

*Teaduspreemia pikaajalise tulemusliku teadus-
ja arendustöö eest*

Jakob Kübarsepp



Foto: Birgit Püve

KULUMISKINDLUS KESTLIKKUST SUURENDAMAS

Valik põhimõteteid isikliku kestlikkuse saavutamiseks

Enamik inimesi lähtub oma tegemistes üldtunnustatud eetilistest põhimõtetest, kuid kindlasti on igaühel meist elus toimetulemiseks ka isikupärasemaid põhimõtteid, mis on abiks eesmärkide saavutamisel. Minul on läbi aastakümnete, alates hilisest teismeeast kuni tänaseni, selliseid olnud tosinkond. Esimestena tulevad meelde „mida varem seda parem“, „olulisi asju juhuse hoolde ei jäeta“ ning „kunagi ei ole hilja“. Esimene tähendab lahti seletatult oluliste asjade märkamist ja kavatsust nendega tegelemist mitte edasi lükata. Viimasele hetkele jätmise stress on talumatu, ei soovitaks seda isegi vaenlasele. Teine viitab, et enne tegevuste alustamist tuleb asjaolud läbi mõelda, teiste sõnadega – kodutöö tuleb ära teha. Kolmas põhimõte tähendab, et kui edasilükkamine on siiski toimunud, näiteks asja olulisust esialgu mitte mõistes, siis ei ole kunagi hilja midagi ka hilinenult ette võtta.

Eeltoodut täiendavad sellised põhimõtted nagu „alustatu tuleb lõpuni viia“, „hea start on tubli tulemuse nurgakivi“ ja „võimaliku ebaõnnestumisega arvestamine võimaldab ka osalise kordaminekuga rahul olla“. Reaalses elus peegeldavad need kolm põhimõtet raskusi otsustamisel midagi (palju aega ja vaeva nõudvat) käivitada. Aga kui otsus on langenud, siis tuleb eesmärk kindlasti saavutada. Kui tulemus päris ootuspärane ei ole, siis võimalike ebaõnnestumistega arvestamine juba algusest peale ei tekita ebaõnne korral ülemäärast stressi ning võimaldab rõõmu tunda ka vähem ootuspärasest tulemusest. Täiesti aia taha läinud ettevõtmiste puhul on abi arusaamast „võrreldes supernoova plahvatusega universumis on see tühiasi“.

Äärmiselt oluline on „tegevus- ja vaatevälja laius eesmärkide ja tegevuste seadmisel“. Reaalses elus tähendab see püüdlust end kursis hoida ka kaudselt põhitegevust mõjutavate, esmapilgul kõrvaliste teemadega. Ülikoolis tähendab see teadustegevuse kõrval tähelepanu arendustegevusele, teadustöö tulemuste rakendustele, eriala populariseerimisele, üliõpilaste õpetamisele ning ühiskonna ja majanduse ootustele. Põhimõte „keskpärane plaan on parem kaootilisusest“ on selgitatav vajadusena tegelda tegevustega pikemas ajahorisondis, jättes samas ruumi agiilsete muudatuste tegemiseks. Positsioon „uuendustega tuleb kaasas käia“ tähendab lahti seletatult vajadust arengutega kaasas käia ja elukestvalt juurde õppida.

Tosinkonna tuumpõhimõtte hulka elus kestlikuks toimetulemiseks kuuluvad samuti „füüsiline ja vaimne valmidus väljakutseteks“ koos „mugavustsooni vältimisega“. Nendest põhimõtetest kinnipidamine muutub vananemisega kaasnavaid kulumisprotsesse silmas pidades üha olulisemaks. Füüsiline ja vaimne valmisolek tähendavad tegelikus elus pidevat treeningut. Treeningud mugavustsooni langemist ei võimaldagi.

Elumuutvad otsused tulevad koolist

Elukäiku muutvates otsustes on olulisel kohal nii tuumpõhimõtted kui ka juhus. Esimene otsustuskoht, mis annab karjäärile ja kogu elule suuna, on professionaalse tegevuse valdkonna valik. See valik mõjutab meid suurema osa elust, järgnevad 40–50 aastat. Vähemalt minu põlvkonna puhul oli see nii. Tallinna 2. keskkooli (praegune reaalkool) lõpetamisel 1965 olin täiesti kindel õpingute jätkamises ülikoolis, kas Tartu ülikoolis või Tallinna polütehnilises instituudis (TPI). Pärast lõpueksamite sooritamist langes valik inseneriks, konkreetsemalt mehaanikainseneriks õppimise kasuks. Mehaanika kitsamate suundade vahel valides tundus atraktiivne peenmehaanika. Võimalike erialade loetelus olid ka masinaehituse tehnoloogia jt inseneriteaduste mehaanika valdkonnale iseloomulikud erialad. Kõrgkooli astudes ei olnud veel silmapiiril akadeemilist karjääri teadlase või õppejõuna. Küll aga tundus põnev ning loominguline professionaalne tegevus projekteerijana, insener-konstruktorina.

Ülikooli sisseaamine ei osutunud nii suureks väljakutseks, kui kartsin. Paljuski tänu sellele, et keskkooli lõpueksamite ja ülikooli sisseastumiseksamite sooritamiseks matemaatikas sain korraks toetuda suurepärasele eraõpetajale. Piisas vaid mõnest intensiivsest, peamiselt ülesannete lahendamisele pühendatud tunnist, kui minu senised, 11 aastat kestnud õpingute jooksul omandatud teadmised koondusid ja avanesid mulle tervikpildina. Lisaks leitud enesekindlusele veendusin, kuivõrd palju sõltub õpetajast. Olen seda teadmist endale olulisena kaasas kandnud. Praegugi võin üsna veendunult kinnitada, et eksamitulemustes ei peegeldu mitte ainult õppuri motivatsioon ja võimekus, vaid paljuski õpetaja või õppejõu andekus oma aine avamisel.

Usaldada saab eelkõige ennast. See, eeltoodud tuumpõhimõtteid täiendav arusaam, oli otsustav pööre suhtumises õpingutesse juba esimesest semestrist alates. Õpingud pidid tulevase professionaalse tegevuse vundamendiks saama ning nagu teada – hea start on tubli tulemuse nurgakivi! Kõrgkooliõpingud õnnestus lõpetada nominaalajaga ja suurepärase tulemusega – *cum laude*. Tollal ootas kõrgkooli lõpetamisel alternatiivina ees tööle suunamine või nooremohvitserina sõjaväkke minek. Suunamisel oli valida kümnete tööpakkumiste hulgast. Parimad lõpetajad said valikuõiguse esimestena. Valisin Eesti NSV teaduste akadeemia spetsiaalse konstrueerimisbüroo (SKB). See osutus esimeseks väikeseks sammuks tulevase akadeemilise karjääri suunas. Mitte asutuse nime, vaid pigem

tegevuse iseloomu tõttu teadusaparatuuri, peamiselt vedelikkromatograafide projekteerijana. Viis aastat konstruktorina andis väga hea inseneritöö kogemuse, millest on hiljem olnud kasu nii üliõpilaste õpetamisel kui ka teadus- ja arendustegevuses. Loengutes toon sageli näiteid õnnestumistest ja ka ebaõnnestumistest, töötades konstruktorina asutuses, kus lisaks konstrueerimisele projekteeritu ka kohe valmis ehitati ja enne tellijale üleandmist katsetati. Mulle meeldib üliõpilastele rõhutada, et kogu mu karjäär ei ole toimunud ainult ülikooli akadeemilises keskkonnas. Mul on olemas ka inseneritöö kogemus. Selle põhjal saan tuua näiteid õnnestumistest ja eksimustest tootearenduses – materjalivalikutest kuni valmistustehnoloogiate vahel valimiseni. Vigade tekkimise võimaluste vähendamiseks peab konstruktor sarnaselt arhitektiga ehituse valdkonnas piisaval tasemel tundma nii valmistustehnoloogiaid kui ka tootedisaini aluseid.

Juba konstruktorina töötamise alguses mõistsin, et mida varem, seda parem on õpinguid jätkata aspirantuuris (praeguses mõistes doktorantuuris). Selleks oli vaja sooritada kolm eksamit: võõrkeeles, filosoofias ja tulevaste õpingutega seotud erialal. Kaks esimest eksamit sooritasin teaduste akadeemia juures juba mõni aasta enne tegelike aspirantuuriõpingute algust. Aastal 1975 tuli mängu juhus. Sain endiste rühmakaaslastega kohtumisel õlut juues teada, et dotsent (hilisem professor) Leo Valdma otsib aspiranti. Õpingute alustamiseks tuli veel sooritada kohustuslik erialaeksam, milleks valmistusin enam kui neli kuud. Eksamiks valmistumiseks andis tulevane juhendaja mulle peaaegu leheküljepikkuse kohustusliku kirjanduse loetelu. Kirjanduse läbitöötamine oli vaimule, veelgi enam silmadele, suur väljakutse. Mäletan end leidmas pärast tööaega, puhkepäevadel või isegi töö ajal õppimas ning silmi rahustavaid kompressse tegemas. Aspirantuuriõpingutega 1975. aasta sügisel algas ka minu praeguseks pea poolesaja-aastaseks kujunenud teadlaskarjäär.

Kulumiskindlus kestlikkust kasvatamas ja jäätmeid vähendamas

Teatavasti on peamisteks toodete (tööriistad, konstruktsioonelemendid) piiratud kestlikkuse põhjusteks kulumine, korrosioon ja väsimus. Kulumisest ja korrosioonist tulenevad kahjud võivad olla märkimisväärsed. Hiljutiste hinnangute kohaselt moodustavad hõõrdumisest ja kulumisest tingitud kahjud 1,4% (Holmberg, Erdemir, 2017) ja korrosioonist 3,4% (Assessment of the Global Cost of Corrosion, 2020) maailma sisemajanduse kogutoodangust. Mõnes tööstusharus, näiteks mäetööstuses (kaevandamine), metallurgias, ehitusmaterjalide tootmises jt võivad kulutused kulunud konstruktsioonelementide väljavahetamisele ning materjaliringlusele moodustada olulise osa toote elutsükli kuludest. Kestlikkuse suurendamiseks on lisaks teaduslikult põhjendatud materjalivalikule sageli hädavajalikuks lahenduseks paremate funktsionaalsete omadustega materjalide või tugevdavate pinnete väljatöötamine konkreetseid töötingimusi arvesse võttes. Uute materjalide ja pinnete rakendamine eeldab enamasti tänapäevaste

materjalitehnoloogia (pulbermetallurgia, pindamis- ja kihtlisandustehnoloogiaid jt) arendamist ja kasutuselevõttu.

Materjalid ja materjalitehnoloogiad on ajaloo kestel vallandanud revolutsioonilisi muudatusi tootmises ja toodete kasutamisel. Kulumiskindlatest materjalidest väärivad esiletõstmist kiirlõiketeraste väljatöötamine ja rakendamine metallide töötlemises 20. sajandi alguses. Veelgi suurema mõjuga materjalide töötlemises, eelkõige lõiketöötlemises, oli volframkarbiidi ja koobalti kombinatsioonil tuginenud nn WC-Co kõvasulamite leiutamine ja hulgitootmise käivitamine 1920. aastatel. 20. sajandist on pärit ka tänapäeval laialdaselt kasutatav tehnokraamika alumiinium(III)oksiidi Al_2O_3 , tsirkooniumdioksiidi ZrO_2 , räninitriidi Si_3N_4 või ränikarbiidi SiC jt rasksulavate ühendite baasil.

Euroopa Liidu tootmisettevõtete kulutused materjalidele on märkimisväärsed, ulatudes 40%-ni (Uus ringmajanduse tegevuskava, 2020). Teada on, et umbes pool kasvahoonegaaside heitmetest ning enam kui 90% elurikkuse vähenemisest ja veepuudusest tuleneb loodusvarade kaevandamisest ja töötlemisest. Seepärast on tõesti vaja vähendada esmaste materjalide (st maagist toodetud materjalide) kasutamist, et ressursitarbimine ei ületaks planeedi võimalusi. Kahekordistada tuleb materjaliringluse määra ning võtta kasutusele kestlikke (kestlikest materjalidest) tooteid, loomaks eeldusi jäätmete tekke vähendamiseks. Selle nägemuse realiseerumisel mängib olulist rolli materjalivalik ning vajadusel uute materjalide ja materjalitehnoloogia arendamine.

Teadusuuringutega kulumiskindlate materjalide valdkonnas on Tallinna tehnikaülikoolis (TTÜ) tegeldud juba 1960-ndatest alates. Peamine fookus on olnud pulbermetallurgilisel teel toodetud keraamikapõhistel komposiitmaterjalidel. Tänapäevaks on välja arendatud nüüdisaegne teadus- ja arendustegevuse taristu pulbermaterjalide valmistamiseks alates pulbrite (metallid, keraamika) ettevalmistusest ja lõpetades pulbrite kuumkonsolideerimisega. Taristu, mis võimaldab nii teadusuuringuid kui ka tooteprototüüpide valmistust, on koonduanud inseneriteaduskonna pulbermetallurgia laboratooriumisse.

Pulbertehnoloogia meetodil valmistatavaid keraamilis-metalseid komposiitmaterjale nimetatakse kermisteks (ingl *cermets*). Selliseid materjale defineeritakse kui komposiitmaterjale karbiidide, nitriidide, boriidide, oksiidide jt suure kõvadusega keraamilise faasi (tagab materjali kõvaduse, kulumiskindluse, kuumatugevuse) ning metalse faasi (annab materjalidele plastsuse ja sitkuse) baasil.

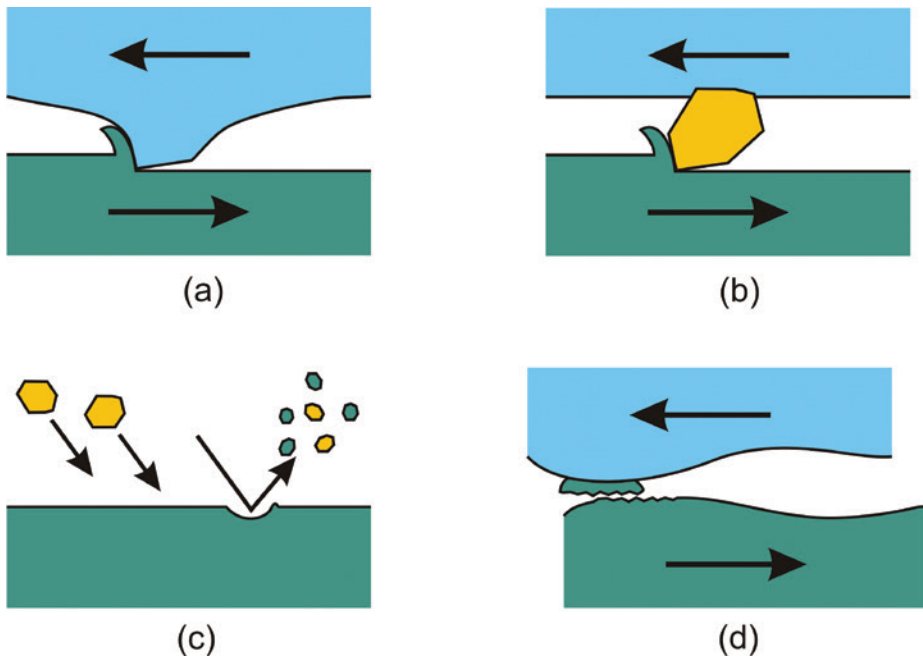
Kermiste kasutusvaldkond on mitmekesine. Olulisteks rakendusvaldkondadeks on tööriistad või kulumiskindlad konstruktsioonelemendid materjalide peenestusseadmetes, kaevandusseadmetes jne. Kermiste hulgas on enim tuntud ja leidnud kõige laiemat kasutust (nt autode rehviinastud, tööriistad materja-

lide löike- või survetöötlemiseks jne) kõvasulamid (ingl *hardmetal / cemented carbide*), mida eristab teistest keraamikapõhistest komposiitidest keraamilise faasina volframkarbiidi (WC) kasutamine. Kõvasulamid, milles kasutatakse valdavalt metalse osisena koobaltit (WC-Co), patenteeriti 100 aastat tagasi (1923). Ka praegu hinnatakse seda pulbermaterjali üheks parimaks (õnnestunumaks) inimese poolt loodud komposiitmaterjaliks. Pikale ajaloole vaatamata jätkuvad tänapäevalgi kõvasulamite valdkonnas struktuuri ja omaduste parandamisele ning tänapäevaste valmistustehnoloogiate (sh kihtlisandustehnoloogiad) rakendamisele suunatud uuringud. Oma panuse WC-baasil loodud kõvasulamite arendusse on andnud ka TTÜ kulumiskindlate komposiitmaterjalide ja -pinnete uurimisrühm.

Teine toodete kestlikkuse suurendamise uurimissuund, mis käivitati möödunud sajandi kaheksakümnendatel, käsitleb kulumiskindlaid paksu (paksus millimeetrites) ja õhuke (paksus mikromeetrites) pindeid. Pinded võimaldavad toodete (tööriistad, konstruktsioonelemendid) kestlikkust märkimisväärselt suurendada. Pärast pinde kulumisest tingitud kaitsevõime ammendumist on enamasti võimalik anda tootele uus elu pinnet korduvalt peale kandes. Pindmaterjalide erinevate liikide ja pindamistehnoloogiate hulgast tuleb teha kasutustingimustega kõige paremini sobituv ning teaduslikult põhjendatud valik. Tehnikaülikooli uuringuid õhukeste ja paksude pinnete valdkonnas toetab nüüdisaegne taristu, mis on koondunud õhukeste ja paksude pinnete laboratoriumisse.

Teadus- ja arendustöö kulumiskindlate materjalide ja pinnete alal eeldab samuti teadustööd triboloogia (hõõrdumist, kulumist ja määrimist käsitlev teadus ja tehnoloogia) valdkonnas. Nii on see ajalooliselt olnud ka TTÜ-s, kus alates 1960-ndatest on paralleelselt uuringutega kulumiskindlate pulberkomposiitide ja hiljem pinnete valdkonnas toimunud uurimistöö ka materjalide kulumise ja hõõrdumise suunal. Aastakümnete jooksul on välja arendatud selliseid uuringuid toetav, suurel määral kohapeal projekteeritud ja valmistatud, nüüdisaegsel tasemel taristu, mis on koondunud triboloogia laboratoriumisse.

Kulumine on tahke keha pinna purunemine ja sealt materjali eemaldumine. Eristatakse nelja kulumismehhanismi: abrasiioon (kahe keha ja kolme keha abrasiioon ning abrasiiv-erosioon), adhesioon (joonis 1), pindväsimumus ning korrosioonmehaaniline/tribokeemiline. Kulumisliikide loetelu on pikk, nt abrasiiv-, erosioon-, adhesioon-, fretingkulumine jne. Eri kulumistingimustes võivad sobivaks osutada täiesti erinevad materjalid. Kaugeltki alati ei kehti aksioom „mida kõvem, seda kulumiskindlam“. See võib esimeses tähenduses õige olla vaid mingi kindla kulumisliigi korral ja sedagi teatud kitsastes piirtingimustes, sh sama „perekonna“ materjalide korral. TTÜ kulumiskindlate komposiitmaterjalide ja pinnete uurimisrühm, mille liikmeskonnas tegutsen, on andnud märkimisväärse panuse kermiste kulumisuuringutesse maailmas (Kübarsepp jt, 2022).

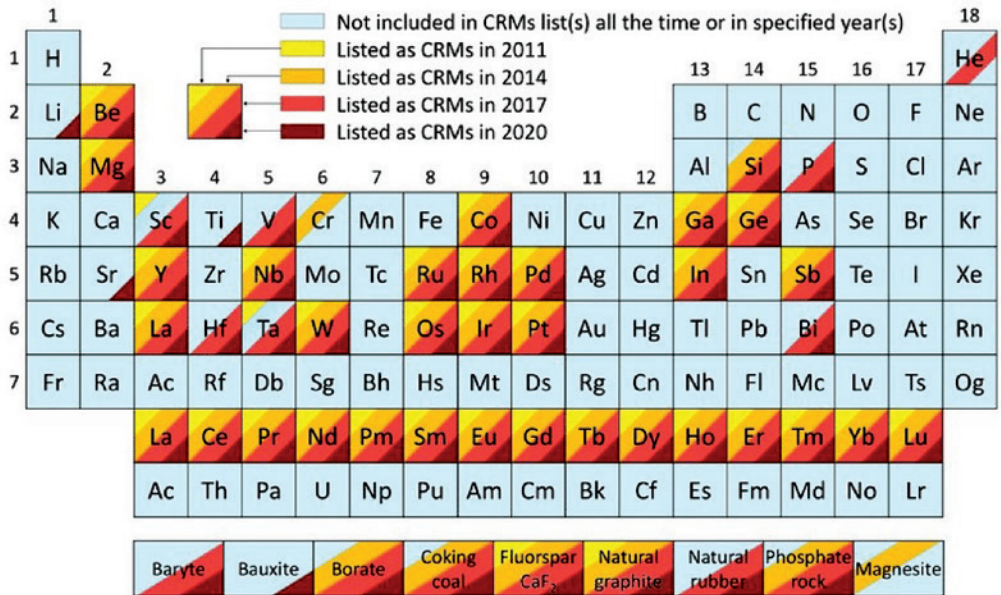


Joonis 1. Kahe keha abrasioon (a), kolme keha abrasioon (b), abrasiiv-erosioon (c) ja adhesioon (d).

Kolme uurimissuuna (kulumiskindlad komposiitmaterjalid, kulumiskindlad pinned ja triboloogia) sünergia toel on arendatud terve rida tööstuslikeks rakendusteks sobivaid materjalide grupe ja tribopindeid. Praegused uuringud on suunatud peamiselt kriitiliste toorainete (volfram, koobalt, nikkel jt) vabade komposiitide ja pinnete arendamisele rakendusteks töötingimuste laias diapaasoonis alates toatemperatuurist kuni 900 °C.

Kriitiline tooraine (ingl *critical raw material*) on majandusele strateegiliselt oluline, kuid samas suure tarneriskiga materjal. Aastal 2011 avaldati esmakordselt Euroopa kriitiliste materjalide nimekiri, mida iga kolme aasta järel uuendatakse. Enamiku kriitiliste toorainete hulgas moodustavad metallid, sh koobalt, liitium ja mangaan (Co, Li, Mg), haruldased muldmetallid, platinagrupi metallid jt (joonis 2). Riskid materjalide hankimisel võivad olla poliitilised, näiteks kui toormaterjali tuleb tarnida ebasõbralikest või sanktsioonide all olevatest riikidest. Tarneriskid ei ole maailmas midagi uut. Poliitilised tarneriskid realiseerusid ka 1970-ndate keskpaigas, kui alustasin õpinguid aspirantuuris (doktorantuuris). Minule ja kaasaspirandile sõnastas juhendaja uurimisteemadena volframivabade (volfram oli Nõukogude Liidu tingimustes strateegiline, kuid tarneriskiga metall) kermiste arendamise konkreetseteks tööstuslikeks rakendusteks titaankarbiidi (TiC) baasil. Minu ülesandeks oli tegelda TiC-baasil kermistega, mille metalne komponent baseeruks rauasulamitel (terastel). Kaas-

Critical Raw Materials (CRMs) for the EU



Joonis 2. Euroopa Liidu kriitilised toormaterjalid 2011–2020. Allikas: internet.

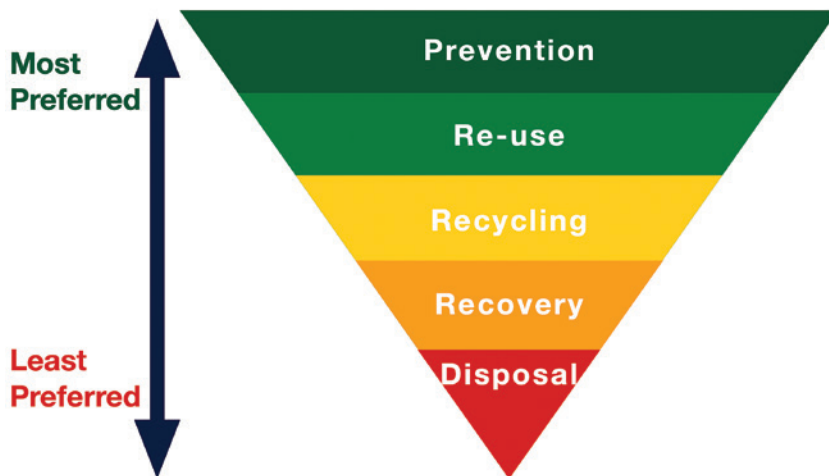
aspirandi uurimisvaldkonnaks olid kermised, mille metalne komponent põhines nikkislulamitel. Koobalt ja selle sulamid ei olnud kõne all, kuna lisaks volframile hinnati ka seda metalli strateegiliselt oluliseks, kuid tarneriskiga metalliks.

Lühikokkuvõtte minu aastakümneid kestnud uurimistööst on sõnastatav alljärgnevalt. Peamine suunitlus on olnud kriitiliste toorainete (volfram, koobalt) vabade, raua baasil metalise komponendiga kermiste arendamine. Lisaks materjaliarendusele on uuritud nende talitusomadusi, peamiselt kulumis- ja korrosioonikindlust tingimuste laias valdkonnas ning mehaanilisi omadusi (tugevus, plastsus, purunemissitkus, väsimus jne). Teadus- ja arendustöö rakenduslik fookus on olnud survetööstustööriistadel ja kulumiskindlatel konstruktsiooni-elementidel. Tähelepanu on jätkunud samuti metalise komponendita kermistele, nn keraamikamaatrikskomposiididele, samuti õhukeste pinnete kasutamisele kermistest tööriistade kestvuse täiendavaks suurendamiseks. Uurimistöö tulemustele kermiste ja nende kulumiskindluse valdkonnas võib lisaks teadus-artiklitele leida arvukalt viiteid mitmetes käsiraamatutes (Basu, 2020; Shabalin, 2022a; Shabalin, 2022b; Comprehensive Hard Materials, 2014).

Suund kulumiskindlate või nii kulumis- kui ka korrosioonikindlate keraamika-põhiste komposiidide, mis ei sisalda strateegilisi metalle, arendamisele oli minu teadustegevuse algusaastatel 20. sajandi viimasel veerandil marginaalne. Tagant-

järele võib hinnata, et me ei tegelnud sel ajal mitte niivõrd maailmas populaarsete uurimisteedadega – fookus oli poliitikal vältida või vähendada sel ajal kriitiliste materjalide kasutust kindlaid tööstuslikke rakendusi silmas pidades. Sarnaste uuringutega tegeles mingil määral kolm-neli uurijat või uurimisrühma maailmas – Saksamaal, USA-s ja Hiinas. Praegu, eriti alates 2020-ndatest, on see suund äratamas üha enam huvi kermiseid arendavate teadlaste ja uurimisrühmade hulgas. Seda mitte ainult seetõttu, et volfram ja koobalt on kriitilised toormaterjalid (eriti Euroopa Liidus), vaid samuti nende metallide või nende baasil ühendite kahjustava mõju tõttu keskkonnale ja inimeste tervisele nii tootmisprotsessides kui rakendustes. Kulumiskindlate komposiitmaterjalide ja -pinnete uurimisrühmas arendatud kermiste peamised metallsed komponendid – titaan ja raud – ei ole ei kriitilised toorained ega kahjuliku keskkonna- ja tervismõjuga. Tehnika-ülikooli uurimisrühm, mille liikmeskonnas praeguseni tegutsen, on andnud suure panuse teadusuuringutesse selles valdkonnas (Kübarepp, Juhani, 2020).

Huvitaval kombel on peaaegu 50 aastat tagasi käivitunud uurimistöö fookus ka praegu suurepäraselt kooskõlas nii Euroopa Liidu roheleppega (Euroopa roheline kokkulepe, 2019) kui ka ringmajanduse tegevuskava (Uus ringmajanduse tegevuskava, 2020) eesmärkidega. Ringmajanduse tegevuskava näeb ette ülemineku taastava majanduskasvu mudelile, mis suunab pingutama selle nimel, et ressursitarbimine planeedi võimalusi ei ületaks. Ettevõtete ja kodanike jaoks pakub see üleminek tooteid, mis kestavad kauem, on mõeldud korduvkasutuseks või materjalide ringlussevõtuks. Jäätmete minimeerimist saab saavutada, keskendudes jäätmete vältimisele või vähendamisele, (ingl *reduce*), toodete taas- ehk korduvkasutusele (*re-use*) ning, kui jäätmed ikkagi tekivad, materjalide



Joonis 3. Jäätmehierarhia. Allikas: internet.

taaskasutusele, st ringlussevõtule (*recycling*). Inglise keeles on jäätmekäitluse kolme prioriteetse viisi kohta kasutusel akronüüm 3R: *reduce, re-use, recycle* (joonis 3). Uurimisrühma ja minu teadus- ja arendustöö sobitub sellesse raamistikku tänapäeval veel paremini kui minu teadlaskarjääri alguses mõnikümmend aastat tagasi.

Akadeemiline karjäär kui mitmevõistlus

Teadus- ja arendustegevus (T&A) on ülikoolis akadeemilise karjääri nurgakivi. See sai selgeks juba pärast dissertatsiooni kaitsmist Moskva keemilise peentehnoloogia instituudis (1979) ning töö alustamist vanemteadurina TPI pulbermetallurgia laboris. T&A on oluline sõltumata sellest, kas oled teadustöötaja või õppejõu ametikohal. Täiendav kohustus on ühiskonna teenimine laiemalt ning samuti võivad lisanduda juhtimisega seotud ülesanded.

Sarnaselt paljude kolleegidega sain õpetamiskogemuse juba vanemteadurina. Järgnes lühiajaline töö assistendi ja dotsendina. Professorikarjäär sai alguse aastal 1992 aseprofessori ametikohal. See töö on olnud kui mitmevõistlus, kus õppe-, teadus- ja arendustöö ülesannetele lisanduvad juhtimisega seotud kohustused. Viimased osutusid väljakutseks nii õppe- kui ka T&A valdkonnas.

Õppetegevuse reformid käivitusid juba enne iseseisvuse taastamist 1991. aastal. Aastaks 1992, kui mulle professor usaldati, oli kursusesüsteemsel ainesüsteemsele õppele üleminek juba toimunud. See viidi läbi ülikoolide initsiatiivil, ilma riiklikult kõrgharidusele kehtestatud raamistikuta. Veelgi suuremad muudatused kõrgharidusmaastikul käivitasid ülikooliseadus (1995) ja kõrgharidusstandard (1996). Esimene löi aluse õppekavade 4 + 2 reformile, mille tulemusena alustati õppeaastast 1995/1996 nelja-aastase bakalaureuseõppega. Paradigmaatiline muutus toimus aga kõrghariduse kvaliteedikindlustuses, kui pärast kõrgharidusstandardi kehtestamist ja Eesti kõrghariduse akrediteerimise keskuse moodustamist käivitati aastal 1997 kõrgkoolide õppekavade akrediteerimine. Mehaanikateaduskonna õppekavade eduka hindamise ettevalmistustes osalesin professori ja dekaanina.

Teadus- ja arendustegevusega seotud peamised väljakutsed – akadeemiline järelkasv ja rahastamine – olid ja on ka praegu ellujäämise küsimused. Panusena akadeemilisse järelkasvu on minu (kaas)juhendamisel kaitstud kümme doktoritööd. Eranditult kõik doktorid on Eesti kodanikud ja tegutsevad praegu kas akadeemilistel ametikohtadel tehnikaülikoolis (4) või väljaspool tehnikaülikooli, valdavalt tööstuses (6). Eesti keeles õpetada suutvate akadeemiliste töötajate järelkasvu osas on see oluline panus, eriti olukorras, kus eesti keelt valdavate eestimaalaste huvi doktoritööpe ning akadeemilise karjääri vastu on viimastel aastatel märkimisväärselt vähenenud.

Nõukogude Liidu ajal tugines pulbermetallurgia labori T&A rahastus suuresti koostöölepingutele ettevõtetega. See hakkas silma ka ülikooli juhtkonnale. Mee-nub tehnikaülikooli aktus, kus rektor akadeemik Boris Tamm tõstis 1980-ndate lõpus teiste edukate kõrval esile pulbermetallurgia laborit kui TPI üht kõige efektiivsemana toimivat. Ilmselt pidas rektor silmas asjaolu, et maksumaksja raha moodustas vaid väikese osa labori tuludest ja kuludest. Tööd (lepinguid) oli nii palju, et labori koosseisu kuulus tippaegadel, 1980-ndatel umbes 20 inimest (sh aspirandid). Neile lisandus peamiselt kevadsemestril mitu lõputöö vajadusteks laboris tegutsevat üliõpilast. Laboris kees töö lepinguliste kohustuste täitmisel ka nädalavahetustel. Selle kõrval tehti ka teadusuuringuid ja publitseeriti tulemusi. Jäi mulje, et mitmete kolleegidele oli labor muutunud peaaegu teiseks koduks. Olen siiani säilitanud tavapärasest pikemad tööpäevad ja töönädala ning veenud ka oma edukamaid õpilasi selles, et pühendumus on oluline eeldus eduks.

1990-ndate algus oli ülikoolile T&A valdkonnas sarnane olukorraga tööstuses: lepingud ettevõtetega Nõukogude Liidu avarustes lõppesid. Sama juhtus ka pulbermetallurgia laboriga ja metallide tehnoloogia kateedriga (alates 1992 materjalitehnika instituut). Tulemuseks oli labori koosseisu vähenemine kümnendikuni parimate aegadega võrreldes. 1990-ndate keskpaigas oli reaalsuseks saamas võimalus, et labor ja sellega seotud uurimissuunad (kulumiskindlad pulbermaterjalid ja triboloogia) suletakse. Nagu paljud Eesti ettevõtted, suutsime muutunud oludega siiski kohaneda. Selles mängis määravat rolli rahvusvahelisel tasemel teadustöö ja selle tulemuste publitseerimine, mida me lepinguliste tööde täitmise kõrval ei olnud tähelepanuta jätnud. Mäletatavasti viidi aastatel 1991–1992 Eesti teadusnõukogu (praegune teadus- ja arendusnõukogu – toim) ja Eesti teadusfondi nõukogu tellimusel ning Rootsi kuningliku teaduste akadeemia koordineerimisel ja 1994 Eesti teadusnõukogu poolt (Teadus- ja arendusnõukogu, 1998) läbi Eesti teaduse evalvatsioonid. Eesmärk oli Eesti teaduse positsiooni hindamine rahvusvahelise taseme suhtes.

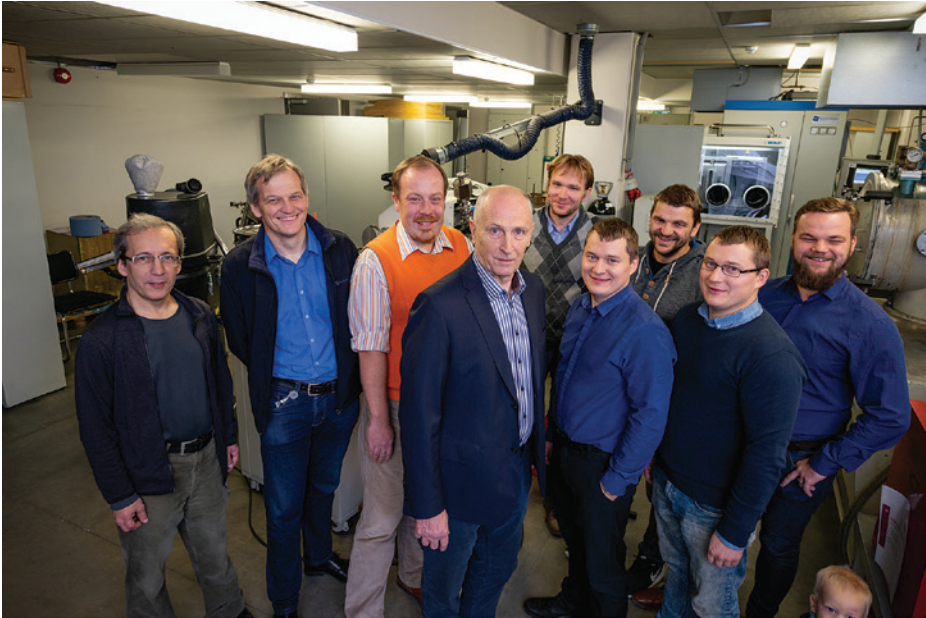
Hinnangud T&A-le pulbermaterjalide tehnoloogia ja triboloogia valdkonnas olid üldjoontes tunnustavad. Need tulid kindlasti kasuks konkurentsipõhise teadusrahastuse taotlemisel järgnevatel aastatel. Kulumiskindlate pulberkomposiitide valdkonnas tegutseva uurimisrühma tegutsemistingimused paranesid märkimisväärselt aastast 1998, kui mul vastutava täitjana õnnestus käivitada rühma esimene sihtfinantseeritav teadusteema „Tribomaterjalid ja -süsteemid“. Edukaks osutusid ka Eesti teadusfondi grantide taotlused. Et hea start on tubli tulemuse nurgakivi, tõestas jätkuv edukus rahastuse taotlemisel sihtfinantseeritavatele teadusteemadele kuni viimase teadusteema lõppemiseni aastal 2013. Rahastuse edukal taotlemisel oli kindlasti oluline roll ka aastal 2002 läbi viidud T&A evalveerimise tulemustel. Hinnati iga uurimisrühma eraldi. Kulumiskindlate komposiitmaterjalide uurimisrühma T&A-d hinnati väga heaks, arengupotentsiaaliga suurepärase tasemeni.



Joonis 4. Keraamika baasil pulberkomposiididest (kermistest ja tehnokeeraamikast) tooteprototüübid. Foto: erakogu

Uurimisrühma tegevus konkurentsipõhise rahastuse raames jätkus institutsionaalse uurimistoetuse „Mitmeastmeliselt struktureeritud keraamika-baasil komposiitmaterjalid kasutamiseks ekstreemtingimustes“ toel aastani 2019. Rühma teadusrahastuse nurgakiviks on kuni aastani 2025 rühmagrant (vastutav täitja Kristjan Juhani), mille täitmises praegu põhitäitjana osalen. Teadustöö ja selle tulemuste publitseerimise kõrval oleme teinud otsese rakendusliku väljundiga töid (joonis 4).

Aastal 2022 viidi läbi TTÜ seaduse alusel moodustatud kaheksa tehnika-professuuri sihtvalveerimine. Nende hulka kuulus ka minu vastutusvaldkonnas paiknev metallide tehnoloogia professor, mille raames tegutses ja tegutseb ka kulumiskindlate komposiitmaterjalide ja pinnete uurimisrühm (joonis 5). Uurimisrühma T&A sai positiivse hinnangu. Teadustöö kvaliteeti ja panustamist ühiskonda hinnati suurepäraseks ning tegevuse rahvusvahelisust heaks, st astme võrra madalamaks.



Joonis 5. Kulumiskindlate komposiitide ja pinnete uurimisrühma pulbermaterjalide tehnoloogiaga tegelevad liikmed 2018. aastal pulbermetallurgia laboris. Foto: erakogu

Juhtimine on pingutus

Ettepaneku kandideerida dekaani ametikohale tegi mulle mehaanikateaduskonna dekaan Mihkel Pikner 1994. aasta kevadel. Administratiivne tegevus ja inimeste juhtimine siis kuigi kõitvana ei tundunud. Pärast veel mõne kolleegi innustust nõustusin, samas võimaliku ebaõnnestumisega arvestades. Valimised küll võitsin, kuid juhtimiskogemus puudus mul peaaegu täielikult. Olemas oli vaid mõningane õppe- ja teaduskorraldusliku tegevuse kogemus. Ebakindlusest dekaanina sain üle umbes ühe semestri jooksul.

Roteerumise tagamiseks oli 1994. aastal tehnikaülikooli poliitika valida dekaane vaid kaheks aastaks. Aastal 1996 toimunud dekaani valimistele läksin vastu juba enesekindlamalt ning rohkem läbi mõeldud sisulise programmiga. Kasuks tuli lähtumine põhimõttest, et olulisi asju juhuse hoolde jätta ei tohi. Tegin kodutööd, nuputades ettevalmistusi tehes muu hulgas ette vastuseid küsimustele, mida võidakse teaduskonna nõukogu liikmete poolt esitada, kuigi loomulikult olin ka sisuliselt asjatundlikum ja kolleegide usalduse pälvinud. Kodutöö eelistamist ettevalmistuseta improvisatsioonile soovitan mõnikord ka noorematele kolleegidele. Näiteid selle põhimõtte tulemuslikkusest on elu jooksul kogunenud arvukalt.

Tegutsemine mehaanikateaduskonna dekaanina (1994–2000) andis esmase kesk- taseme juhtimiskogemuse. Kui aastal 2000 rektoriks valitud Andres Keevallik

tegi ettepaneku tulla tema meeskonda õppeprorektori ametikohale, siis mul enam kõhklusi ei olnud. Pigem nägin seda kui võimalust akadeemilise karjääri järgmisele astmele liikumiseks. Esimene aasta selles ametis osutus äärmiselt pingeliseks. Rektor Andres Keevalliku visiooniks oli üleminek uuele kvaliteedile ja väärikale positsioonile (Keevallik, 2015). Rektori ootused ülikooli arengule olid väga kõrged, sundides ka rektori meeskonda märkimisväärselt pingutama. Tööpäevad ja -nädalad kujunesid algusest peale nii pikkadeks, et arutasime teadusprorektor Peep Sürjega tõsimeeli, kas ikka sama aasta (2000) jõuludeni suudame välja vedada. Kogemuste lisandumisel nii Eesti kui Euroopa kõrgharidusmaastikul tegutsedes kasvas ka veendumus, et loodetavasti saan hakkama rektori järgmiste valimisteni aastal 2005. Õppeprorektorina jätkasin (2005–2010) ka rektor Peep Sürje meeskonnas. Märkimisväärselt tuli prorektorina pingutada kuni aasta 2017 suveni ka mitmeid reforme käivitanud rektor Jaak Aaviksoo meeskonnas.

Prorektori ameti esimestel kuudel Andres Keevalliku meeskonnas algasid Eesti kõrgharidusmaastikul ettevalmistused Bologna protsessi vaimus õppekavade 3 + 2 süsteemi käivitamiseks 2002/2003. õppeaastal. Selles töös tekkis mul algusest peale hea partnerlussuhe Tartu ülikooli õppeprorektori Volli Kalmuga. Algajana prorektori ametikohal oli mul temalt nii mõndagi õppida. Paralleelselt õppekavade 3 + 2 reformiga tuli tegutseda sellistel aladel nagu üliõpilaste vastuvõtt, kaugõppe taaskäivitamine, õppetegevuse tulemuslikkus, täiendusõpe, kvaliteedikultuuri arendamine, rahvusvahelistumine jne. Õppetegevuse ülikoolisisese kvaliteedisüsteemi ja rahvusvahelistumise valdkondades oli TTÜ Eesti avalike ülikoolide hulgas teerajajaks. Näiteks TTÜ nõukogu (praegune senat) kiitis juba 2001. aasta detsembris heaks tehnikaülikooli õppetegevuse kvaliteedipoliitika. Selles dokumendis sisaldasid kvaliteedijuhtimise peamised põhimõtted. Samuti olime liidrid rahvusvahelistumise valdkonnas. Esimene ingliskeelne õppekava mehaanikateaduskonnas ja ülikoolis tervikuna, „Industrial engineering and management“, käivitus 1999/2000. õppeaastal. Vastuvõtt sellele õppekavale jätkub tänaseni. Rahvusvaheliste (ingliskeelsete) õppekavade arvu hoogne kasv sai alguse õppeaastast 2003/2004. Õppeaastaks 2014/2015 oli selliseid õppekavu tehnikaülikoolis avalike ülikoolide võrdluses kõige rohkem.

Ülikooli prorektori ametis tuli panustada õppe- ja teadusorganisatsioonilisse tegevusse ka riigi tasandil. Otsustuskogude, mille töösse sai oma osa antud ja seeläbi hindamatuid kogemusi omandatud, loetelu on mitmekesine ja küllalt pikk. Näiteks väärivad esiletõomist Eesti teadusfondi tehnikateaduste ekspertkomisjon (liige), Eesti kõrghariduse kvaliteediagentuuri hindamisnõukogu (esimees), Eesti teadusagentuuri hindamisnõukogu (liige), Kristjan Jaagu stipendiuminõukogu (esimees), Eesti teadusagentuuri nõukogu (liige), Eesti teaduste akadeemia hariduskomisjon (esimees) jt. Rahvusvahelisel tasemel väärivad märkimist tegutsemine tehnikaülikoolide võrgustiku BALTECH (osalevad Balti riikide ülikoolid ja kolm Rootsi ülikooli) nõukogu esimehena 11 aastat (2004–2015).

Eesti teaduskeele arendamine

Jutustus minu akadeemilisest karjäärist kui mitmevõistlusest ei oleks terviklik, kui jääks käsitlemata eesti tehnika- ja teaduskeele arendamine. Juba 1980-ndate lõpus, veel enne Eesti taasiseseisvumist, võeti kurss valdavalt venekeelsest kõrgharidus- ja teadusruumist rahvusvahelisele, ingliskeelsele. Hakkasime meiega koos kolleegide professor Priit Kulu ning dotsent Andres Laansooga arendama erialast terminibaasi materjalitehnika valdkonnas. Esialgne eesti-vene terminibaas oli küll olemas, kuid see vajab täiendamist ning lisada tuli ka inglise keel, samuti mõisteid selgitavad definitsioonid. Priit Kulu tegutses valdavalt metalliõpetusega (sh terminiline töötlemine), Andres Laansoo keevitusega ning mina metallide tehnoloogia kõikide ülejäänud valdkondadega: survetöötlus, valutehnoloogia, pulbermaterjalide tehnoloogia, termolõikus, lõiketöötlus jne.

Ajajärgule iseloomuliku entusiasmiga arendasime terminibaasi esialgu valdavalt neljakeelsena (eesti-inglise-vene-saksa). Hiljem piirdusime kolme keelega: eesti, inglise, vene. Terminitöö tulemusena ilmus õppematerjalina mitmeid kitsama fookusega seletavaid (st terminite kõrval eestikeelseid definitsioone sisaldavaid) sõnaraamatuid. Paralleelselt panustasime koostöös kümnete tehnikateadlastega selliste hästi tuntud tehnikasõnaraamatute valmimisse nagu teaduse ja tehnika seletav sõnaraamat (1997), inglise-eesti sõnaraamat (2000) ning eesti-inglise sõnaraamat (2001). Materjalitehnika seletav sõnaraamat (eesti-inglise-vene), milles sisaldasid eestikeelsed definitsioonid, ilmus paberil aastal 2013 (joonis 6) ning paranduste ja täiendustega e-raamatuna aastal 2016. Nendes seletavates



Joonis 6. Materjalitehnika eesti-inglise-vene seletav sõnaraamat (2013) ja kaheosaline õpik (2015).

sõnaraamatutes sisaldus enam kui 5000 eestikeelset mõistet koos definitsioonidega ja neile vastavate terminitega eesti, inglise ja vene keeles. Terminitööd ei saa kunagi lõpetatuks pidada. See peab sammu teaduse ja tehnoloogia arenguga. Terminitöö jätkub ka praegu eesti keele instituudi sõnastiku- ja terminisüsteemis Ekilex, millest võib materjalitehnika terminibaasis 2024. aasta alguses leida enam kui 6000 mõistet koos eesti- ja ingliskeelsete selgitustega ning mitu korda enam eesti-, inglise- ja venekeelseid termineid.

Materjalitehnika terminibaasi arendamine aastakümnete jooksul on suurepärane näide võimalusest Eesti ühiskonda teenida. Terminibaas leiab kasutust doktoritööde eestikeelsete kokkuvõtete koostamisel, õigustõlkes, standardite tõlkimisel (koostöös Eesti standardimis- ja akrediteerimiskeskusega), populaarteaduslike kirjutiste koostamisel ning mitmete materjalitehnikaga seotud õppeaineid õpetavate Eesti kõrgkoolide õppetöös. Sobivust õppetööks tõstab nii definitsioonide olemasolu kui leitavus Sõnaveebis juba järgmisel päeval pärast Ekilexi terminibaasi sisestamist. Terminitöö on toetanud ka eestikeelsete õppematerjalide, õpikute ja käsiraamatute koostamist. Viimati ilmus eesti keeles kaheosaline materjalitehnika õpik aastal 2015 (joonis 6).

Terminitöö leiab harva – kui üldse – väärtustamist konkureerimisel akadeemilistele ametikohtadele või atesteerimistel ja pole seetõttu nooremate teadlaste hulgas ka atraktiivne. Siiski võimaldab see olla kursis paljude muidu märkamatuks jääda võivate arengute ja teadmiste tekkega, vahendada neid asjatundlikult ja kasuloovalt. Olen selle võimaluse eest tänulik, samuti ka iga teise võimaluse eest, mis lubab tuleviku paremaks muutmisesse oma osa anda.

Olles nüüd pannud kirja olulisema iseenda elu ja töö kohta, tahan lõpetada siira ja suure tänuga kõikidele inimestele, kes on minu ümber olnud innustajate, õpetajate ja toetajatena elu ning töö kujunemisel elutöök. Tänan südamest kõiki, kes te olete aidanud luua, suurendanud minu kulumiskindlust ning pinnanud kaitsekihte!

VIITED

Assessment of the Global Cost of Corrosion 2029. <http://impact.nace.org/economic-impact.aspx>

Basu, B., Kalin, M., Manoj Kumar, B. V. 2020. Friction and Wear of Ceramics: Principles and Case Studies. Wiley-American Ceramic Society.

Comprehensive Hard Materials. 2014. Sarin, V. K. (ed-in-chief), Vol 1: Hard-metals. Elsevier, Amsterdam et al.

Euroopa roheline kokkulepe 2019. EUR-Lex - 52019DC0640 - EN - EUR-Lex (europa.eu)

Holmberg, K., Erdemir, A. 2017. Influence of tribology on global energy consumption, costs and emissions, Friction, 5, 263–284, <https://doi.org/10.1007/s40544-017-0183-5>

Keevallik, A. 2015. Uuele kvaliteedile ja vääriskale positsioonile: Tallinna Tehnikaülikool 2000–2015. Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus.

Kübarsepp, J., Juhani, K. 2020. Cermets with Fe-alloy binder: A review. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 92, 105290, <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2020.105290>

Kübarsepp, J., Juhani, K., Tarraste, M. 2022. Abrasion and erosion resistance of cermets: A review. Materials, 15(1), 69, <https://doi.org/10.3390/ma15010069>

Shabalin, I. L. 2022a. Ultra-High Temperature Materials III: Refractory Carbides II (Ti and V Carbides). Springer, Cham.

Shabalin, I. L. 2022b. Ultra-High Temperature Materials IV: Refractory Carbides III (W Carbides). Springer, Cham.

Teadus- ja arendusnõukogu. 1998. Eesti teaduse lühianalüüs 1993–1996, <https://www.etag.ee/wp-content/uploads/2017/01/Eesti-teaduse-l%C3%BChianal%C3%BC%C3%BCs-1993-1996.pdf>

Uus ringmajanduse tegevuskava. 2020. Uus ringmajanduse tegevuskava: puhtama ja konkurentsivõimelisema Euroopa nimel, eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0098

Valik Jakob Kübarsepa eesti keeles ilmunud artikleid

Kübarsepp, J. 1990. Kõvasulamid ja terassideainega kõvasulamid. Tehnika ja tootmine, 5, 10–12.

Kübarsepp, J. 2000. Tellimuse proportsioonid muutuvad: kas riik ikka teab milliseid erialasid kõrgkoolidelt tellida? Postimees, 04.02.2000, 28, 13.

Kübarsepp, J. 2000. Tehnikaerialade langus: erinevalt Eestist tehnikaerialade üliõpilaste arv mujal maailmas kasvab. Postimees, 06.11.2000, 256, 17.

Kübarsepp, J. 2001. Eelistus tasuta õppele. Postimees Arter, 19.05.2001, 5.

Kübarsepp, J. 2002. Haridussüsteem tehnikakesksemaks. Eesti Päevaleht, 01.03.2002, 11, <https://epl.delfi.ee/artikkel/50915775/jakob-kubarsepp-haridussusteem-tehnikakesksemaks>

Kübarsepp, J. 2002. Vastuvõtt ülikoolidesse edeneb mustast stsenaariumist hoolimata. Eesti Päevaleht, 16.07.2002, 9, <https://epl.delfi.ee/artikkel/50929074/jakob-kubarsepp-vastuvott-ulikoolidesse-edeneb-mustast-stsenaariumist-hoolimata>

Kübarsepp, J. 2003. Inseneriks interneti teel? Äripäev, 25.07.2003, 19, <https://www.aripaev.ee/uudised/2003/07/24/inseneriks-interneti-teel>

Kübarsepp, J. 2004. Konservatiivse kõrghariduspoliitika toetuseks. Õpetajate Leht, 03.12.2004, 43, 3.

Kübarsepp, J. 2004. Kõrghariduse riikliku reguleerimise võimalikkusest. Õpetajate Leht, 16.01.2004, 2, 3.

Kübarsepp, J. 2005. Inseneriamet tagab huvitava töö ja leiva. Õpetajate Leht, 15.04.2005, 15, 4.

Kübarsepp, J. 2005. Lävendipõhise vastuvõtu poolt ja vastu. Õpetajate Leht, 26.08.2005, 29, 7.

Kübarsepp, J. 2006. Teadus- ja tehnikaerialad vajavad toetust. Õpetajate Leht, 27.01.2006, 4, 6–7.

Kübarsepp, J. 2006. Teaduskeele ja terminoloogia arendamine Tallinna Tehnika-ülikoolis. – Eesti teaduskeel ja terminoloogia – kuidas edasi? Tallinn, Eesti Teaduste Akadeemia, 21–22.

- Kübarsepp, J. 2006. Üldhariduskool kõrgkooli pilguga. Haridus, 9/10, 33–36.
- Kübarsepp, J. 2007. Massikõrgharidus – väljakutse nii riigile kui kõrgkoolidele. Õpetajate Leht, 19.10.2007, 38, 6.
- Kübarsepp, J. 2008. Kuidas tõsta kõrghariduse konkurentsivõimet? Õpetajate Leht, 28.11.2008, 44, 6–7.
- Kübarsepp, J. 2008. Viis soovitusi gümnaasiumiõpilastele. Postimees, 05.09.2008, 205, 13, <https://www.postimees.ee/31157/jakob-kubarsepp-viis-soovitust-gumnaasiumiopilastele>
- Kübarsepp, J. 2009. Minu kõrgtehnoloogiline pintsak. Virumaa Teataja, 16.10.2009, 199(3632), 2; Meie Maa, 19.10.2009, 2, <https://virumaateataja.postimees.ee/175849/jakob-kubarsepp-minu-korgtehno-loogiline-pintsak>
- Kübarsepp, J. 2011. Reformid Eesti kõrghariduses läbi kahe aastakümne. – Kaksikümmend aastat taasiseseisvust Eestis, 1991–2011. Välis-Eesti, 131–165.
- Kübarsepp, J. 2011. Tehnikakõrgharidus: olud ja perspektiivid. Õpetajate Leht, 25.11.2011, 43, 9.
- Kübarsepp, J. 2012. Suundumused doktoriõppes Euroopa teadus- ja kõrgharidusruumis. – Eesti Teaduste Akadeemia aastaraamat 2011. Eesti Teaduste Akadeemia, 2012, 234–236.
- Kübarsepp, J. 2013. Ülikoolid ja teadlased ühiskonda teenimas. – Eesti Teaduste Akadeemia aastaraamat 2012. Eesti Teaduste Akadeemia, 233–236.
- Kübarsepp, J. 2014. „Kitsas“ ja „lai“ matemaatika. Postimees, 17.06.2014, 140, 13.
- Kübarsepp, J. 2015. Arengud ja suundumused insenerihariduses. Elektriala, 5, 5.
- Kübarsepp, J. 2015. Maailma ja Eesti kõrghariduse trendid. Elektriala, 5, 8–10.
- Kübarsepp, J. 2017. Insenerid ees, investeeringud järel. Õpetajate Leht, 05.05.2017, 17, 7, <https://opleht.ee/2017/05/insenerid-ees-investeeringud-jarel/>
- Kübarsepp, J. 2017. Inseneriharidus ja -teadused kõrgharidus- ja teadusmaastikul. – Eesti Teaduste Akadeemia aastaraamat 2016. Eesti Teaduste Akadeemia, 84–88.
- Kübarsepp, J. 2017. Väljalangus on probleem. Õpetajate Leht, 16.06.2017, 23, 12, <https://opleht.ee/2017/06/valjalangus-on-probleem/>

Kübarsepp, J. 2017. Õppekavade reform kõrghariduse esimesel astmel. Õpetajate Leht, 13.01.2017, 1, 11, <https://opleht.ee/2017/01/oppekavade-reform-korghariduse-esimesel-astmel/>

Kübarsepp, J. 2018. Teadus vajab muutusi juba doktorantuuri tasemel. Postimees, 31.03.2018, 74, 9, <https://teadus.postimees.ee/4452437/jakob-kubarsepp-teadus-vajab-muutusi-juba-doktorantuuri-tasemel>

Kübarsepp, J. 2021. Kõrgharidus Eestis – visioon ja võimalused. Postimees, 23.10.2021, 25, 8.

Kübarsepp, J. 2022. Autotööstus on Euroopa suurim innovatsioonivedur. Postimees, 28.05.2022, 56, 8, <https://arvamus.postimees.ee/7532968/jakob-kubarsepp-autotoostus-on-euroopa-suurim-innovatsioonivedur>

Kübarsepp, J. 2022. Inseneride koolitus Eestis: olukord ja suundumused. Välis-Eesti, 14–17.

Kübarsepp, J. 2022. Professuurid, mis teenivad Eesti huve. Postimees, 06.12.2022, 236, 14.

Kübarsepp, J. 2022. Roheliste metallide vältimatust vajadusest. Postimees, 26.11.2022, 82, 8, <https://arvamus.postimees.ee/7656691/jakob-kubarsepp-roheliste-metallide-vajalikkus-on-valtimatu>

Kübarsepp, J. 2023. Kriitilised toorained mõjutavad auto arengut. Postimees, 02.12.2023, 135, 8, <https://arvamus.postimees.ee/7909608/jakob-kubarsepp-kriitilised-toorained-keskkonnasobralike-soidukite-arendamist-mojutamasa>

Kübarsepp, J. 2024. Metallid – materjaliringluse liidrid. Postimees, 10.02.2024, 145, 8, <https://arvamus.postimees.ee/7956662/jakob-kubarsepp-metallid-materjaliringluse-igiliikur>

Kübarsepp, J. 2024. Vähem jäätmeid, rohkem väärtust. Postimees, 30.03.2024, 8, <https://arvamus.postimees.ee/7989801/jakob-kubarsepp-vahem-jaatmeid-rohkem-vaartust>

Kübarsepp, J., Kulu, P. 2013. Terminoloogiaarendus tehnikavaldkonnas. Sirp, 11.01.2013, 2(3424), 9, <https://www.sirp.ee/s1-artiklid/c9-sotsiaalia/terminoloogiaarendus-tehnikavaldkonnas/>

Kübarsepp, J., Kulu, P. 2020. Eesti teaduskeel inseneerias. – Eesti teaduskeel keelterikkas maailmas. Tallinna Ülikooli Kirjastus, 188–211.

Kübarsepp, J., Nirk, T. 2000. Tasanaast – kas talverehvide tulevik? Tehnika-
maailm, 11, 63.

Kübarsepp, J., Roostalu, H. 2001. Ülikoolid surve all: kas kõrghariduses plaani-
täitmine iga hinna eest? Postimees, 01.10.2001, 13, <https://arvamus.postimees.ee/1894257/ulikoolid-surve-all>

Kübarsepp, J., Talimets, E. 1990. Terassideainega kõvasulamite lõiketöötlemisest.
Tehnika ja tootmine, 6, 12–13.

Lõhmus, A., Kübarsepp, J. 2005. Mida millestki teha saaks? Horisont, 6, 10–15.

Rüütman, T., Kübarsepp, J. 2016. Inseneripedagoogika – mõjusam õpetus
STEM valdkonnas. Õpetajate Leht, 01.04.2016, 12, 13, [https://opleht.ee/2016/04/
inseneripedagoogika-mojusam-opetus-stem-valdkonnas/](https://opleht.ee/2016/04/inseneripedagoogika-mojusam-opetus-stem-valdkonnas/)

Jakob Kübarsepp

Sündinud 9. veebruaril 1947 Tallinnas

Eesti teaduste akadeemia liige alates 2011

1965 Tallinna 2. keskkool (Tallinna reaalkool)

1970 Tallinna tehnikaülikool, mehaanikainsener

1980 Moskva keemilise peentehnoloogia instituut,
tehnikakandidaat (PhD)

1992 Tallinna tehnikaülikool, tehnikadoktor (PhD)

1997 professor

1970–1975 Eesti NSV teaduste akadeemia SKB konstruktor,
juhtivkonstruktor

Ametikohad Tallinna tehnikaülikoolis

1975–1985 pulbermetallurgia teaduslabori teadur, vanemteadur

1985–1992 metallide tehnoloogia kateedri assistent, dotsent

1992–1997 materjalitehnika instituudi aseprofessor

1994–2000 mehaanikateaduskonna dekaan

1997–2000, 2011–2013 metallide tehnoloogia professor

2000–2011, 2014–2017 õppeprorektor

2017–2021	mehaanika ja tööstustehnika instituudi professor
2021–...	mehaanika ja tööstustehnika instituudi vanemteadur
2021–...	emeriitprofessor

Tunnustus

1985	Eesti NSV riiklik preemia (kollektiivi liige)
1998, 2005, 2015	Eesti volitatud mehaanikainsener
2001	euroinsener
2005	Eesti Vabariigi teaduspreemia loodusteaduste ja tehnika alal (kollektiivi juht)
2005	Tallinna tehnikaülikooli teenetemedal <i>Mente et Manu</i>
2006	Eesti Vabariigi Valgetähe IV klassi teenetemärk
2007	haridus- ja teadusministeeriumi teenetemärk
2019	Tallinna tehnikaülikooli aasta arendustöö 2018 (II koht)
2024	Eesti Vabariigi teaduspreemia pikaajalise tulemusliku teadus- ja arendustöö eest