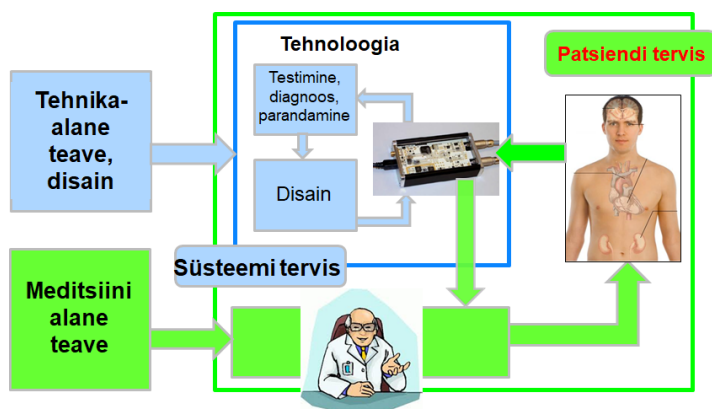


## „Tervis ruudus“ ehk tippkeskuse CEBE lugu

Eesti teadustippkeskuse CEBE (2007-2015) motoks ja lipukirjaks oli „Tervis ruudus“, mille tähendus seisnes ühelt poolt inimese tervisele viitamises ja teiselt poolt inimese tervise eest hoolitseva doktori kasutada oleva aparatuuri „tervise“ ehk usaldusväärsuse tagamises.

Selle kauni moto elluviimiseks panustasid kolm TTÜ struktuuriüksust Tehnomeedikum (TM, direktor Kalju Meigas), Thomas Johann Seebecki elektroonikainstituut (ELIN, direktor Toomas Rang) ning arvutitehnika instituut (ATI, direktor Margus Kruus) liites ühisesse koostöösse kolm uurimisgruppi, milliste kompetentsideks olid: biosignaalide interpreteerimine meditsiinitehnikas (TM, prof. Ivo Fridolin), missioonikriitilised elektroonsed sardsüsteemid (ELIN, prof. Mart Min) ja elektroonikasüsteemide disain ning diagnostika (ATI, prof. Raimund Ubar).

Keskuse lipukiri kujundas meie uurimistöö fookuseks inimese tervise ja meditsiini toetamise usaldusväärse tehnoloogia abil. Patsient ja doktor on ravitsükliks haaratud tagasisidega, kus oluliseks lüliks on tehnoloogia – mõõte- ja diagnostikaaparatuur, sensorvõrgud ning madala energia-tarbega, kiired, miniatuursed eriprotsessorid signaalitöötamiseks. Seda tagasisidega haaratud süsteemi – „doktor – patsient – tehnoloogia – doktor“ võiksime nimetada esimese taseme „terviseringiks“.



CEBE missioon ja lipukiri „Tervis ruudus“

Tehnoloogia usaldusväärsusest sõltub aga nii arsti poolt antud diagnoosi täpsus kui sellest tulenev patsiendi tervis. Selle usaldusväärsuse ehk „tehnoloogia tervise“ tagamiseks on vajalik omakorda luua veel üks teise taseme „tervisering“ ehk siis täiendav riist ja tarkvara, mis kontrollib, testib, diagnoosib ja vajadusel ka automaatselt parandab doktorit teenindavat aparatuuri selle töös.

Niisuguse kahe tsüklilise teineteisega tihedalt seotud „terviseringi“ loomine ehk siis matemaatilise kujundina „ruutu võetud tervishoiu“ tagamine inimest teenindavates meditsiinisüsteemides tähendaski nii CEBE fookust, missiooni kui ka identiteeti.

### Tippkeskuse tegevuse algus

CEBE sünnilugu jäi aastasse 2008, kui sihtasutus Archimedes Haridus- ja Teadusministeeriumi korraldusel viis läbi konkursi Eesti teaduse tippkeskuste loomiseks. Kokku laekus 24 taotlust, millest valiti välja seitse keskust toetuse saamiseks Euroopa struktuurifondide vahenditest. Üheks õnnelikuks nende seitsme hulgas oli Integreeritud elektroonikasüsteemide ja biomeditsiinitehnika tippkeskus CEBE (Centre for Integrated Electronic Systems and Biomedical Engineering).

Tippkeskuse avamine toimus 18. septembril 2008 TTÜ 90. aastapäeva pidustuste raames, millega ühitati ka esimene CEBE kolme uurimisrühma vaheline teaduskonverents eesmärgiga tutvustada üksteisele oma uurimistöö hiljutisi tulemusi. Ehkki keskuse loomisele oli eelnenud küllaltki konkreetsete eesmärkide seadmine ja ühiste projektide kavandamine, oli see siiski toimunud alles keskuse taotlemise staadiumis ja seetõttu läbi viidud vaid kontseptuaalsel tasandil. Töö käivitamiseks tuli nüüd kiiresti pead kokku panna ja konkreetsete tööplaanid paika seada.



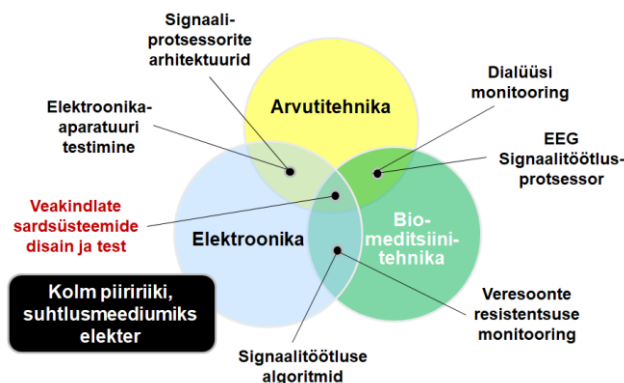
Tippkeskuse CEBE rajamine TTÜ infotehnoloogia teaduskonda lõi nii võimaluse, motivatsiooni kui ka kohustuse ühitada seni eraldi seisnud ja „omaette“ tegutsenud instituutide jõupingutusi rünnata aktuaalseid ja väga olulisi teadusprobleeme nii alus- kui ka rakendusteaduste valdkonnas. Seejuures märksõna „võimalus“ – viitab suurenenud teadmiste ja oskuste kriitilise massile, märksõna „motivatsioon“ – vihjab tõsiste ja tähtsate probleemide lahendamise suuremale tõenäosusele ning märksõna „kohustus“ – viitab vajadusele õigustada teaduse tippkeskuse nime kandmist.

Esmajärjekorras olid sihikule seatud ühendada biomeditsiinitehnika teadlaste biosignaalide interpreteerimise tarkus, elektroonikute uued ideed signaalitötluse algoritmide loomiseks ja arvutitehnika uurijate teadmised eriprotsessorite sünteesi ja veakindluse alal. Oli mitmeidki teisi huvitavaid ideesid, näiteks uurida seda, kas oleks võimalik ühitada bioloogiliste süsteemide ja tehissüsteemide diagnostikameetodeid, otsida neis sarnasusi, mida saaks üldistada, ületades niiviisi täiesti erinevate teadusvaldkondade piire.

## Kolm piiririiki

Kuid ega ei olnudki kerge käivitada ühist koostööd kolme uurimisrühma vahel, kelle senised uurimistöö temaatikad ei omanud peaaegu mingit ühisosa. Oli loodud keskus, kus partnerid uurisid täiesti erinevaid asju – biosignaale, elektroonikat ja arvutisüsteeme – need olid kõik iseseisvad „riigid“, kus räägiti täiesti erinevaid „keeli“, kus nii teadusruumid kui ka teaduskultuuri traditsioonid olid erinevad. Seda ahvatlevamatena tundusid aga eelseisvad piiriületused, kus iga seiklus uude ja võõrasse keskkonda pidi kaasa tooma eksootikat ning põnevust. CEBE kujutas endast ühendriiki, kus eesmärgiks oli saanud põimida kokku elus- ja tehislloodust, analoogelektronikat digitaalsega, disaini ja diagnoosi, sünteesi ja analüüsi.

Biosignaalide, transistoride ja bittide keeled olid küll erinevad, kuid ühendatud osariikides ehk siis uues ühendriigis oli siiski kasutusel „ühisvaluuta“ – elekter, mis vahendas inimrakkude ja -kudedes krüpteeritud põnevuslugusid ühtses meedias.



CEBE partnerite kompetentsid ja uurimisvaldkonnad

CEBE unikaalsus põhines analüüsi ja sünteesi sünergial. Meditsiin diagnoosib elavat loodust - inimest, kuid vajab selleks tehnilisi seadmeid. Et elusloodust analüüsida ja diagnoosida, tuleb niisiis sünteesida tehislloodust – elektroonilisi mõõtesüsteeme. Et niisugused süsteemid töötaksid veatult, tuleb neidki analüüsida ja diagnoosida. Nii me töötasimegi keskuses: Tehnomeedikum analüüsis ja interpreteeris inimese biosignaalidesse peidetud sisu, elektroonikud analüüsisid signaale ja sünteesisid neid algoritmilise

kõnepruuki, arvutitehnika instituudi disainerid analüüsisid algoritme ja sünteesisid neist digitaalarhitektuure, mis aitasid välja arvutada biosignaalide mõistukõne saladusi. Aga neid digitaalsüsteeme tuli omakorda testida ja diagnoosida, et tagada nende töökindlust ja usaldatavust.

Tehismaailm meie ümber toetub arvutitele. Aga vaid tühine osa kogu maailma arvutitest on „universaalsed“ – desktopid ja laptopid. Kõik ülejäänud on rakendusarvutid, mis on kuhugi „ära peidetud“, mida me harilikult ei näe, mis mõõdavad mingeid signaale – rõhku, kiirust, temperatuuri, analüüsivad mõõtetulemusi ja reageerivad signaalidele mingite konkreetsete tegevustega. Need on sardsüsteemid (*embedded systems*). Reaalajas toimuva töö tõttu ei tohi need süsteemid arvutamisel

hilineda – õige tulemus, aga hilja, on vale tulemus. Nad on pisikesed, mobiilsed ja erinõudeks neile on energia kokkuvõtteid.

Keskuse praktilisteks eesmärkideks said missioonikriitiliste sardsüsteemide loomine, madala energiatarbega veakindlate eriprotsessorite ning sensorvõrkude projekteerimine, nende rakendamine infohõiveks ja -töötlemiseks biomeditsiinitehnika valdkonnas ning uute meetodite, algoritmide ja tööriistade väljatöötamine süsteemide disaini ja diagnostika automatiseerimiseks. See on kiiresti arenev valdkond, mis põhineb suurt lisandväärtust ning tootlikkuse kasvu pakkuvatel tehnoloogiatel ja peaks seetõttu olema üks prioriteetsemaid T&A suundi Eestis.

Keskuse partnerid olid üksteisest sõltumatult juba aastaid viljakalt tegutsenud omaenda konkreetsetes valdkondades ja saanud märkimisväärseid teadustulemusi. Samas tahaks ühiskond oma teadlastelt midagi rohkemat kui ainult publikatsioone.

Et näiteks sünniks praktiline rakendus biomeditsiinitehnikas, on lisaks biosignaalist arusaamise oskusele vaja ka tarkust signaalitöötlemiseks ja teadmisi selleks vajaliku aparatuuri ning tarkvara loomiseks. Eeskätt just praktiliste rakendusteni jõudmiseks loodigi kõne all olev keskus, ühendamaks oma teadmisi ja oskusi eri valdkondadest.

CEBE avastas endas kahte tüüpi sünergeetilist ressursi – sissepoole koonduvat ja väljapoole avarduvat. „Sisesünergia“ pidi tähendama läbimurret mingis ühe partneri konkreetsetes valdkonnas koostöö toel teise partneriga mingist teisest valdkonnast. Niisuguseks näiteks sai Tehnomeedikumi poolt väljatöötatud meetod dialüüsravi doosi hindamiseks optilisel meetodil reaalajas ilma vereproove võtmata. Probleemiks osutusid selle meetodi puhul häired optiliste signaalide töötlemisel. Koostöös arvutitehnika instituudiga õnnestus aga üllatuslikult rakendada elektroonikasüsteemide diagnostikas kasutatavaid ideesid bioprotsesside analüüsil, mille tulemusena saavutati mitte üksnes häirete mahasurumine, vaid loodi ka võimalus dialüüsiprotsesside kulgemise täpsemaks prognoosimiseks.

„Välissünergia“ all pidasime aga silmas partnerite kompetentside ühendamist Tehnomeedikumi teoreetiliste tulemuste praktikasse viimiseks konkreetsete rakendustena biomeditsiinitehniliste seadmete väljatöötamise teel, kaasates elektroonikainstituudi kompetentsi signaalitöötluses ja arvutitehnika instituudi teadmisi eriprotsessorite disaini, verifitseerimise ja testimise alal.

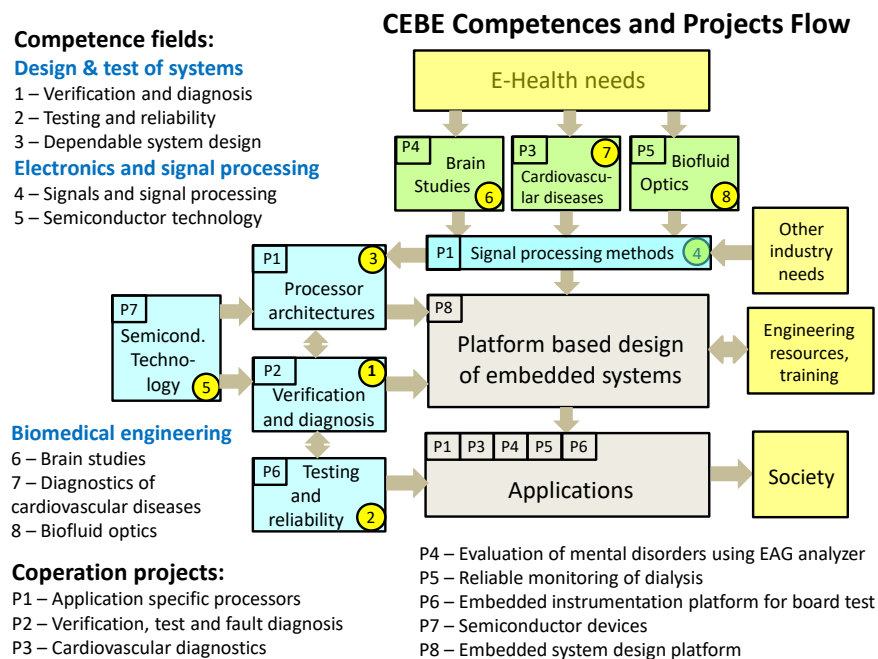
## **CEBE koostööprojektid**

Oma kompetentside ja oskuste ühitamise koordineerimiseks käivitati keskkuses terve rida koostööprojekte, kus igas ühes on kaasa haaratud mitu töörühma kõigi kolme partneri juurest. Pildil esitatud võrkskeem kujutab funktsionaalseid seoseid 3 valdkonda kuuluva 8 uurimisgrupi koos oma erikompetentside ja 8 konkreetse koostööprojekti vahel, mis käivitati omaalgatuslikult kohe keskuse algperioodil, milliste ülesanded aga pidevalt täienesid kooskõlas uute saavutatud tulemustega.

Uurimisgruppideks ja nende juhtideks olid:

1. Verifitseerimine ja diagnostika – Jaan Raik, Raimund Ubar (ATI)
2. Testimine ja töökindlus – Artur Jutman, Maksim Jenihhin (ATI)
3. Usaldatavate süsteemide projekteerimine – Peeter Ellervee, Gert Jervan (ATI)
4. Signaalid ja signaalitöötlus – Mart Min (ELIN)
5. Pooljuhttehnoloogia – Toomas Rang (ELIN)
6. Aju-uuringud – Hiie Hinrikus, Maie Bachmann (TM)
7. Kardiovaskulaarne diagnostika – Kalju Meigas (TM)
8. Biovedelike optika – Ivo Fridolin (TM)

Uurimisgrupid ja projektipõhised töögrupid täienesid jooksva töö käigus mitmete oma väitekirju kaitsnud doktorantidega, kellest erilisel tuleks esile tõsta: M.Jenihhinit, kellest hiljem kujunes dekaaniks siirdunud prof. Jervani asendajana CEBE teadussekretär, Paul Annust, Maie Bachmanni, Sergei Devadzet, Merike Lumani, Kristjan Pilti, Anton Tsertovit jt, kellest arenesid välja vastutustundelised ja initsiatiivikad uurimistöö liidrid. Samuti tuleks esile tõsta keskusesse lisandunud uue välisprofessori Thomas Hollsteini panust projekti P8 juhtimisel.



### *Koostööprojektid kui ilmakaared CEBE kompassil*

Koostööprojektide toetamiseks kasutati keskuse enda vahendeid, aga ka mitmeid muid Euroopa projektide ja rahvuslike ETF grantide vahendeid. Projektide eesmärgiks oli uute, eeskätt praktiliste tulemuste saavutamine, toetudes interdistsiplinaarsest koostööst tulenevale võimalikule sünergiale. Allpool on toodud koostöö projektide loetelu koos juhtide nimedega:

- P1. Rakendus-spetsiifilised protsessorid signaalitöötamiseks (Peeter Ellervee, Mart Min),
- P2. Digitaalsüsteemide diagnostika (Raimund Ubar, Jaan Raik),
- P3. Optilised ja bioimpedantsmeetodid kardiovaskulaarses diagnostikas (Kalju Meigas),
- P4. EEG analüsaator aju-uuringuteks (Maksim Jenihhin, Hiie Hinrikus),
- P5. Neeruasendusravi häirevaba monitooring (Ivo Fridolin),
- P6. Elektroonikasüsteemide testimine (Artur Jutman),
- P7. Pooljuhtseadiste uurimine (Toomas Rang).
- P8. Sardüsteemide projekteerimise platform (Thomas Hollstein).

CEBE koostööprojektide raames läbi viidud teadusuuringud olid fookuseeritud missioonikriitiliste usaldatavate ehk töökindlate sardsüsteemide loomisele. Biomeditsiinitehnika on valdkond, mis esitab kasutatavale tehnoloogiale väga rangeid nõudeid just usaldatavuse ja töökindluse seisukohast. Missioonikriitilisuse nõue on seotud ühelt poolt, süsteemide töökiirusega, mis on oluline reaajas toimuvaks kõrgsageduslike signaalide töötlemiseks ja teiselt poolt, madala energiakuluga, näiteks mobiilsete meditsiiniseadmete puhul. Edukaks tehnoloogiairdeks CEBE uurimisgruppide fundamentaaluuringutelt rakendusse oligi koostöö organiseeritud projektipõhiselt. Iga projekti tegevusvoog kulges suunas, mis algas biosignaalide kogumise ja mõõtmisega TM ning ELIN uurimisgruppides, haaras kaasa signaalitöötusalgoritmide loomise kõikides CEBE töögruppides ning

saavutas kulminatsiooni eriprotsessorite väljatöötamisega ELIN ja ATI uurimisgruppides koos protsessorite verifitseerimise ja testimisprobleemide lahendamiseks ATI kompetentse kasutades.

Iga koostööpartner nendes projektides arendas teooriat ning eksperimenteeris oma valdkonnas, aga rakendas saadud tulemusi ühises koostööprotsessis mingi konkreetse eesmärgi saavutamiseks. Kaudseks stiimuliks oli sünergia otsimine ja saavutamine. Selles protsessis avastaski CEBE endas, uurimistöö kulgedes, kahte tüüpi sünergeetilist ressursi – „sisse koonduvat“ ja „välja avarduvat“ sünergia.

## CEBE teadustulemused

Tippkeskuse CEBE uurimistöö võib klassifitseerida temaatiliselt kolme tehnikateaduste alasse: biomeditsiinitehnika, signaalitöötlus ja usaldusväärsete elektroonikasüsteemide projekteerimine. Uurimistööd on sidunud interdistsiplinaarne haare terviklike lahenduste ja ühtse platvormi näol biomeditsiinitehnika seadmete projekteerimiseks, kus teoreetilised eripärad on leidnud fookuse CEBE praktilistes rakendustes.

**Biomeditsiinitehnika** vallas töötati välja uued optilised meetodid neeruasendusravi kvaliteedi operatiivseks hindamiseks, vererõhu mõõtmiseks, varase ateroskleroosi statistikaks ning aju elektriliste signaalide analüüsiks, et avastada depressiooni ja hinnata aju funktsionaalset seisundit.

**Signaalitöötuse** valdkonda iseloomustavad uued originaalsed meetodid dünaamiliste objektide (töötav südamelihase, kardiovaskulaarsüsteem, hingavad kopsud) omaduste kiireks analüüsiks elektrilise impedantsi (ehk näivtakistuse) mõõtmise abil ning impedants-spektroskoopia rakendused ateroskleroosi varasel avastamisel,

metallisulamite omaduste määramisel (nt võltsmüntide tuvastamine), lihakvaliteedi hindamisel ja mujal. **Elektroonikasüsteemide projekteerimise** alal loodi uusi meetodeid, mudeleid ja tarkvaratööriistu tõstmaks süsteemide usaldusväärsust, verifitseerimise ja diagnostika efektiivsust ning automatiseerimaks keeruliste testprogrammide koostamist, projekteerimisvigade ülesleidmist ja koguni parandamist.



Peeter Ellervee



Diskussioon. Vasakult: Manfred Glesner, Marta Rencz, Raimund Ubar, Rainer Dorsch ja Mart Min

Alljärgnevalt on toodud läbilõige teadustulemustest, mis on saadud CEBE projektide raames interdistsiplinaarses koostöös partnerite vahel.

**Projekt 1.** Rakendusspetsiifiliste protsessorite projekti (P1) tulemusena töötati välja meetodeid bioimpedantsi mõõtmiseks vajalike reaajas töötavate andmekogumis- ja filtreerimisprotsessorite ning signaaligeneraatorite loomiseks. Uurimistöös tuli välja töötada uusi signaalitöötlusalgoritme ning lahendada probleeme sobivaima tasakaalu leidmiseks jõudluse ning ressursinõuete vahel, tagada kõrget mõõtmistäpsust, suurt arvutuskiirust ja minimaalset energiatarvet. Projekti juhtideks olid

**Peeter Ellervee ja Mart Min.**

**Projekt 2.** Süsteemide verifitseerimise ja diagnostika projekti (P2) tulemusena töötati välja uut tüüpi elektroonikaskeemide rikete simulaator, mille töökiirus ületas ligi suurusjärgu võrra olemasolevaid analoogilisi professionaalseid tööriistu, mida kasutatakse elektroonika tipptööstuses. Töötati välja ka uusi ja senistest efektiivsemaid meetodeid digitaalskeemide hübriidseks isetestimiseks ja testide optimeerimiseks, süsteemide verifitseerimiseks ja projekteerimisvigade lokaliseerimiseks. Meetodid realiseeriti uute tarkvaratööriistade loomise näol, mis võimaldavad tõsta elektroonikaskeemide projekteerimise kiirust ja kvaliteeti. Projekti juhtideks olid **Jaan Raik** ja **Raimund Ubar**.



*Jaan Raik ja Maksim Jenihhin*

**Projekt 3.** Kardiovaskulaarse diagnostika projekti (P3) eesmärgiks oli töötada välja kiiretoimelisi meetodeid diagnoosi kvaliteedi tõstmiseks kardioloogias. Töötati välja uus pulsilaine kiiruse ja kuju analüüsil põhinev optiline meetod vererõhu mitteinvasiivseks löögilt-löögile mõõtmiseks, kus põhiideeks on arterite jäikuse mõõtmine, mis võimaldab diagnoosida väga varaseid arteri seina mehhaanilisi muutusi. Tehniliselt oli tegu kompleksse ülesandega mis nõudis erinevate signaalitöötlusvahendite kasutamist optiliste ja elektriliste signaalide ahelates. Ehitati ka terviklik mõõtekompleks arterite erinevate parameetrite uurimiseks nii optilisel- kui ka bioimpedantsmeetodil.



*CEBE konverents. Paremtalt CEBE juhtkomitee liikmed Toomas Rang, Kalju Meigas, Ivo Fridolin*

Uued meetodid ja algoritmid on panus nii rahvusvahelisse teadusse kui tervishoidu, kuna võimaldavad tõsta kardioloogilise meditsiiniteenuse kvaliteeti olukorras, kus südame-veresoonkonna haigused on üks põhilisi surmapõhjuseid nii Eestis kui ka Euroopas. Uus mõõtekompleks läks kasutusse kõrgvererõhku ja diabeeti põdevate patsientide uurimisel Põhja Eesti Regionaalhaiglas. Projekti juhtideks olid **Kalju Meigas** ja **Margus Viigimaa**.

**Projekt 4.** Aju seisundi hindamise projekti (P4) eesmärgiks oli välja töötada portatiivne EEG signaalide analüsaator vaimsete häirete hindamiseks. Projekt viidi läbi kolmes järgus: (1)

EEG signaalide analüüsi algoritmide ja indikaatorite väljatöötamine aju häirete hindamiseks, (2) algoritmide realiseerimine spetsiaalsete signaalitöötlusprotsessorite kujul ja (3) eriotstarbelise portatiivse EEG analüsaatori väljatöötamine. Väljatöötatud spetsiaalne väikesegabariidiline portatiivne ja lihtsalt käsitatav EEG analüsaator võimaldab leida kasutust aju seisundi hindamisel nii kõrge vastutusastmega töötajate (politsei, päästetöötajad, militaartöötajad) kui ka kogu elanikkonna regulaarsel tervisekontrollil.

Projekti tulemuste tähtsust rõhutab see, et kiirenev elutempo on toonud kaasa stressi suurenemise ning aju häirete pideva kasvu. Nii kannatab USA Terviseinstituudi andmetel depressiooni all umbes 5% maailma elanikkonnast ja see arv on viimase 10 aastaga 40 korda suurenenud. Aju häireid avastatakse



Hiie Hinrikus koos CEBE RNK liikme  
Jaakko Malmivuoga

reeglina hilja, kui aset leidnud muutused ajus on juba patsiendi elu kvaliteeti oluliselt kahjustanud. Ajuhäirete varase avastamise võimalus tervise regulaarsel kontrollil, näiteks perearsti juures, praktiliselt puudub. Projekti juhtideks olid **Hiie Hinrikus, Maie Bachman ja Maksim Jenihhin**.

**Projekt 5.** Neeruasendusravi häirevaba monitooringu projekti (P5) eesmärgiks oli dialüüsravi doosi hindamine optilise meetodiga reaalajas ilma vereproove võtmata. Uurimistöö tulemusena töötati välja uused signaalitötlusalgoritmid, mis võimaldavad maksimaalselt stabiilset ja häirevaba dialüüsravi doosi hinnangute saamist dialüüsravi käigus reaalajas optilise monitori abil. Tulemused on võrreldavad traditsiooniliste vereproovide baasil leitud

doosi väärtustega, mistõttu uus meetod võimaldabki ravi käigu jälgimisel loobuda vereproovide võtmisest.

Uus meetod aitab parandada ravi kuluefektiivsust ning võimaldab haigla meditsiinipersonalil otsustada, kas dialüüsi efektiivsus vastab patsiendi kliinilisele seisundile ja neeruasendusravi nõuetele, panustades seega oluliselt nii meditsiiniteadusse kui ka konkreetset personaalse raviteenuse arengusse. Projekti juhtideks olid **Ivo Fridolin ja Raimund Ubar**.



Ivo Fridolin

**Projekt 6.** Elektroonikasüsteemide testimise projekti (P6) eesmärgiks oli töötada välja vahendeid elektroonika trükkplaatide testimiseks ja rikete lokaliseerimiseks. Töötati välja nn. „legoklotsidel“ põhinev uudne testide sünteesi kontseptsioon, kus testprogrammid struktureeritakse arhiveeritavateks šabloonideks (legoklotsideks) ning automaatne testigeneraator sünteesib nendest klotsidest lõpliku testprogrammi, mis kohandatakse automaatselt konkreetse plaadi ja konkreetsete testimiseesmärkidega seatud tingimustele.

Kuna elektroonika trükkplaatide testprogrammide koostamine on olnud tööks, mida seni polnud õnnestunud automatiseerida, siis oli käesolev projekt äärmiselt aktuaalne nii teaduslikus kui ka praktilises mõttes. Kuna käsitsitöö on aeglane ja keerukate süsteemide puhul ka vigaderohke, siis testimisele kuluva aja märgatav vähendamine testide programmeerimise automatiseerimise abil võimaldab elektroonikatoodete turule jõudmise kiirendamist ehk siis olulist eelist tootja-ettevõttele konkureerivate firmade ees. Projekti juhiks oli **Artur Jutman**.

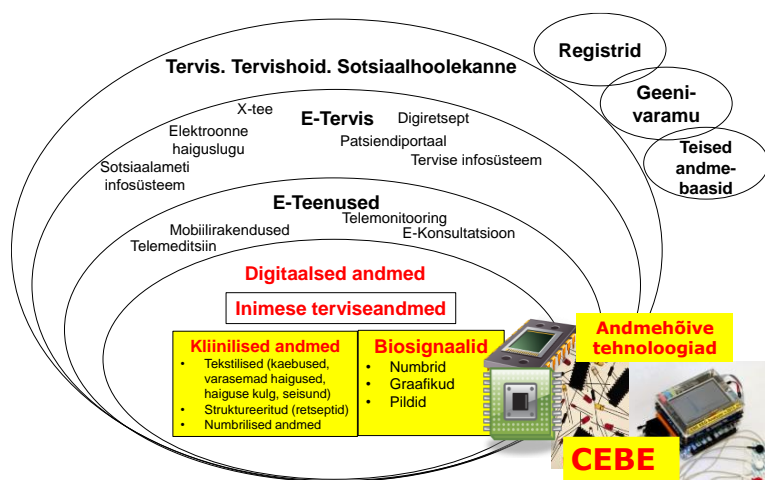


Artur Jutman

## CEBE Eesti-sisesest koostööst

CEBE eripära peaaegu kõigi teiste Eesti 12 teadustippkeskuse hulgas oli olemuslik interdistsiplinaarsus, kus ühendusid biomeditsiinitehnika, elektroonika ja IT-alased kompetentsid Tehnomeedikumist, elektroonika ja arvutitehnika instituutidest. Kõige olulisemaks keskuse interdistsiplinaarseks rakendusvaldkonnaks kujunes tervishoiule suunatud biomeditsiinitehnika, millele esitatakse väga rangeid nõudeid, nagu suur ülisuur täpsus, minimaalne energiatarve ja väga kõrge veakindlus. Siit saigi alguse ka tippkeskuse hüüdlause: „Tervis ruudus“, mis tähendab, et põhiline

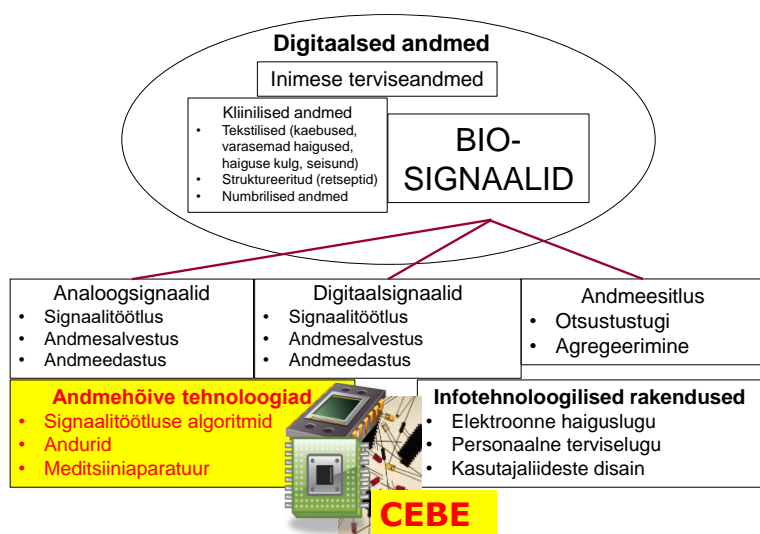




CEBE positsioneerumine Eesti e-Tervise süsteemis

Tervise toeks", kus CEBE tutvustas oma tegevusi ja tulemusi e-Tervise ning personaalmeditsiini võtmes, määratledes end kui konkreetse lisandväärtuse võimalikku allikat praeguse kliinilise meditsiini andme-haldusele kontsentreerunud e-Tervise kontseptsioonile.

Mõttetalgutel kujunes välja ühine arusaam vajadusest luua Eestis terviklik riist- ja tarkvarakeskkond, mille baasil võiks realiseeruda eluvõimeline ja toimiv e-Tervise kontseptsioon, mis eeldaks tihedat koostööd meedikute ja patsientidega töötamiseks välja innovatiivseid e-tervise lahendusi. CEBE positsioneerumist selles kontseptsioonis on illustreeritud kahe skeemiga.



CEBE digitaalsete terviseandmete generaatorina

teadus- ja arendustöö oli CEBEs suunatud ühelt poolt inimese tervisele – selle meditsiiniliseks toetuseks vajaliku aparatuuri loomisele ja teiselt poolt, selle aparatuuri enda „tervise“ ehk usaldusväärsuse tagamisele.

Tänapäevane ja jätkusuutlik tervishoid nõuab kaasaegsete digitaalsete tehnoloogiate ja e-tervise lahenduste rakendamist. Projekti lõpuperioodil organiseeris CEBE Eesti e-Tervise võtmetegijaid kaasa haarates ümarlaua teemal "Tarvilikud tehnikad tervikliku e-

CEBE tegevus TTÜs, aga ka ELIKO's ja viimasega kaasa haaratud Eesti firmades, mis on seotud teadusliku uurimistöö ning seniste rakenduslike tulemustega terviseinfo kogumisel sensorite ja sellele järgneva signaalitöötluse ning signaalide interpreteerimise vallas spetsialiseeritud riistvara abil, omas suurt potentsiaali oluliselt täiendada olemasolevat tehnilist baasi ning vähendada lõhet Eestis olemasolevate tehniliste võimaluste ja nende ära kasutamise vahel.

Elektroonika vallas toimus CEBE koostöö Eesti firmade ja haiglatega peamiselt tehnoloogia arenduskeskuse ELIKO kaudu, mis oli orienteeritud eeskätt rakendus- ja tööstusuuringutele. Vahetuid uuringuid viidi läbi ka otseses koostöös firmadega, nagu näiteks AS Clifton (elektroonika pooljuhtkomponendid) ja OÜ Smartimplant (südamestimulaatorid ja -monitorid ning kudede analüsaatorid).

Biomeditsiinitehnika suunal on arendustöö vältimatuks ja lahutamatuks koostööpartneriteks Eesti haiglad. CEBE oli astunud tihedasse ja tulemuslikku koostöösse Põhja-Eesti Regionaalhaiglaga, mis on suurimaks haiglaks Eestis, ja Ida-Tallinna Keskhaiglaga. CEBE integreeris oma uurimisgruppidesse

meditsiinidoktoreid haiglatest, mis oli oluliseks võtmeks probleemide püstitamisel ja teabesiirdel. Samuti toimus tihe koostöö mitme Eesti spin-off ettevõttega nagu Tensiotrace OÜ ning Optofluid Technologies OÜ. Erialaliitused, kes olid toeks nii valdkonna teadus- kui õppetöös, tuleks mainida Eesti Biomeditsiinitehnika ja Meditsiinifüüsika Ühingu.

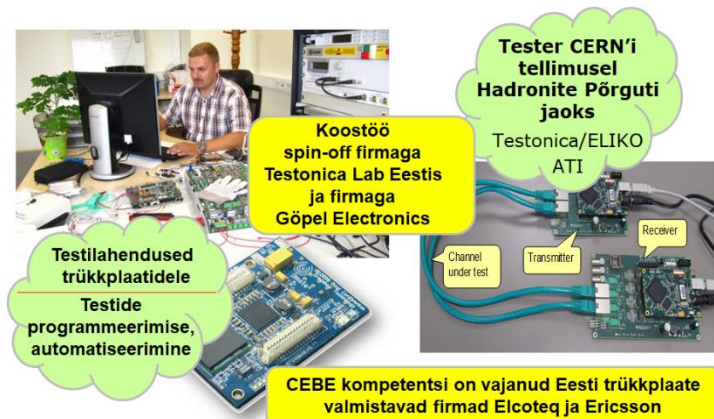
Elektronikasüsteemide usaldatavuse valdkonnas töötas CEBE kogu oma eksistentsi perioodil tihedalt koos TTÜ spin-off firmaga Testonica Lab mitmete koostööprojektide raames nii Eesti kui ka rahvusvahelises mastaabis. Tänapäevaks on firmast saanud maailmas tunnustatud pioneer ja liider automaatsete sardinstrumentide loomisel elektronikasüsteemide testimiseks, mida võib vaadelda ka kui ühte CEBE kaudset tulemust. Testonica klientideks on maailma tööstusliidrid telekommunikatsiooni valdkonnas, auto- ja lennukitööstuses, kaitse- ja töötlevas tööstuses, tarbe- ja meelelahutuselektronika, aga ka fundamentaaluringute valdkonnas (nt. koostöö CERN-iga). Testonica on toodetele orienteeritud firma, kes müüb litsentse oma tööriistadele üle terve maailma strateegilistele partneritele, eeskätt näiteks firmale Goepel Electronic GmbH. Tänu teadusuuringutel põhinevale intellektuaalsele omandile kuulub firma käibest üle 70% kõrgteadusmahukatele toodetele.

CEBE koostöö Testonicaga on toimunud IKT programmi raames Archimedese poolt koordineeritavas projektis FUSETEST. Koostöö ulatus ka TAK ELIKO raamidesse projekti "Test Verification and Diagnosis of Distributed and Embedded Systems" näol. Märkimisväärne sünergia saavutati koostöös doktorantide kasvatamisel, kus mitmed väitekirja teemad formuleeriti Testonica poolt ning firma pakkus doktorantidele ka töökohti.

Aastatel 2011-2013 toimus CEBE koostöö Testonicaga viimase poolt koordineeritud FP7 programmi EUROSTARS raames projektis COMBOARD, mille tulemusena õnnestus luua unikaalne sardinstrumentaariumi tehnoloogia ja viia see uuele kvalitatiivsele tasandile nii efektiivsuse kui ka paindlikkuse mõttes. Aastatel 2010-2012 osales CEBE koos firmaga FP7 projektis DIAMOND, mida koordineeris CEBE teadur **Jaan Raik** ja kus anti märkimisväärne panus uue standardi IJTAG väljatöötamisel ning selle toetamiseks uute diagnostikalahenduste ja tarkvaraliste tööriistade näol. Samuti koordineeris firma hiljuti lõppenud FP7 projekti BASTION, kus üheks partneriks oli CEBE.

Eesti lokaalset majandust silmas pidades, on nii eesti tööstuse poolt toodetavate kui ka imporditud süsteemide töökorras hoidmiseks vaja oskusteavet väga keerulise elektronika testimiseks, rikete diagnostikaks ja parandamiseks, millesse on CEBE nii oma uurimistulemuste kui ka uue kaadri kasvatamise näol andnud märkimisväärse panuse.

CEBE partner Testonica Lab on täna Eestis ainus firma, kes tegeleb infotehnoloogia riistvara – trükkplaatide ja süsteemide – testimiseks vajaliku instrumentaariumi ja tehnoloogia väljatöötamisega ning on oma toodetega jõudnud välja maailmaturule. Arvestades äärmiselt kõrget konkurentsi maailmas selles valdkonnas ja seda, et põhiliselt määravad tehnoloogia arengutrende ning -poliitikat suurfirmad, on Testonica läbimurre ja omaenda nišši leidmine märkimisväärne saavutus. Eelduseks on siin olnud pikaajaline teadusuuringute kogemus koostöös CEBEga, mille rüpes Testonica Lab on arenenud ja kasvanud. Pooled Testonica Lab inseneridest on olnud ühtaegu CEBE doktorandid, mistõttu



teadusuuringud nii CEBEs kui Testonicas toimusidki praktiliselt ühiselt. Sünergial oli kahepoolne effect: CEBE teadusuuringud leidsid ühelt poolt Testonicas kohest rakendust ja teiselt poolt Testonica enda arendustöös esile kerkinud uued probleemid stimuleerisid uurimistöö arengut CEBE ja Testonica koostöös.

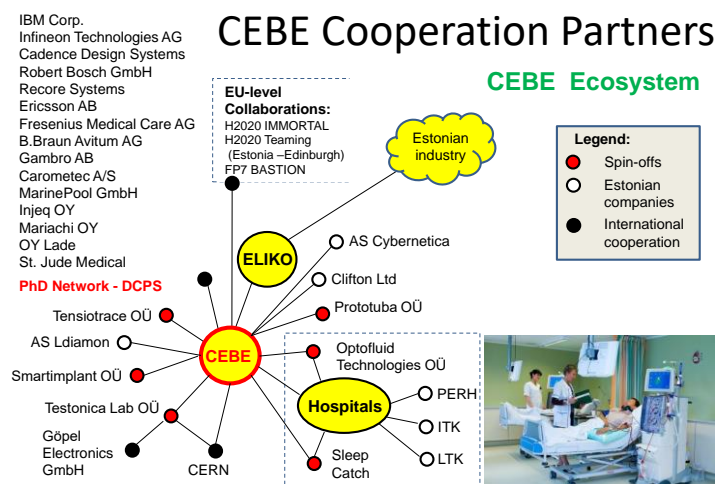
CEBEs viljeldud koostöö Eesti firmadega lõi häid võimalusi interdistsiplinaarseks uurimistööks ja rakendustele suunatud teadusuuringute toetamiseks eesmärgiga arendada innovatiivset teadusmahukat ettevõtlust. Teisest küljest, CEBE ja Testonica Lab koostöö on suurepäraseks näiteks, kus tudengite varane kaasamine reaalse elu inseneriprobleemidesse tuleb kasuks nii tudengite kõrghariduse parandamisel kui ka ettevõtluse enda edendamisel. Ja arvutustehnika testimine, diagnostika ning arvutisüsteemide usaldatavuse tõstmine on alad, mis on eriti praktilised ning insenerlikku mõtlemist arendavad.

## CEBE ökosüsteemi loomine

CEBE visioone kirjeldavaks missiooniks oli arendada teoreetilist baasi ning selle alusel välja töötada ajakohaseid meetodeid missioonikriitiliste süsteemide projekteerimiseks, haarates nii süsteemide arhitektuure, komponente kui ka sensorvõrke ning rakendada saavutatud tulemusi biomeditsiinitehnikas, energeetikas, toiduainetetööstuses ja mujal. Seejuures lähtuti riiklikust strateegiast „Teaduspõhine Eesti 2007-2013“ ja selle jätkust – Eesti teadus- ja arendustegevuse ning innovatsiooni strateegiast 2014–2020 „Teadmistepõhine Eesti“.

CEBE eripäraks oli interdistsiplinaarsus ja eesmärkideks olid ühelt poolt kõrge teadustase oma kompetentsialadel ning teiselt poolt oma kompetentside sünergia kaudu jõuda oluliste rakendusteni. 7-aastase koostööperioodi jooksul saavutati tasakaal teadusrühmade terviklikus konsortsiumis nii laiahaardelise koostöö intensiivsuse kui ka kitsamate suundadega eriuuringute koordineerimisel. CEBE koguväljundit iseloomustas teadustulemuste kõrgetasemeline publitseerimine, intensiivne leiutiste ja avastuste patenteerimine ning kõrge rahvusvaheline renomee, mille selgeks väljenduseks on terve hulga europrojektide koordinaatori staatus programmide FP7 ja Horizon 2020 raames.

Eesti ühiskonna huvide seisukohast sai CEBE eksistentsi kõige märkimisväärsimaks produktiks ökosüsteem keskmega TTÜ-s ehk CEBE-s, mis koosnes nii rahvusvahelisest kui ka kodumaisest koostöövõrgustikust nii akadeemilises kui ka tööstusmaailmas, kus CEBE-l oli õnnestunud praktilisi tulemusi saavutada, ehk siis koostöös ettevõtetega toodeteni jõuda, ja kus erilisel kohal olid kõik need spin-off firmad, mis CEBE rüpes olid sündinud ja tuult tiibade alla saanud.



CEBE ökosüsteem haaras potentsiaalseid koostööpartnereid ettevõtlussfääris tuleviku arenguid silmas pidades ja aitas määratleda CEBE konkreetset nišši ning viidata ka senistele edulugudele ettevõtluse valdkonnas mõistmaks ühtlasi paremini CEBE olulisust ja perspektiivsust Eesti majandusele.

CEBE partneriteks Eestis on olnud 2 kliinikut, 4 haiglat ning kokku rohkem kui 10 firmat.

CEBE ja tema ökosüsteemi rolli formuleerisime järgmiste seoste näol tööstuse ja majandusega nii Eestis kui rahvusvaheliselt kolme sümbolse võtmesõna abil:

- **MADE-BY-ESTONIA** – CEBE teadusloome, uued teadustulemused ja sellega kaasnev teaduse eksport, ehk siis Eestisse toodud rahvusvahelised projektid ja muu koostöö, mis on leidnud rakenduse toodetena välisriikide ettevõtluskeskkonnas
- **MADE-IN-ESTONIA** – teadustulemused, mis on loodud CEBEs ja ühtlasi ka juurutatud tootmisse eesti ettevõtetes (nt. ELIKOs või teistes firmades) või mis on stimuleerinud CEBE tegevuse tulemusena uute spin-off ettevõtete tekkimist
- **WELCOME-TO-ESTONIA** – CEBE kompetents omas valdkonnas, mis on stimuleerinud uute välisfirmade tuleku Eestisse otseselt koostööle kas CEBE-ga või CEBE-st võrsunud firmadega (nt. Ericsson, kes tõi Eestisse oma T&A osakonna) või siis avarduvad uued võimalused CEBE tegevuseks seoses uute firmade, eeskätt tööstusliidrite tulekuga Eestisse (nt. IBM Eesti, XILINX Eesti, Telia-Sonera (ELION+EMT), ELISA, SKYPE it.).

Oma tulevikku nägi tippkeskuse kollektiiv oma seniste tulemuste ja saavutatud kompetentsi panustamises sellesse ökosüsteemi. Väljavõtte CEBE senistest märkimisväärsematest rakendustulemustest, mis võiksid eesti tööstusele tootearenduse aluseks saada, on toodud alljärgnevas tabelis, kus on loetletud CEBEs välja töötatud tooted, CEBE koostöö projektide numbrid, milliste raames vastav uurimistöö on läbi viidud, ja koostööfirmad, milliste vahetel osalemisel kas toimus või oli planeeritud tootmine. Kavas olnud projekt „CEBE - 2“ jäi siiski ellu viimata.

#### CEBE rakendusid:

No	Toote nimetus	CEBE projekt	Koostööfirma
1	Pacemakers	P1	St.Jude Medical(USA)
2	Turbo-Tester CAD tool for logic level test	P2, P6	Licenced in 100+ institutions and 40+ countries
3	Series of signalprocessors	P1, P2	For internal use in CEBE
4	APRICOT Verification&Test Framework	P2	
5	QUADRA <sup>R</sup> – Impedance-spectroscopy measurement equipment	P1	ELIKO, Prototuba OÜ
6	Medical equipment for determining conditions of a biological tissues	P1	SmartImplant OÜ
7	Software for commercial Holter monitor devices	P3	Tensiotrace OÜ, hospital (PERH)
8	EEG Analyzer	P4	Clinical experiments in hospital (PERH)
9	Diasens – Medical equipment for dialysis dose monitoring	P5	AS Ldiamon, hospital (PERH)
10	Optofluid Dialysis Sensor	P5	Optofluid Technologies OÜ , hospitals (PERH, Linköping University Hospital)
11	Microprocessor models for testing	P6	Testonica Lab, Göpel Electronics GmbH (Germany)
12	Embedded instrumentation IPs for testing electronic boards and chips		
13	BERT (Bit-Error-Rate) Tester for CERN		
14	High speed power GaAs structures using the LPE technology	P7	Ioffe Physical-Techn. Institute of Russian Academy of Sciences, Clifton Ltd

Oluliseks võimalikuks rakendusvaldkonnaks Eestis CEBEs väljaarendatud kompetensidele on inimesekeskne tervise- ja tervishoiuteenus, mis hõlmab tervise- ning meditsiinidiagnostika andmete standardiseeritud ja struktureeritud kättesaadavust koos infotehnoloogiliste võimalustega andmeid

koguda, töödelda ja esitada. Teiseks võimalikuks näiteks on elanike personaalne tervise monitooring, mis aitaks ennetada riske tagamaks kõrget elukvaliteeti. CEBE nägi oma potentsiaali lahenduste väljatöötamises, koostöös e-tervise lahenduste kasutajatega, tehnoloogia targaks kasutamiseks, mis aitaks riske varajaselt avastada ning haigeid jälgida, pakkudes personaalseid tervisetehnoloogilisi lahendusi.

CEBE teadlaste poolt saavutatud teadustulemused ja praktilised rakendused koos tehnoloogiasirdega Eesti tööstusse olid panuseks aidata kaasa Eesti tööstuse konkurentsivõime tõstmisele nii toodete turule jõudmise kiirendamise (*time-to-market*) kui ka toodete kvaliteedi ja usaldatavuse suurendamise teel. Mõjutades Eesti tööstuse konkurentsivõimet teadus-arendustöö võimekuse tõstmise abil infotehnoloogias ja biomeditsiinitehnikas on CEBE ühtlasi panustanud Eesti sotsiaal-majanduslike probleemide lahendamisse, mis puudutavad igat eesti kodanikku ja peavad silmas nii tervishoidu, üldist heaolu kui ka infoühiskonda tervikuna.

## Lõpetuseks

Tippkeskuse CEBE juhina tahaksin eriliselt rõhutada seda fantastilist elamust, mille võtsime kaasa sellest seitsmest pingelise aga põneva koostöö aastast. See oli tõeline suur ühiseiklus, mis seisnes üksteise tugevuste kokku panemises ja igasuguse omavahelise konkurentsi puudumises. Suures



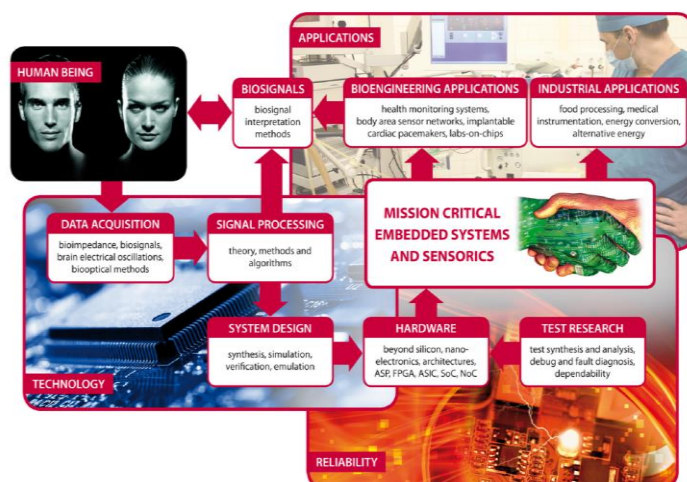
CEBE lõpetamine. Vasakult: Margus Kruus, RNK esimees  
Manfred Glesner, Toomas Rang, Mart Min

üksmees töötas CEBE juhtkomitee. Me poleks paljuski suutnud olla nii edukad oma ideede ja ambitsioonide elluviimises, kui meil poleks olnud meie finantskorralduse juhi Alvari ennastsalgavat organisatoorset tööd ja toetust, kes hoolitses kogu koormava sidepidamise eest administratiivse „välismaailmaga“ ja maandas kõik ebataasused ning mured, mis aeg-ajalt tekkisid aruandluses ja muudes bürokraatia labürintides.

See projekt oli akadeemilise vabaduse positiivse toimimise musternäide, kus me ei

olnud seotud päevakajaliste „pisikeste konkreetsete ülesannete“ täitmisega, vaid meid juhtisid üksnes projekti taotluses üles seatud üldised eesmärgid ja visioonid, mille suunas liikuda. Kitsendused ja ahelad meie „tegevusvabaduses“ tulenesid vaid teiste majja toodud projektidega seotud kohustustest. CEBE vahendid olid selleks, et nende „muude“ kohustuste täitmist toetada ja seejuures lisaväärtust ehk kõrvalefekti luua.

CEBE akadeemiline missioon ja roll seisnesidki selles, et anda teadustööga seotud inimestele võimalust haarata hoopis avarama pilgu ja teoga igat muud uurimistöö ülesannet partnerite projektiportfellides ja nõndaviisi tõsta ühelt poolt nende ülesannete täitmise



CEBE reklaamposter

kvaliteeti, aga teiselt poolt näha neid „väiksemaid“ ülesandeid ka ühe suure katuse all, leida üldistusi ja arendada teooriaid ning jõuda selle kaudu kaalukamate teadustulemusteni kui seda võimaldanuksid üksikud projektid eraldi.

Paraku, teaduses on juba nii, et ühegi üksiku projekti finantsvõimalused ei suuda kunagi katta uurimistöö tegelikke vajadusi, mistõttu püsib ka pidevalt oht CEBE taolise „katuse“ puudumise korral, et üksikutest projektidest võivad kujuneda mitte teaduslikud uurimisaktsioonid, vaid teaduse mõttes väheambitsioonikad tehnilised tellimistööd. Niisugune olukord ülikoolis, kus professori töö peab seisnema selles, et tuua raha ülikooli oma uurimisgrupi ülalpidamiseks tellimustööde kaudu ettevõtlusturult sealsete „päevaülesannete“ täitmiseks, tähendaks koos akadeemilise vabaduse kadumise ja tõelise uudishimul põhineva teadustöö hääbumist.

Kõike ülaltoodut silmas pidades, täitis CEBE väärilt EUROOPA struktuurifondide missiooni, sest 7 aasta jooksul kaitstud 36 doktoritööd, 550 eelretsenseerimisega teadusartiklit, 13 monograafiat, 21 patenti ja 10 patenditaotlust, 17 rakendustoodete prototüüpidega koostöös ettevõtlusega, 6 uut CEBE keskkonnas võrsunud spin-off firmat, 9 maale toodud europrojekti programmide FP6, FP7 ja HORIZON 2020 raames (kogueelarvega peaaegu sama suur kui CEBE toetus struktuurifondidest), milles tervelt 5 projekti koordineerisid CEBE teadlased, koostöö selliste tippfirmadega, nagu IBM, Bosch, Ericsson, Infineon – kõik see kokku räägib CEBE teadlaste kõrgest rahvusvahelisest tunnustusest ning tähendab kaalukat panust mitte üksnes teadusse, vaid ka Eesti majandusse. Üksikasjalisemat ülevaadet CEBE tegevusest ja tulemustest võib leida aadressil <http://cebe.ttu.ee>.

Raimund Ubar

CEBE juht