

Integreeritud elektroonikasüsteemide ja biomeditsiinitehnika tippkeskus CEBE

Juba kolmandat aastat tegutseb meie Rauakoolis üks kooslus, mis pole ei teaduskond, instituut ega õppetool, kus aga ometi uuritakse teadusi ning jagatakse tudengitele teadmisi. Põrandaalune üritus see ei ole. Jutt on ühest Eesti seitsmest teaduse tippkeskusest CEBE (Centre for Integrated Electronic Systems and Biomedical Engineering), mis asub laiali mööda kampust – raamatukogu kõrval Tehnomeedikumis (TM), peamaja II korpuse Johann Seebecki nimelises elektroonika instituudis (ELIN) ja Raja tänaval asuvas IT-maja arvutitehnika instituudis (ATI).

Kolm piiriki, suhtlusmeediumiks - elekter

See on keskus, kus uuritakse biosignaale, elektroonikat ja digitaalsüsteeme – need on iseseisvad riigid, kus räägitakse eri keeli, kus teadusruumid ja kultuuritraditsioonid on erinevad. Seda ahvatlevamad on aga piiriületused, kus iga seiklus uude ja võõrasse keskkonda toob kaasa eksootikat ning põnevust. CEBE – on ühendriik, kus orgaaniliselt põimuvad elus- ja tehislloodus. Biosignaalide, transistoride ja bittide keeled on küll erinevad, kuid osariikidel on ühisvaluuta – elekter, mis vahendab inimrakkude ja -kudede krüpteeritud põnevuslugusid ühtses meedias.

CEBE unikaalsus põhineb analüüsi ja sünteesi sünergial. Meditsiin analüüsib elavat loodust, kuid vajab selleks tehnilisi seadmeid. Et elusloodust analüüsida, tuleb niisiis sünteesida tehislloodust. Nii me töötamegi keskuses: Tehnomeedikum analüüsib ja interpreteerib inimese biosignaalidesse peidetud sisu, elektroonikud analüüsivad signaalide käitumist ja sünteesivad selle algoritmilisse kõnepruuki, arvutitehnika instituudi disainerid analüüsivad algoritme ja sünteesivad neist digitaalarhitektuure, mis aitavad välja arvutada biosignaalide mõistukõne saladusi.

CEBE tegevus on suunatud inimesele ja tema missiooniks on – elukvaliteedi parandamine tehnoloogilise innovatsiooni abil.

Visioonist ja kompassist

Tehismaailm meie ümber toetub arvutitele. Aga kõigest 2% 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 tagasi. Need on sardsüsteemid. Reaalajas toimuva töö tõttu ei tohi nad arvutamisel hilineda – õige tulemus, aga hilja, on vale tulemus. Nad on pisikesed, mobiilsed ja erinõudeks on energia kokkuhoid.

Keskuse visiooniks on 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 automatiseerimiseks. See on kiiresti arenev valdkond, mis põhineb suurt lisandväärtust ning tootlikkuse kasvu pakkuvatel tehnoloogiatel ja on seetõttu üks prioriteetsemaid T&A suundi Eestis.

Keskuse partnerid on 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, ühendati oma teadmised ja oskused eri valdkondadest ning käivitati interdistsiplinaarne koostöö.

Meeskond munsterdas end laevale ja laev on juba lahkunud reidilt ning künnab avamerd. Kaptenisillal tegutseb juhtkomitee, millesse kuuluvad struktuuriüksuste direktorid **Margus Kruus** (ATI), **Kalju Meigas** (TM) ja **Toomas Rang** (ELIN), uurimisgruppide juhid **Ivo Fridolin** (TM), **Mart Min** (ELIN) ja allakirjutanu (ATI), CEBE teadussekretär **Gert Jervan** (ATI) ning „majandusjuht“ **Alvar Kurrel** (ELIN). Kord kuus võtab juhtkomitee vastu otsuseid ja vajadusel muudab laeva kurssi.

Kord aastas tuleb keskusele külla 9-st Euroopa prominentsest teadlasest koosnev Rahvusvaheline Nõukoda, vaatab üle laeva logiraamatu ning aitab justeerida kompassi. Kõige esimesel kohtumisel, kui CEBE oli ennast esitlenud, küsis Nõukoda: „Te olete kolm tugevat meeskonda, aga miks te nimetate ennast keskuseks?“ Sel hetkel meil veel tõepoolest puudus hästitempereeritud koostööplaan. Aga innustatuna sellisest „müksust“, ilmus me logiraamatusse peagi oluline termin – „CEBE koostööprojektid“.

Ilmakaartest kompassil

Oma kompetentside ja oskuste ühitamist koordineeritakse keskuses praegu, kolmandal tööaastal, seitsme koostööprojektiga, kus igas on kaasa haaratud mitu tööühma kõigi kolme partneri juurest. Projektide nimetused määravad seitse ilmakaart CEBE kompassil: (1) rakendus-spetsiifilised protsessorid signaalitöötluks biomeditsiinis, (2) digitaalsüsteemide test ja verifitseerimine, (3) optilised- ja bioimpedantsmeetodid kardiovaskulaarses diagnostikas, (4) EEG analüsaator aju seisundi hindamiseks, (5) neeruasendusravi häireteväba monitooring, (6) elektroonikasüsteemide testimine ja (7) pooljuhtseadiste uurimine.

Iga koostööpartner nendes projektides arendab teooriat ning eksperimenteerib omas valdkonnas, aga rakendab uurimistulemusi ühises koostööprotsessis mingi konkreetse eesmärgi saavutamiseks. Kaudseks stiimuliks on sünergia saavutamine, kus kaks pluss kaks on kindlasti enam kui neli.

CEBE avastas endas kahte tüüpi sünergeetilist ressursi – sissepoole koonduvat ja väljapoole avarduvat.

„Sisesünergia“ tähendab läbimurret mingis ühe partneri konkreetses valdkonnas koostöö toel teise partneriga mingist teisest valdkonnast. Niisuguseks näiteks on projektis (5) Tehnomeedikumi poolt väljatöötatud meetod dialüüsravi doosi hindamiseks optilisel meetodil reaajas ilma vereproove võtmata. Probleemiks osutusid selle meetodi puhul aga häired optiliste signaalide töötlemisel. Koostöös arvutitehnika instituudiga õnnestus üllatuslikult rakendada ühte elektroonikasüsteemide aparatuuri diagnostikas kasutatavat ideed bioprotsesside analüüsil, mille tulemusena saavutati mitte üksnes häirete mahasurumine, vaid loodi ka võimalus dialüüsi protsesside kulgemise täpsemaks prognoosimiseks.

„Välissünergia“ all mõtleme üksteise kompetentside ühendamist Tehnomeedikumi teoreetiliste tulemuste praktikasse viimiseks konkreetsete rakendustena biomeditsiinitehniliste seadmete väljatöötamise teel, kaasates Elektroonikainstituudi kompetentsi signaalitöötluks ja Arvutitehnika instituudi teadmisi eriprotsessorite disaini, verifitseerimise ja testimise alal.

Allpool järgnev on lühiülevaade teoksil olevatest projektidest, nende eesmärkidest, probleemide kirjeldustest ja juba saavutatud tulemustest.

Algoritmidest arhitektuurideni (1)

Rakendusspetsiifiliste protsessorite projekti eesmärgiks on bio-impedantsi mõõtmisel vajaliku reaajas töötava andmete kogumis- ja filtreerimisprotsessorite ning sobivate signaaligeneraatorite loomine.

Biomeditsiinis kasutatakse organite ja kudede omaduste mõõtmiseks biosignaalide abil paljudel juhtudel mitmekanalilisi andmekogumisseadmeid. Kasulik info on üldjuhul maskeeritud keha või organi üldtegevusena tekkivate muude signaalide poolt, mis konkreetse mõõtmise puhul tähendab müra. Näiteks võib tuua südametegevust iseloomustavate signaalidega kaasneva hingamistegevuse signaale.

Bio-impedantsi mõõtmine on üks viis organi/koe omaduste hindamiseks, mille puhul õnnestub vältida mainitud kõrvalmüra. Meetodi olemuseks on kudede takistuse mõõtmine erinevatel sagedustel, mis lubab hinnata nii rakkude kui ka rakkudevahelise vedeliku seisukorda. Mitme elektroodi kasutamine mõõtmisel lubab saada mõõtetulemusi keha/organi erinevate osade kohta, mis omakorda lubab hinnata erinevaid talitusi - südame tööd, vere seisundit, lihaste jt. kudede olukorda.

Bio-impedantsi efektiivseks mõõtmiseks on vaja kasutada mitmeid mõõtepunkte ja väga kõrgeid töösagedusi. Sellest johtuv kõrge mõõtmisagedus esitab kõrgeid nõudeid signaalitöötlusele, mis vähemalt osaliselt tuleb teostada reaajas ja kohapeal. Probleemiks on signaalitöötlus-algoritmist lähtudes valida sobivaim tasakaal jõudluse ja ressursinõude vahel. Arvesse tuleb võtta ka piiranguid – mõõtmistäpsust, energiatarvet ja mobiilsustingimust (seade võib olla kantav).

Prof. **Mart Mini** (ELIN) juhtimisel on välja töötatud originaalsed meetodid ja signaalitöötlus-algoritmid dünaamiliste objektide omaduste kiireks analüüsiks laias sagedusribas elektrilise impedantsi mõõtmise kaudu. Niisuguste objektide hulka kuuluvad rakud ja rakukultuurid kiire läbivusega miniatüürsetes kiiplaborites, töötav südamelihas, pulseeruv kardiovaskulaarsüsteem, hingavad kopsud. Impedants-spektroskoopiat on rakendatud nii meditsiinis, näiteks ateroskleroosi varajasel avastamisel, kui ka tehnilises diagnostikas, näiteks euromüntide valmistamiseks kasutatavate metallisulamite vastavuse määramisel.

Projekti lähima eesmärgina tuleb välja selgitada sobivaim tasakaal eel- ja järeltöötamise keerukuse ja paindlikkuse vahel.

Koostöös ATI teaduritega prof. **Peeter Ellervee** juhtimisel on väljatöötatud impedantsi mõõtmisel kasutatavate signaalitöötlusalgoritmide mitmeid realiseerimise efektiivsete eriprotsessorite näol, millised minimaalse tarbitava energiakulu juures tagavad arvutusprotsessi maksimaalse kiiruse. On loodud konfigureeritav eelprotsessor bioimpedantsi mõõtmiseks, mis lubab kasutada pseudojuhuslikku võendamist (loe: mõõtmist) vähendamaks nn. alias-efekti (ehk üldisemalt moonutusi). Välja on valitud ühine platvorm prototüüpide realiseerimiseks (Altium NanoBoard). Koostöös teiste projektidega on valminud signaalitöötluses vajalike virtuaalkomponentide esimesed versioonid.

Projekti panusena rahvusvahelisse teadusesse tuleks lugeda metoodikat ja tarkvaravahendeid rakendus-spetsiifiliste signaalitöötlus-protsessorite projekteerimiseks, mis lähtub mitte ainult signaalitöötlus-algoritmist vaid ka jõudlusest, täpsusest, energiatarbest, mobiilsusest.

Sünergeetiline üllatus (2)

Digitaalsüsteemide verifitseerimise ja diagnostika projekti eesmärgiks on töötada välja töökindlate ja usaldusväärsete süsteemide projekteerimiseks vajalikke meetodeid ja tarkvaratööriistu ning rakendada neid CEBE raames loodavate seadmete loomisel. Projekti juhivad vanemteadur **Jaan Raik** ja allakirjutanu.

Mikroelektronika areneb kiiremini kui jõuame sellest arengust praktilist kasu saada. See on põhjustanud omapärase kriisi mikroelektronika süsteemide loomisel, mis seisneb selles, et süsteemide projekteerimisjõudlus on tehnoloogia võimalustest kaugele maha jäänud. Samas peitub igas kriisis uue arengu revolutsiooniline hüpe ehk siis Th. Kuhn'i järgi - uue paradigma algus. Uuteks paradigmuutusteks mikroelektronikas on: kiipsüsteemid, kiipvõrgud, multi- ja paljutuumalised protsessorkiibid, 3-D kiibid jne. Nende hüpete varjus on aga jõudu kogumas uus kriis, mis on seotud süsteemide töökindlusega ehk siis niisuguste probleemide lahendamise, nagu mikroelektronika

süsteemide testide automaatne süntees, rikete analüüs ja diagnostika. Vigade avastamise ja parandamise ehk silumise maksumuseks kulub praegu teadaolevalt ca 50-70% kogu kiibi projekteerimistsükli maksumusest. Samas on olukord halvenemaski, sest tehnoloogia on jõudnud detailide mõõtetes nanomeetrite piirkonda, mis tähendab uut tüüpi reaalsete defektide tekkimist, mida on üha raskem arvesse võtta süsteemide testimisel ja töökindluse tagamisel. See on valdkond, kus ATI teeb aktiivset uurimistööd. Rikete diagnostika ja elektroonikaseadmete silumisprotsessi (*debug*) automatiseerimine võimaldab projekteerimise kulusid oluliselt kokku hoida.

ATIs on välja töötatud ülikiire rikete simuleerimise tarkvara, mis ületab jõudluselt elektroonikatööstuses praegu kasutatavaid simulaatoreid. Tarkvara põhineb uudsel rikete simuleerimise meetodil, kus raskuspunkt on viidud skeemi topoloogia eelanalüüsile, mis võimaldab konstrueerida väga efektiivse mudeli. Ometi avastati, et uut tüüpi mudel ei ole mitte alati piisavalt efektiivne. Ja nüüd avalduski oodatud „sisesünergia“ kahe ATI töögrupi vahel, mis võimaldas välja selgitada, miks ei ole simuleerimismudel mitte igakord efektiivne. Oli vaja disainerite ja testijate koostööd, et selgitada välja kriitiline topoloogia omadus, mis tegi „ninanipsu“ simulaatorile. Nüüd sai aga ühtlasi ka selgeks, mida tuleb edasi teha, et simulaator võistluses konkurentidega ka halvimatel tingimustel peale jääks.

Projekti (2) raames toimivas uurimistöös on lisaks kirjeldatud tulemustele töötatud välja rida muid uusi meetodeid ja tarkvaratööriistu digitaalskeemide ja -süsteemide diagnostika valdkonnas. Uued tööriistad võimaldavad tõsta sardsüsteemide projekteerimise kiirust ja süsteemide kvaliteeti ning usaldatavust, mis annab võimaluse konkureerida rahvusvahelisel disainitarkvara turul. aga samuti ka tõsta konkurentsivõimet uut tüüpi sardsüsteemide tootmisel ja rakendamisel.

Optika ja elektri koostöö (3)

Kardiovaskulaarse diagnostika projekti eesmärgiks on töötada välja uued efektiivsed ja kiiretoimelised meetodid ning algoritmid tõstmaks diagnoosi kvaliteeti kardioloogias. Meetodite uudsuseks on arterite parameetrite kombineeritud ja mitteinvasiivne mõõtmine, kasutades paralleelselt nii optilist kui elektrilist aparatuuri. Uurimistöö toimub TM professorite **Kalju Meigas**, **Jüri Kaik** ja **Margus Viigimaa** juhtimise all, kellest kaks viimast on ühtlasi praktiseerivad arstid.

Ateroskleroos on enim varajast surma põhjustav patoloogia. Näiteks USAs loetakse äkksurmade arvuks päevas 1500, Euroopas koguni – 3000. Seejuures Eesti kuulub kõrgeima südame-veresoonkonna haiguste suremusega riikide hulka Euroopas. Vältida ateroskleroosi tüsistusi on seega eluliselt tähtis, ehk siis mida varem haigus avastada, seda pikem ja täisväärtuslikum elu ootab patsienti ees.

Väljatöötatavad meetodid põhinevad arterite jäikuse mõõtmisel ja võimaldavad diagnoosida väga varaseid arteri seina mehhaanilisi muutusi. Veresoonte seinte jäikus on aga iseloomulik enamikule kardioloogilistele probleemidele ja on üheks ateroskleroosi riskifaktoriks. Pulsilaine leviku kiiruse ja augmentatsiooniindeksi muutused viitavad ateroskleroosist tingitud veresoonte struktuurasetele muutustele.

Mitteinvasiivne perifeerne veresoonte resistentsuse monitooring on oluline mitmete südamehaiguste korral (eriti kõrgvererõhutõbi ja südamepuudulikkus) patsiendi seisundi kindlaks tegemisel ja ravi juhtimisel. Tehniliselt on tegemist kompleksse ülesandega mis põhineb ühelt poolt arterite jäikuse optilisel mõõtmisel pulsilaine levimiskiiruse kaudu ja teisalt südame minutimahu mõõtmisel kasutades elektrilist impedantsmeetodit. Pannes oskuslikult kokku optilise ja elektrilise meetodi, on eesmärgiks välja töötada liitandur, millega saaks hinnata arterite mehhaanilisi parameetreid ja nende ajalist muutumist. Lahendamist vajav probleem on seotud signaalimüradega, mis eeldab uute efektiivsemate signaalitöötlusprotsessorite loomist. Täiustades sellist liitandurit infotehnoloogiliste lahendustega, oleks võimalik teostada patsientide pikaajalisi uuringuid koos uuringutulemuste automaatse salvestamise ja töötlemisega.

Senise töö tulemusena on välja töötatud pulsiline kiiruse ja kuju analüüsil põhinev optiline meetod vererõhu mitteinvasiivseks löögilt-löögile mõõtmiseks ning on ehitatud mõõtekompleks arterite erinevate parameetrite uurimiseks nii optilisel- kui ka bioimpedantsmeetodil. Mõõtekompleksi on kasutatud kõrgvererõhku ja diabeeti põdevate patsientide uurimiseks Põhja Eesti Regionaalhaiglas.

Uued meetodid ja algoritmid on panus nii rahvusvahelisse teadusse kui tervishoidu. Need võimaldavad tõsta kardioloogilise meditsiiniteenuse kvaliteeti olukorras, kus südame-veresoonkonna haigused on üks põhilisi surmapõhjuseid nii Eestis kui ka mujal maailmas.

Depressiooni matemaatika (4)

Aju seisundi hindamise projekt põhineb prof. **Hiie Hinrikuse** (TM) juhtimisel ajusignaalide uurimisvaldkonnas välja töötatud spektraalse asümmeeria indeksi (SASI) meetodil, mida saab kasutada depressiooni avastamiseks. Meetod on realiseeritud vanemteadur **Maksim Jenihhini** (ATI) juhtimisel valmistatud portatiivse EEG analüsaatori prototüübina.

Kiirenev elutempo ühiskonnas ja elanikkonna vananemine toovad kaasa stressi suurenemise ja aju vaimsete ning funktsionaalsete häirete kasvu. Nii kannatab NIH (National Institute of Health, USA) andmeil ainuüksi sügava depressiooni all umbes 340 miljonit inimest (5% maailma elanikkonnast) ja see arv on viimase 10 aastaga 40 korda (!) suurenenud. Nii aju degeneratiivsed kui vaimsed häired avastatakse reeglina hilja, kui aset leidnud muutused on juba patsiendi elu kvaliteeti oluliselt kahjustanud. Ravi sel juhul on pikaajaline ja tihti vähe tulemuslik. Ajuhäirete varase avastamise võimalus tervise regulaarsel kontrollil, näiteks perearsti juures, praktiliselt puudub.

Aju funktsionaalseteks uuringuteks on kaasajal olemas vaid suhteliselt kaudsed meetodid. Pildidiagnostika meetodid nagu funktsionaalne magnetresonantskuvamine (fMRI), positronemissioontomografia (PET) ja mõned teised annavad teavet ainevahetusest, vere või kindlate molekulide suhtelisest jaotusest ajus. Need meetodid on kallid ja kasutatavad vaid tõsiste meditsiiniliste näidustuste puhul. Elektro- ja magnetentsefalograafia (EEG ja MEG) registreerivad aju elektri- või magnetvälju, mis kirjeldavad aju bioelektromagnetilist aktiivsust ja infotöötlust ajus. Kõige kättesaadavam nii lihtsuselt kui hinna poolest on EEG, mis kindlustab mitte halvema sagedusliku eraldusvõime kui MEG, kuigi halvema ruumilise eristuse MEG ja pildidiagnostika meetoditega võrreldes. Kuna infotöötlus ajus põhineb peamiselt elektrilistel protsessidel ja aju seisundi muutused ei ole seotud ainult üksikute kolletega, on just EEG sobiv aju töövõime hindamiseks tervise regulaarsel kontrollimisel.

Vaimse häire poolt tekitatud EEG muutuste uuringuid alustati koostöös CEBE ja Põhja-Eesti Regionaalhaigla vahel. Läbiviidud uuringute tulemusena jõuti järeldusele, et depressioon tingib muutusi EEG spektraalses tasakaalus, mida võib iseloomustada nn. spektraalse asümmeeria indeksiga (SASI) aju seisundi hindamiseks. Väljatöötatud SASI-põhine meetod võimaldab indeksi arvulise väärtuse järgi eristada terveid inimesi depressiooni all kannatavatest.

Projekti käigus realiseeriti SASI arvutamise algoritm spetsiaalse signaalprotsessorina FPGA tehnoloogia baasil. Protsessor tagab väljatöötatavas EEG analüsaatoris SASI arvutuse reaalajas. Meetodi eeliseks rakendatavuse seisukohalt on võimalus kasutada ainult ühte EEG kanalit.

Täiendavad uuringud ning teadaolevad suundumused lubavad oodata, et väljatöötatud SASI indeks võib olla kasutatav ka teiste, depressioonist erinevate aju häirete puhul. Kavas on edasine SASI modifitseerimine mitmete ajuhäirete leidmiseks. Portatiivne ja lihtsalt käsitletav EEG analüsaator võib leida kasutamist aju seisundi hindamisel nii kõrge vastutusastmega töötajate (politsei, päästetöötajad, militaartöötajad) puhul kui ka elanikkonna regulaarsel tervisekontrollil.

Dialüüsravi vereproovideta (5)

Neeruasendusravi häiretevaba monitooringu projektile pani aluse prof. **Ivo Fridolini** juhtimisel väljatöötatud dialüüsravi doosi hindamise reaajas toimuv optiline meetod, mis ei vaja vereproovide võtmist. Projekti eesmärgiks on välja töötada signaalitöötlusalgoritmid, mis võimaldaksid maksimaalselt stabiilset ja häiretevaba dialüüsravi doosi hinnangut ravi käigus optilise monitori abil. Tulemused peaksid olema võrreldavad traditsiooniliste vereproovide baasil leitud doosi väärtustega.

Optilise dialüüsi monitooring on seotud mitmesuguste mõõtehäiretega, mille põhjusteks võivad olla õhumullid mõõtesüsteemis, verevoolu ja dialüsaadivoolu kiiruse muutumine, fistula ebaefektiivne funktsioneerimine jne. Häiretest vabanemiseks on koostöös ATI-ga välja töötatud algoritmid, mis detekteerivad, arvestavad ja parandavad reaajas mõõdetud signaali mittesoovitavatest kõikumistest tingitud hälbeid. Selle tulemusena on dialüüsravi doosi hindamine dialüüsravi käigus optilise monitori abil stabiilsem ja häirekindlam. Arendamisel on meetodi edasiarendused, mis võimaldavad ennustada dialüüsravi doosi võimalikult vara peale ravisessiooni algust ning hinnata ureemiliste toksiinide elimineerimise kiirust.

Kahe uurimirühma koostööna saavutatud huvitav ja ootamatu tulemus seisneb omapärases sünergias, kus elusorganismis toimuvate protsesside diagnoosiks, ehk siis dialüüsi protsessi jooksva info analüüsiks kasutatavate algoritmide väljatöötamisel võeti aluseks hoopis teises valdkonnas – tehniliste süsteemide riistvara diagnostikas kasutatavaid diagnostika kontseptsioone.

Uued meetodid tagavad stabiilse ja häirekindla reaajas toimuva monitooringu, võimaldades pidevat dialüüsi adekvaatsuse näitajate määramist igal patsiendil üksnes dialüsaadi põhjal, ilma vereanalüüsides võtmiseta, neeruasendusravi kvaliteedi hindamiseks. Kokkuvõttes aitab see parandada raviteenuse kuluefektiivsust. Meetodi rakendamine võimaldab haigla meditsiinipersonalil otsustada, kas dialüüsi efektiivsus vastab patsiendi kliinilisele seisundile ja neeruasendusravi nõuetele panustades personaalse raviteenuse arengusse.

Legoklotsidest tehisintelligents (6)

Elektroonika trükkplaatide testimise projekti eesmärgiks on leida oma konkreetne nišš ja efektiivselt osaleda paradigmavahetuses, kus senine väliste testsüsteemide kasutamine asendub süsteemide isetestimisega. Elektroonikaplaatide testprogramme koostatakse traditsiooniliselt käsitsi. CEBEs on aga loomisel meetodika ja tarkvara, mis esmakordselt võimaldab seda tööd automatiseerida ja mis oleks äärmiselt vajalik lahendus elektroonikatööstuses. Nimetatud uurimistöö toimub koostöös firmaga Göpel Electronic GmbH Saksamaal, ühe maailma tuntuima ettevõttega antud valdkonnas.

Elektroonika trükkplaatide valmistamisega kaasnevad tüüpiliselt montaazhivead ja rikked komponentide ühendustel. Samas on välised testimisvahendid väga kallid ja amortiseeruvad tehnoloogia ülikiire arengu tõttu kiiresti. Seetõttu on üha rohkem levimas süsteemide nn. isetestimise põhimõte nii mikrokiipides kui ka montaazhplaatidel, mida soodustab mikroprotsessorite või -kontrollerite olemasolu testitavas objektis, aga samuti ka FPGA tehnoloogia rekonfigureeritavuse võimalused. Keerukate paljukihiliste plaatide kasutamine ja montaazhitiheduse kasv suurendavad küll kasutatavaid funktsionaalseid võimalusi, aga teiselt poolt mõjuvad negatiivselt kaasaegsete elektroonikasüsteemide töökindlusele ja raskendavad testimist. Elektroonikatööstus on astumas uude ajastusse, kus senised testimismeetodid, mis põhinevad staatilisel tehnoloogial (nt. Boundary Scan standard), on kaotamas oma võimekust. Samas puuduvad täna nende asendamiseks alternatiivid

CEBEs läbiviidava töö teoreetiliseks aluseks on kõrgtaseme otsustusdiagrammide teooria arendamine ja kasutamine elektroonikaplaatide testide programmeerimise üsna keeruka intellektuaalse protsessi automatiseerimiseks. Vanemteadur **Artur Jutmani** ja allkirjutanu juhtimisel on väljatöötamisel nn. „legoklotsidel“ põhinev uudne testprogrammide sünteesi kontseptsioon, kus tüüpiline testprogramm struktureeritakse arhiveeritavateks ja parametrizeeritavateks šabloonideks (nn. legoklotsideks) ning

automaatne testide generaator sünteesib šabloonidest lõpliku testprogrammi, mis kohandatakse automaatselt konkreetse plaadi ja konkreetsete testimiseesmärkidega seatud tingimustele. Uut testide sünteesi metodoloogiat rakendatakse CEBEs väljatöötatavate sardsüsteemide testimisel.

Kuna elektroonika trükkplaatide testprogrammide koostamine on valdkond, mida seni pole õnnestunud automatiseerida, siis on 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 (*time-to-market*) ehk siis olulist eelist tootja-ettevõttele konkureerivate firmade ees.

Energiamuundurite kiiruse saladus (7)

Pooljuhtseadiste projektis viiakse prof. Toomas Rangi (ELIN) juhtimisel läbi pooljuhtide füüsika alaseid rakenduslikke uuringuid galliumarseniidi (GaAs) ja ränikarbiidi (SiC) tehnoloogiatel põhinevate jõuseadiste karakteristikute hindamiseks, seadiste rakendamiseks kiiretoimelistes energiamuundurites ja uute prototüüpide loomiseks.

Uurimistöö eesmärkideks on Schottky diodide epitaksiaalkihi kontaktialuses üleminekuualas asuvate lisandiaatomite energeetiliste nivooade karakteriseerimine nn. Deep Level Transient Spektroskoopia (DLTS) meetodi abil ja sobiva tehnoloogilise spetsifikatsiooni leidmine realiseerimaks SiC polütüüpseid heterosiirdeid, kasutades pooljuhtplaatide ühendamist difusioonkeevituse meetodiga.

DLTS kuulub mahtvuslike meetodite klassi uurimaks pooljuhtmaterjalides olevate energeetiliste lõksude olemasolu ja omadusi. Eksperimentide tulemusena saadakse infot nii lõksude asukoha kui ka jaotuse kohta. Käesolevate uuringute läbiviimise põhjuseks on asjaolu, et nii sügavate kui ka vahepealsete (intermediate) lõksude tekke, käitumise ning selle käitumise mõju kohta olemasolev info ja arusaamad on ülimalt puudulikud. Eksperimentaalsed katsekemproovid pärinevad firmast Clifton AS, milline valmistab LPE tehnoloogias p-i-n struktuure jõudiodide tarbeks ja SiC JBS struktuurid, mis pärinevad Joffe Elektrotehnika Instituudi Pooljuhtseadiste laborist (Sankt-Peterburg), ja kus lõplik metallisatsioon on tehtud ELIN uurimisgrupi poolt.

Väljatöötatud uudne polütüüpsete siirete esilekutsumise tehnoloogia laiendab uute pooljuhtseadiste skaalat. Heterosiirete kasutamise läbi on võimalik tõsta MOS jõutransistoride kiiretoimelisust kuni suurusjärgu võrra, samuti on võimalik suurendada spetsiifiliste UV andurite tundlikkust.

Nagu teiste ülalpool loetletud CEBE projektide puhul, on ka siin koostöö väljunud keskuse raamidest. TTÜs on uuringutesse haaratud elektriainete ja jõuelektroonika instituut.

Numbreid CEBEst

Keskuse eksisteerimise vältel on partnerid osalenud kokku 12 rahvusvahelises projektis. Hetkel koordineeritakse kahte FP7 europrojekti DIAMOND (**Jaan Raik**), kus partneriteks on tipp-tööstusfirmad IBM ja Ericsson, ning CREDES (**Gert Jervan**). Kolmandaks FP7 europrojekti, kus CEBE osaleb, on SafeMetal. Käivitumas on projekt programmi EUREKA-EUROSTAR raames. CEBE on tihedas koostöös rohkem kui 15 firmaga Euroopas ja USAs, s.h. IBM, Ericsson, St.Jude Medical jt. ning 10 Eesti firma ja haiglagaga. Südamestimulaatorite valdkonnas on CEBE uurijate poolt prof. **Mart Mini** juhtimisel saadud tulemusi juurutamas firma St.Jude Medical Estonia. Koostöös Kardioloogia Instituudi polikliinikuga on südamehaiguste alastes uuringutesse kaasatud 3000 patsienti aastas. Koostöös spin-off firmaga Testonica Lab Eestis ja Saksamaa firmaga Göpel on turule jõudnud kaks uut produkti trükkplaatide testi automatiseerimise vallas.

CEBE teadustulemusi on publitseeritud viimase kolme aasta jooksul rohkem kui 80-s ajakirjaartiklis ning 160-s konverentsi täisartiklis, valminud on kuus monograafiat. Tulemuste rakenduslikkust iseloomustab rohkem kui 15 avaldatud patenditaotlust või saadud patenti, mis annab kindluse innovatiivse koostöö jätkusuutlikkuse suhtes nii Eesti kui rahvusvahelise tööstusega. Keskuse uurimistöös osalevad edukalt doktorandid, kahe aasta jooksul on kaitstud 9 väitekirja.

Eriliselt väärib esile tõstmist Eesti tehnikateaduste tänavuse aastapreemia määramine CEBE ühele liidrile prof. Mart Minile, kes on esitatud ka Euroopa Parlamendi presidendi juhitava žürii poolt kolme nominendi hulka kategoorias „Research“ aunimetuse „Euroopa Leiutaja 2011“ saamiseks.

Keskuse eelarve on ühtlaselt kaetud kolme tuluallikaga: 30% EL struktuurifondidest, 31% europrojektidest ja 32% sihtfinantseerimisest. Uurimistöös osaleb 44 õppejõudu ja teadurit ning 56 doktoranti. Keskuse tegemisi kajastavad kord aastas ilmuv Uudiskiri ja kodulehekülj veebis <http://cebe.ttu.ee>.

Kokkuvõtteks

CEBE finantseerimise aluseks on „Riikliku struktuurivahendite kasutamise strateegia 2007–2013“ rakenduskava „Majanduskeskkonna arendamine“ prioriteetse suuna „Eesti teadus- ja arendustegevuse konkurentsivõime tugevdamine teadusprogrammide ja kõrgkoolide ning teadusasutuste kaasajastamise kaudu“ meede „Teaduse tippkeskuste arendamine“.

Lähtudes nimetatud meetme otsestest ja kaudsetest eesmärkidest, on CEBEle esitatud väljakutse suur: ühtaegu tuleb anda panus nii Eesti majanduskeskkonna arendamisse kui ka T&A konkurentsivõime tugevdamisse. Tuleb teenida kahte jumalat – olla väljapaistev nii tippteaduses kui ka tulemuste elluviimisel. Teiste sõnadega, tuleb ühtaegu konkureerida võrdsetel alustel nii looduseuurijatega, keda ei survesta teadustulemuste otsene rakendatavus, kui ka ettevõtlusega majandusturul, mis mureseb kasumi aga mitte teadusmahukuse pärast. Seega tipp tulemus teaduses ei tähendagi tehnikateadlasele veel edu garantiid.

Hoolimata paradoksist on väljakutse vastu võetud. Enesekindluse annab CEBEle meeskonna mitmekülgsus ning üksteise kompetentside vastastikkune täiendamine tervikuks. Tähtis on see, et CEBE sihtobjektiks on inimene ja tema tervis. Sardüsteemid on aga valdkond, kus Eesti võiks reaalselt rajada suurt lisandväärtust andva teadusmahuka tööstuse – meditsiinitehnika, targad elektroonikaseadmed, arvutustehnika leidlik rakendamine. Määravaks selles valdkonnas on teadmised ja seetõttu areneks siin kiiresti välja majanduse edukust kindlustav kahepoolne ühiskondlik tellimus – tööstuselt teadusmahukad probleemid teadlastele ja teaduselt rakendusküpsed ideed ning -lahendused tööstusele. Selle tellimuse kaasproduktiks oleksid ülikooliõppe läbinud ja sama-aegselt tööstuse ja ülikoolivahelises tellimussuhtlemises küpsuse saavutanud noored insenerid.

Autor tänab käesoleva artikli heaks esitatud kaastöö eest oma kolleege keskusest.

Raimund Ubar

CEBE juht

