Leo Võhandu: matemaatiku laual on teemad sünnitusabist kosmoseni

Mari Öö Sarv[1]
Tallinna Tehnikaülikool

Tallinna Tehnikaülikoolis 51 aastat töötanud emeriitprofessor Leo Võhandu on olnud 47 doktoritöö juhendajaks ja kavatseb poolsada täis saada. TalTechDigitali lävepakul antud intervjuus meenutab Võhandu, kuidas arvutite saabudes TPIs uut teadust tegema hakati. Arvutiteadust.

Rääkige sellest esimesest päris arvutusvõimsusest, mis TTÜsse tuli.

Esimese arvuti, mida ka arvutiks nimetada võib, sai Tallinna Tehnikaülikool 1968. aastal. Rektoraat oli arvutit taotlenud juba aastaid, aga statistikavalitsus arvas, et meie tudengeil ja õppejõududel ei ole vaja nii palju arvutada, kui meie tahtsime. Siis oli rektor nii kaval, et avas majandusliku informatsiooni mehhaniseeritud töötlemise organiseerimise eriala – ka meie ei suutnud alguses seda nime meelde jätta. Kuid tänu sellele sai arvuti tellida.

Aga Teil oli siis Tartust juba arvutikogemus olemas?

Jah, olin sarnase masinaga kümmekond aastat töötanud, aga see polnudki kõige olulisem vahe. Kui ma TPIsse tööle tulin, küsis vana Aarna, kas on midagi, millest ma võrreldes Tartu Ülikooliga puudust tunnen. Ütlesin kohe, et siin ei ole õppejõudude kohvikut, kus kohvi või õlle taga asju arutada. See on Inglise ülikoolide üks tugevusi – neil on vanades väikestes majades igasugu erialad ja lõuna ajal istuvad kõik koos "mensas". Tartus oli meil see koht Werneri kohvik, koos istusid tohtrid, juristid, matemaatikud – kõikvõimalikud erialad. See oli ülikooli õppejõudude loomingu põhiallikas!

[1]See artikkel ilmus TTÜ ajakirjas *Mente et Manu*, 5 (1868), oktoober 2017. Intervjueerija Mari Öö Sarve ja Leo Võhandu loal avaldame selle siinses aastaraamatus. Mari Öö Sarv on ajakirja *Mente et Manu* peatoimetaja.

 Autoriõigus EMS, 2018

Näiteks tuli seal kaks tohtrit minult nõu küsima: nemad süstivad jänestele mingisugust mürki, ühe mehe jänesed surevad kõik ära, teisel jäävad pooled ellu, milles asi? Võtsin jäneste andmed ja selgus, et teine hindas "keskmiseks" 1,2 kg raskemaid loomi. Teiseks kasutasid nad logaritmvalemit ja panid mürki tuhat korda suurema portsu. Vaesed jänesed!

Matemaatikat saab rakendada igal erialal, minu käe all on kolm tohtritki oma väitekirja kaitsnud. Olin TÜs poole kohaga matemaatikadotsent ja poole kohaga arstiteaduskonna õpetatud nõukogu liiga. Lisaks male- ja bridžimängija ning saanud Werneris seda õppejõudude "mensa"-koolitust. Nii et tulin Tallinnasse väga kirju seljatagusega, arvuti ja juhtimisega olid samuti kogemused olemas.

Mida see kauaoodatud arvutusvõimekus siin muutis?

See muutis suhtumist. Suutsime veenda tervet rida asutusi, et arvuti suudab ka mõtelda. See saigi meie töö põhiteemaks: kuidas leiutada, programmeerida ja käima panna meetodeid, millega saab kaosest korda luua. Ja see on kogu teaduse põhiteema, ka füüsikutel, keemikutel, bioloogidel.

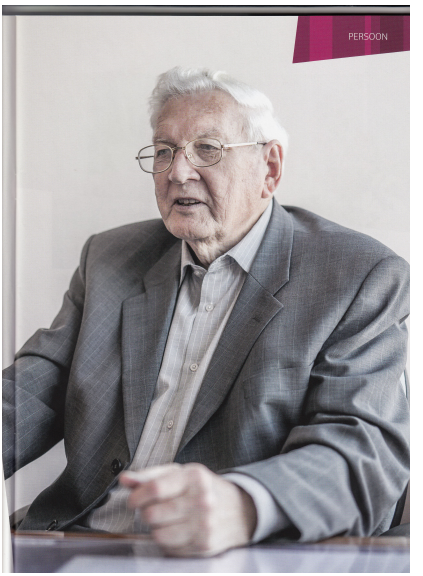
Oluline on termin 'isomorfism' ehk samastruktuursus. Tohtritel, keemikutel ja kaosel – kõigil on sageli samad struktuurid. Matemaatikal ei ole küll oma sisu, kuid matemaatika mudel töötab igal pool. Me leiame näiliselt kaoses olevast süsteemist sisemiselt peidetud korrapärad, mis kirjeldavad selle süsteemi olemust ja annavad selle käitumisreeglid. Vahel saime ka seda öelda, et siin korda ei ole – see on veel tähtsam. Tekkis arusaam, mida enne üldse ei olnud – suur hulk ülesandeid pole ka kõige võimsamate arvutitega lahendatavad, sest arvutusmaht on ebamõistlikult suur.

Teine tähtis termin on *interstanding* – mitte lihtsalt *understanding*. Enamus infosüsteeme kõrbeb sellepärast, et inimesed istuvad küll ühe laua taga ja räägivad ühes keeles ning kõik arvavad, et said ühtemoodi aru, aga tegelikult ei saanud.

Ega see arvutusvõimekus ka kohe teadusesse läinud, algul oli põhiline töö ikka matemaatikavalemid, aga küberneetika instituudi direktor Nikolai Alumäe ütles, et visake see matemaatika kus kurat ja hakake ise uut teadust tegema. Tema andis õige suuna ja me

murdsime end arvutiteaduse poole üle. Tartus jäädi matemaatika juurde, aga meie tõime inseneridena teised teadused ka arvuti juurde kokku. Nii et mina olen endine matemaatik, aga nüüd rohkem informaatik.

Ega matemaatika kao kusagile ja meilgi ükski väitekiri ilma matemaatikata läbi ei lähe, aga me lahendame igasugu reaalseid probleeme. Siin on vahe ülesande ja probleemi vahel: ülesannete puhul on teada, kuidas need tuleb ära lahendada, aga probleemi puhul ei ole. Ja meid huvitavad probleemid.



Leo Võhandu 2017. Foto: Edmond Mäll

Tooge mõned näited, kuidas andmete abil probleeme lahendada.

Esmalt peab teil olema eesmärk. Kui leiate oma andmetest suure hulga reegleid, siis tuleb järgmise sammuna mõelda, mida nendega peale hakata. Üks põnevamaid töid oli mul Tartus, kui otsisime küsimust vastusele "kui pull lüpsaks, siis kui suur oleks tema rasvaprotsent?". Nõukogude ajal osteti pulle sisse Taanist ja Inglismaalt, see oli valuutatehing ja kallis lõbu, aga pulli mõju karjas on vaid

kaks-kolm aastat, niisiis tuleb hankida kõige rasvasemat piima andev pull. Aga kuidas tema piimarasva protsenti siis arvutada, kui ta piima ei anna? Võtke tema tütarde piimarasvaprotsendi keskmine!

Eile helistas mulle üks mees, kes tahab andmebaasi panna mõnesaja tuhande Eesti korteri karakteristikud, et korterite ostu-müüki automatiseerida. Aga sealgi on küsimus, mis eesmärgil korterit tahetakse, kas raha tegemiseks või ise elamiseks. Ka perekonna kirjeldus on oluline, nii et korterite andmebaasi kõrval peaks kohe olema ka tahtjate baas ja need peaksid koostööd tegema. Siis võib teatud aja pärast küsida ka rahulolu, sest ilma ei saa ju hinnata.

Kui palju infot arvutiteadusest piiri tagant Nõukogude Liitu imbus?

Tartust ja Pirita tee poolsõjaväelisest kinnisest instituudist tuli inimesi küberneetika instituuti küll ja teadlased käisid ka Ameerikas. Teadussuhtlus toimis ja meie raamatukogudes oli kõik vajalik olemas. Olime nii kõrgel tasemel, et me ise ka ei teadnud, kui häid asju me tegime – endi generaatorsüsteemi headusest saime aru, kui Excel alles 40 aastat pärast meid sama asja valmis tegi.

Kui range kontroll selle üle oli,mida teadlased arvutitega teha mõistavad?

Meil oli siin nn esimene osakond ja kõik lepingud kontrolliti üle, et mida me tegema hakkame.

Mis on "esimene osakond"?

See otsustas nii sissetuleva kui väljuva info osas, mis peaks olema salastatud ja mis mitte.

Kui artikli kirjutasid, siis tuli saada ekspertiisiakt, kus öeldi, et selles artiklis ei ole midagi uut, võib avaldada. Tegelikult ju uut ainult avaldatigi. Aga ilma ekspertiisiaktita ei läinud ükski artikkel trükki ja välismaale saatmine oli veelgi keerulisem.

Kas see kontroll muutus rangemaks, kui saabusid võimsad arvutid?

Ei, seda mitte. Eks arvutitevaheline maailmasuhtlus tekkis ju alles üheksakümnendatel koos internetiga.

Riigil olid ka muidugi suured arvutid olemas, aga kõik riigiasutuste arvutid olid võrkaiaga varjestatud, et andmeid ei saaks seest välja pumbata. Kuuekümnendatel oli Prantsusmaal juhtum, kus ühe panga ees peatus auto ja kõik panga andmed tõmmati magnetlindilt autosse. Meil neid aedu polnud, sest meie arvutites tehti avalikke asju ja nii see oligi mõeldud: ütlesime alati, et me ei võta ühtegi salajast tööle.

Mis on olnud kõige põnevam asi, mille juures te arvutiteaduses olete olnud?

Meil oli prorektoriks keemik Jüri Tanner, nad tegid liime ning tahtsid patenti müüa, konkurentideks inglased, sakslased, ameeriklased. Tanner andis oma 300 katset 25 tunnusega meile uurida, tahtis mulle keemiast ka rääkida, aga ma ütlesin et sellest ei tea ma midagi, anna lihtsalt andmed. Uurisin ja ütlesin, et kõige tähtsam asi su liimis on tunnus nr 13. Prorektor vaatas oma tunnuste nimekirja ja ütles, et see ei tule kõne allagi, mu masin on loll. Küsisin, et miks. Tema ütles, et tunnus nr 13 on niiskus, aga sakslastel, ameeriklastel ja inglastel on juba teada, et niiskus neis katsetes ei muutu. Läksin koju ja mõtlesin järele. Need olid ju tema andmed, mitte minu omad, mina ainult analüüsin neid ja järgmiseks päevaks mõtlesin välja: põhjuseks oli erinevus kapitalismi ja sotsialismi vahel – üldse mitte matemaatika! Nõukogudemaal ei olnud konditsioneeri, mis Ameerikas, Saksamaal ja Inglismaal hoidis laboris õhuniiskuse stabiilsena. Siin aga sügisel ei töötanud arvutidki, sest kõigis arvutilampides tõusis puru üles. Sellest mul see mõte tuligi, et kari insenere käis häälestas meil sügiseti kaks nädalat puuhaamriga lampides puru paika, et arvuti käima saada. Läksin prorektori juurde ja ütlesin, et nüüd osta mulle esimene personaalarvuti. See maksis 27 000 dollarit, 1974. aastal ropp raha. Tema imestas, et miks, sa pole ju midagi teinud. Vastasin, et olen küll, ma tõestasin, et teie liim on parem kui teiste oma, sest töötab igasuguse niiskuseastme juures – liimib ühtemoodi hästi nii kuivas toas kui väljas sillal. See uus arvuti töötas meil palju aastaid ja tõi kõvasti raha sisse!

Majandusest oli kõige põnevam ühe mu doktorandi tõestus, et kui on neli tehast, kes igaüks toodab miljoni eest kaupa, ja neli ost-

jat, kes kõik tahavad miljoni eest osta, on ikkagi kogu aeg defitsiit, sest vahepeal on jaotusvõrk, kes oma protsendi vahelt ära võtab ja defitsiidi tekitab.

Ku tänast e-Eestit ja arvutite võimekust vaatate, siis mida te 1966. aastal oleksite osanud ennustada?

President Kaljulaid ütles üleeuroopalisel nõupidamisel õigesti, et digitehnika alal on lootusetu 10 aasta plaane ette teha. Seda, kui kaugele me oleme jõudnud 50 aastaga, oli võimatu ette näha. See, mis meil Eestis praegu on, on väga-väga hea, see on maailma parim. Mul üks doktorant oli semestri Princetonis ja ütles, et Ameerika on nagu kiviaeg, kõik peab olema paberil ja ükski paber alla kuu aja ei liigu. Meie e-riik on briljantne sellega võrreldes. Ahto Kalja tehtud X-tee on väga hea. Ma ei käi enam üheski riigiasutuses, ainult Tammsaare teel ID-kaardi järel.

Aga nüüd on kiibil viga küljes, räägitakse.

See on jama. Ma isegi mõtlesin, et paneks selle koodi ajalehte. See on mitmesajakohaline arv ja tuleb lahutada kahe arvu korrutiseks – võtke lihtsalt algarvude tabel ja korrutage läbi, seda võib iga inimene proovida. Tšehhid väidavad ainult seda, et nemad oskavad selle arvu kahe algarvu korrutiseks lahutada. Aga selleks on vaja umbes sada tuhat personaalarvutit ja pool aastat, et vastus kätte saada. Ja isegi kui see on käes, ei saa ikka sisse murda. Võib ka teha nii, et koodid vahetuvad automaatselt iga kuue kuu tagant. E-riik kestab igal juhul ja mina lähen küll e-valima ka. Matemaatikud teavad ammu, et see on teoreetiliselt tehtav, aga see on väga suur arvutamine, mistõttu seda ei ole võimalik arvutada.

Mis on see arvuti aidatav asi elus, milleta te enam elu ette ei kujuta?

Kogu elu! Kõik uudised ja riigi asjaajamised tulevad sealt. Kui ma ei mäleta, kas mul on kehtiv digiretsept või ei, vaatan seda kodus arvutist, hommikumantlis, ei pea minema apteeki pettuma. Ilma arvutita läbi saada on lootusetu.

Nüüd tuleb asjade internet – meil on 2-4-bitised arvutid külmkapis ja triikrauas, vot kui need hakkavad omavahel vestlema! Mu kõrvaltoas töötab Enn Õunapuu, kellel on sensorsüteemide labor, tema annab oma Nelijärvel asuvale majale linnast käsud, et nüüd pane saun kütte, praeahi sooja ja tuled põlema, ning kui ta kohale jõuab, on saun kuum ja kartulid valmis. Praegu annab peremees süsteemile signaalid, aga tudengid juba teevad tulevikusüsteeme, mis kogu tegevust ise planeerivad.

Soomes oli selliste nutikodudega mitu maja maha põletatud, kuna suusatamast tulnud pereliige, kes autosse istudes SMSiga sauna kütte pani, ei teadnud, et teised pereliikmed olid saunakerisele midagi kuivama jätnud, ning tulistest kividest algas põleng.

See pole arvuti, vaid süsteemi projekteerija viga – programmis oleks pidanud olema ka perekonna definitsioon ja hoiatused kõigile. Arvutamine pole muud kui tegevuse korrektne kirjeldamine. Lihtsalt tavaliselt ei tea me kõiki asjaolusid. Sellepärast süsteemid logisevadki, et inimesed ei tea kõiki asju. Masin leiab antud andmekogumist kõik seal kehtivad reeglipärad. Küsimus on, kui täielik see andmekogu on. Üldine reegel on, et kaks kolmandikku infost jäetakse kirjeldamata, aga no proovige ise ühe kolmandiku info pealt korektselt käituda!

Nassim Taleb[2] toob näite, et kui näete kogu aeg ainult musti luikesid, siis te arvate, et kõik luiged on mustad. Eestis on mõlemad olemas ja niipea kui te esimest valget luike näete, on see teie reegel, et kõik luiged on mustad, ebatõene.

Evolutsioonilised programmid õpivad ise – kui laksu kätte saavad, siis parandavad ennast. Samamoodi tuleb katse-eksituse meetodil kätte saada ohtlikud tegevused süsteemis, nagu näiteks käterätid saunakerisel. Sellepärast ongi katseperiood, kus proovitakse asju läbi kõrvetada – kõik suured firmad lasevad häkkeritel enne proovida, kas saab süsteemidesse sisse murda, ja häkkerid saavad roppu raha, kui õnnestub.

[2]Nassim Nicholas Taleb (s. 1960) – liibanoni-ameerika esseist, statistik ja riskianalüütik. *Toim. märkus.*

 Autoriõigus EMS, 2018

Teie juhendamisel kaitses tänavugi mitu doktoranti oma väitekirja. Mis teemadega te praegu tegelete?

Septembris kaitses minu 47. doktorant ja tegelikult on neid rohkemgi olnud, aga igale poole ei lähe nimi kirja. Tõenäoliselt olen Eesti suuremaid juhendajaid ja kavatsen 50 doktorit ikka täis saada. Teemad on olnud põnevad – filoloogilised ja juurateemad, sünnitusabist kuni kosmoseni välja.

Praegu on mul instituudis kaks põhiteemat: filoloogia ja suurte süsteemide loomise mõtteviis. Õige mitmel doktorandil on teemaks suurandmetest kehtivate seaduspärade leidmine, kiired meetodid. Meil oli üks ülesanne: kaks miljonit objekti, 2660 tunnust – kui see paberile välja kirjutada, ulatuks see paber Tallinnast Rakvereni ja lõunasse Jõgevani. Selgus, et tegelikult piisas ainult 36 tunnusest, ülejäänud 2624 olid kõik neist väga täpselt tuletatavad. 74 korda vähem andmeid olnuks vaja! See ongi meie meetod: kõigepealt vesi välja pigistada ja siis kontsentraati uurima hakata.

Septembris kaitses üks mu doktorant simuleerimise teemal: kui jagatakse lapsi kooli- ja lasteaiakohtadele, siis mängitakse see arvutis 100 000 korda läbi, vaadatakse, mis juhtub, ja valitakse parimad variandid välja. See käib arvutil nii kähku, et inimesed ei saa arugi. Selline ennustamine ja tuleviku ettemängimine on võimalik meil riigiski kasutusele võtta.

Šveitslased mõtlesid 1973. aastal välja meetodi DEMATEL, millega üks minu ameeriklasest doktorant tegi väitekirja sellest, kuidas kübersõja kahjustusi leevendada. DEMATELi metoodikasse saab panna ka näiteks riigi haridussüsteemi: esiteks mõtlete, mida te hariduses saavutada tahate, siis hakkate järjest muutujaid läbi kerima, kuni leiate, mis on kõige mõjukamad. Teil võib 10–20 muutujat olla, aga enamus neist pole tähtsad. See ongi see vee välja pigistamine.

Nii saab ka omaenda tulevikku ennustada: määrate mõjufaktorid, joonistate mõjunoolte süsteemi välja, loete internetist Ken Geersi väitekirja kübersõja mõjude leevendamisest ja toimite nii, nagu seal näidatud, seal töös on programm ka olemas. Ja näetegi, kas teist saab asja või ei saa.

Üks põhiline teema on *gap filling* ehk mida teha, kui andmeid on

puudu, sellegagi tegeleb praegu üks doktorant. Teine tõsine teema on andmete arvutisse saamine, näiteks PERHis on miljonite gigabaitide kaupa andmeid, mida keegi ei kasuta, meidki ei lasta sinna ligi.

Milliseid eeliseid matemaatika ja seaduspärasuste mõistmine elus annab?

Internet on täis nippe, kuidas väiksed süsteemid aitavad elu lihtsamaks teha. Kuidas kiiresti ja lihtsasti muna koorida, kartulit hakkida, ilma avajata konservi avada jne – need on kõik kasulikud võtted ja see kõik on tehnoloogia.

Põhiline on see, kuidas laisk olla. Kuidas mitteprogrammeerida. Inimene kukub kohe programmeerima, tegutsemissüsteemi paika panema, aga see on viga – enne tuleb mõtelda, muidu ei tule asjast midagi välja. Oluline on see, kuidas sa asjale otsa vaatad – otsavaatamise tehnika ja arusaamine, millega tegemist on, on kõige tähtsam.

Aga inimsuhetes? Kuidas inimaju matemaatikareeglitele allub?

Olen lugenud psühholoogidele erikursusi. Tartus bioloogiateaduskonnas "Bioloogilised meetodid bioloogias" ja TPIs "Bioloogilised meetodid tehnikas".

Inimsuhete ja matemaatikareeglitega on väga palju tegeldud, kõik on seotud. Pidasin loengut 700 koolilapsele ja ütlesin neile, et võin viie minutiga selgeks teha, kas nad on organiseeritud või organiseerimata rühm. Kuidas seda viie minutiga teha? See on matemaatika: igaüks paneb parema käe oma hea tuttava õlale. Mõne minuti sõeluvad ruumis ringi, siis on kõik vajalikud inimesed leitud ja ühendused olemas, ja kui ülevalt rõdult vaatan, on kohe näha, kui palju neid ahelaid on – kas kõik on ühendatud, kas on mitusada väikest ühendust? Ja inimesed käituvad seotud ja vabades süsteemides oluliselt erinevalt. Tegu on inimsuhete süsteemiga, mida kajastab inimestest moodustatud seosgraaf.

Millal tehisintellekt maailma üle võtab?

Maailma ülevõtmise termin on vale. Me räägime sellisest olukorrast, kus arvutid suhteliselt kähku täidavad enamuse meie soovidest.

Hiljemalt kümne aasta pärast – KURZWEIL[3] ennustas, et 2027, ja seda ma usun. Aga ohjad on teie käes. Tuletage meelde, et 100 aastat tagasi polnud ei rakette, praegusi lennukeid ega arvuteid, nutitelefonidest rääkimata. Moskva ülikoolis läksin 1956. aastal arvutussaali, arvuti oli nagu kaks võimlat – ja praegu mu telefon taskus on võimsam kui tolle aja kahe saaliga arvuti. Näete, mis on juhtunud 60 aastaga. Kõik läheb niimoodi edasi ja praegu te ei teagi, mis asju te kümne aasta pärast pruugite, sest neid pole olemaski veel! Aga lapsed juba teavad.

Intervjuu lõpp

Intervjuu alguses oli mainitud Tallinna Tehnikaülikooli 2017. aasta suvel käivitatud digiprojekti TalTechDigital. Avaldame siinkohal TTÜ pressiesindaja KRÕÕT NÕGESe 5. juulil 2017 TTÜ kodulehel avaldatud selle projekti tutvustuse[4].

Tallinna tehnikaülikool (TTÜ) käivitab strateegilise digireformi TalTechDigital, mis on ajendatud digitaalsete tehnoloogiate arengust tingitud globaalsetest muutustest ja mis uuendab lähiaastatel oluliselt ülikooli ja tema toimimist ühiskonnas.

"TalTechDigital on üks ambitsioonikamatest ettevõtmistest ülikooli ajaloos. Tallinna Tehnikaülikoolil on soov ja valmisolek üleilmses digipöördes esmalt muuta iseennast ning seeläbi näidata teed teistele. Tahame muuta TalTechDigitali samasuguseks ekspordiartikliks, nagu seda on täna e-riik ja e-valimised," selgitas TTÜ rektor akadeemik Jaak Aaviksoo.

TalTechDigitali eesmärgiks on muuta ülikoolis õpetamist, õppimist, teadustöö tegemist ning igapäevaelu. See tugineb ülikooli ambitsioonil ja otsusekindlusel kasutada ning arendada nüüdistehnoloogiaid parimal moel ning olla strateegiliste partnerluste loomise

[3]Raymond Kurzweil (s. 12.02.1948) – ameerika arvutiteadlane ja futurist. *Toim. märkus.*

[4]https://www.ttu.ee/tallinna-tehnikaulikool-kaivitab-mahuka-digireformi

eestvedaja nii kodus kui ka piiri taga.

Digipöördest peab kasu tõusma mitte üksnes ülikooli akadeemilisele kogukonnale, vaid kogu ümbritsevale ühiskonnale.

Algatus viiakse ellu ülikooli värskelt reformitud juhtimis- ja haldussüsteemi kaudu. TalTechDigitali toeks luuakse nii ülikooli kui selle välistest liikmetest diginõukogu, mida juhib väljastpoolt ülikooli pärinev esimees, kes tegutseb samas ülikooli tipptasemel digijuhina (CDO — Chief Digital Officer).

Ülikool ootab IT ja digivaldkonna tunnustatud liidreid digijuhiks kandideerima. Uus digijuht juhib reformi nii ettevalmistavas kui elluviimise faasis ning kaasab sellesse ülikooli tippteadlased, 12 000 tudengit, 700 õppejõudu ja rohkem kui pooltuhat teadustöötajat.

Digireformi esimesteks sammudeks on IT taristu analüüs ja plaanimine ning õppetöö digistamine. Koostöös ülikooli strateegiliste partneritega akadeemiast ning era- ja avalikust sektorist Eestis ja välismaal defineeritakse uurimissuunad ning organisatsioonide vajadused. Loodavast digifoorumist saab koostööplatvorm digiarengute toetamiseks üle-Eesti.

TalTechDigital jõuab oma esimese verstapostini TTÜ 100. sünnipäeval 2018. a. septembris ning käivitub täies mahus 2020. aasta alguseks.

 Autoriõigus EMS, 2018