razini intenziteta (za 36 redova veličina višoj od današnjih najsuvremenijih uređaja) u ultrarelativističkom režimu. ELI će biti ulaz u nove režime u fizici i promicat će nove tehnologije kao što je relativistička mikroelektronika *(Relativistic Microelectronic)* s razvojem kompaktnog LASER-skog akceleratorskog izvora od > 100 GeV čestica i fotona.

Za taj projekt predviđeno je trajanje konstruiranja od dvije godine i trajanje izgradnje od pet godina. Troškovi izgradnje projekta procijenjeni su na 138 milijuna EUR, a troškovi pogona i održavanja na 6 milijuna EUR/god.

European X-ray Free Electron Laser (XFEL)

Tim se projektom predviđa izgradnja nove opreme za proizvodnju ultrasvijetlih i ultrakratkih pulsova prostorno koherentnih X-zraka kod Hamburga u Njemačkoj.

Uređaj sadržava supravodljivi linearni akcelerator od 1,7 km dužine koji ubrzava elektrone do energije od 17,5 GeV raspodijeljene na oko 30.000 elektronskih paketa u sekundi. Oni će generirati prostorno koherentne pulsove X-zračenja kraće od 100 fs (femtosekunde) s maksimalnom snagom većom od 10 GW.

Uređaj uključuje 10 eksperimentalnih stanica s najsuvremenijom opremom za znanstvenu primjenu radijacije u raznim disciplinama. Pretpostavlja se da će raspoloživost pulsova X-zraka s maksimalnom svjetlinom za devet redova veličina većom od postojeće treće generacije svjetlosnih izvora omogućiti izvođenje sada nemogućih, a potencijalno revolucionarnih, eksperimenata od fizike čvrstog stanja do nanoznanosti, od fizike plazme do kemije i do strukturne biologije.

Izgradnja tog uređaja trebala bi biti dovršena 2013. godine uz troškove procijenjene na 986 milijuna EUR uz dodatnih 50 milijuna EUR za instrumentarij i detektore.

Aurora Borealis (European Polar Research Icebreaker)

Polarna istraživanja i svojstva sjevernog i južnog oceana blizu polova postala su vrlo zanimljiva, jer ti krajevi podliježu brzim i dramatičnim promjenama. Potrebni podaci mogu se sakupiti ili pomoću stalnih stanica s ljudskom posadom ili pomoću specifično opremljenih istraživačkih brodova.

Aurora Borealis bit će snažan istraživački ledolomac od 31.000 tona deplasmana, duljine 196 m. Snaga propulzije tog broda iznosit će 50.000 kW (usporedbe radi, tankeri duljine i do 250 m imaju glavni stroj snage 13.560 kW). Brod će biti opremljen i za bušenje do 4.000 m dubine mora. Imat će visoke performanse da autonomno ulazi u centralni arktički ocean do 2,5 m debljine ledenog sloja, u svim godišnjim dobima, te će djelovati kao baza i podrška polarnim istraživanjima.

To će biti najmoderniji inovativni istraživački brod na svijetu (zadovoljavat će specifikacije najviše klase polarnih ledolomaca), koji će otvoriti nove horizonte u polarnim i pomorskim istraživanjima.

9. ZAKLJUČAK

Na temelju svega iznesenog logično je zapitati se je li Hrvatska, koja se inače nalazi pred ulaskom u Europsku uniju, dovoljno iskoristila postojeće mogućnosti: uključivanja svojih znanstvenika u europske istraživačke projekte, sudjelovanja svojih predstavnika u mnogim navedenim europskim znanstvenim institucijama i korištenja europske istraživačke infrastrukture.

U vremenu svojega proteklog šestogodišnjeg mandata kao člana PESC-a stekao sam dojam da su ponuđene mogućnosti bile mnogo veće od onog što je Hrvatska iskoristila.

Da bi se iskoristilo znatno više, s obzirom na ograničene kapacitete hrvatske znanstvene zajednice u kadrovskom i u financijskom pogledu, potrebno je na razini države kao prioritete izabrati ona područja, programe i projekte istraživanja od kojih Hrvatska u bližoj ili daljoj budućnosti očekuje ekonomsku i društvenu korist. U takve projekte treba i kadrovski i financijski ulagati – dugotrajno.

Unutar same znanstvenoistraživačke zajednice u Hrvatskoj u pojedinim, za fizikalne i inženjerske znanosti važnim područjima, čast iznimkama, nema dovoljne suradnje između znanstvenika koji se bave temeljnim istraživanjima (uglavnom na Institutu *Ruđer Bošković* i na Institutu za fiziku) i onih koji se bave primijenjenim istraživanjima (uglavnom na fakultetima). Takva situacija nije tipična za razvijene zemlje. Poboljšanje te suradnje jedan je od važnih preduvjeta za prenošenje vlastitih istraživačkih rezultata u praksu.

Abstract

ABOUT SOME ACTUAL FUNDAMENTAL RESEARCH IN PHYSICAL AND ENGINEERING SCIENCES

From the activity of the Standing Committee for Physical and Engineering Sciences – PESC, of the European Science Foundation – ESF

The content of this contribution is a short description of activity of the Standing Committee for Physical and Engineering Sciences (PESC) of the European Science Foundation (ESF) in fundamental research within the following fields: physics, chemistry, mathematics, information and communication sciences, material sciences and fundamental engineering sciences.

Methods of the ESF activity have been mentioned, as well as examples of a few actual European Collaborative Research programmes (EUROCORES), defining the trends in European fundamental research. Presenting several key projects, the importance of materials research is emphasized. The information is given about establishing new expert groups on computational sciences and on materials research, within PESC. A short description is given of the purpose and activity of the European Strategy Forum on Research Infrastructure (ESFRI), including several new large scale European research infrastructure projects.

Key words: ESF, PESC, EUROCORES, ESFRI