

ARVUTIPÕHISE TOOTE JA TOOTMISE ARENDAMISKESKKONNA LOOMINE MASINA- JA APARAADIEHITUSE ETTEVÕTETELE

Rein Küttner, Martin Eerme

Tallinna Tehnikaulikooli masinaehituse instituut

Raalprojekteerimissüsteemide (CAD/CAM süsteemide) väljatöötamist ja evitamist on hinnatud üheks 20nda sajandi väljapaistvamaks saavutuseks tehnika- teadustes ja tehnoloogias (National Academy of Engineering ja American Society of Mechanical Engineering (USA) hinnangud).

Selle valdkonna töödega alustati tolleaegses TPI masinaehitustehnoloogia kateedris varakult, 1965 aastal. Kuni 1990ndate alguseni tehti lepingulisi uurimistöid valdavalt NSV Liidu suurtele energeetikamasinaehituse firmadele ja vähesemal määral ka Eestis asuvatele ettevõtetele (Pioneer, Tallinna Masinatehas, Dvigatel jt). Loodi esmane vajalik infrastruktuur, mis võimaldas alustada TPI-s võrreldes teiste tolleaegsete NSVL ülikoolidega suhteliselt varakult raalprojekteerimisalast õpetamist, kaasata üliõpilasi sellealastesse projektidesse. Raalprojekteerimise tarkvara väljatöötamise alal akadeemikute B. Tamme ja E. Tõugu juhendamisel tehtavad tööd olid rahvusvaheliselt tunnustatud, TTÜ masinaehituse instituudil oli tihe koostöö.

Alates 1990ndate algusest tuli oluliselt muuta teadus- ja arendustöö eesmärgid, moderniseerida arvuti- baas. Avanes võimalus kasutada maailma juhtivate tarkvarafirmade toodangut. Kõik see nõudis mahukat ümberõpet ja nn "oma uute nišside" leidmist, teenindamiseks Eesti tööstust, sh eriti masina- ja aparaadiehitust.

Kaasaja avatud majanduse tingimustes peab ettevõtte, kes soovib oma tootega konkurentsivõimeliselt püsida, jõudma turule enne konkurente, tagades sh toote konkurentsivõimelisuse, st toode peab olema sobiva hinnaga ja vastama turu nõuetele. Kõik see tingib vajaduse kasutada uusi täiustatud projekteerimis- meetodeid, uusi tehnilisi lahendusi jm uuendusi konstrueerimise ja tehnoloogia vallas, lühendada toote turule toomise aega, tõsta kvaliteeti jms.

Projekteerimine peab kaasajal kindlustama olukorra, kus võimalikult varakult, st juba projekteerimise algetappidel, oleks võimalik hinnata tulevase toote põhilisi näitajaid, vähendada võimalikke vigu projekteerimisel, koordineerida edasisi tegevusi tootmise käivitamisel jms. See nõuab süsteemi adekvaatselt kirjeldavate mudelite koostamist ja kasutamist.

Ettevõtte konkurentsivõime seisukohalt on oluline koguda ja süstematiseerida nii oma ettevõttes kui maailmas (koostööpartnerite ja sh ka turukonkurentide juures) olemasolevat informatsiooni ja oskusteavet. Kõik see nõuab mahukate ja projekteerimist toetavate andme- ja teabebaaside loomist ja kasutamist projekteerimisel.

Keerukad masinaehituslikud tooted (näiteks autod) koosnevad ligikaudu 10 000 detailist/komponendist ja nende projekteerimine nõuab 4 aastat 750–1500 inseneri tööd. Lennuk koosneb ligikaudu 3 miljonist komponendist ja lennuki projekteerimine nõuab 5 aastat tööd 5000 inimeselt. Võib öelda, et Eesti masina- ja aparaadiehituse tööstus taolisi keerukaid tooteid ei tooda. Tooted tuhande ja enam komponendi- ga pole aga ka meie tööstusele mingi erand.

Kaasaegne CAD/CAM/CAE süsteemidel põhinev tootearendus kasutab toodete mahulist (3D) modelleerimise tehnoloogiaid. Olemasolevad baassüsteemid (näiteks Pro/ENGINEER, SolidEdge jt) pakuvad terve rea üldkasutatavaid vahendeid toodete digitaalseks simulatsiooniks ja nn "virtuaalseks testimiseks", sh geomeetria, kinemaatika ja dünaamika, tugevusomaduste jms modelleerimiseks, nende animatsiooniks, kontrollimaks toote komponentide liikumiste järjestust, võimalikke kokkupõrkeid ja muid ajalisi nähtusi.

Turulolevate süsteemide poolt pakutavad võimalused on reeglina liialt üldised, et neid kasutada efektiivselt konkreetsetes ettevõttes. Üldkasutatavate süs-

teemide kasutamisel ja loomisel on eeldatud, et kasutajad ettevõtted täiustavad neid ja adapteerivad vastavalt konkreetsetele oludele, luues ettevõttele või nende grupile orienteeritud arvutipõhiseid keskkondi.

Kui tinglikult jagada süsteemid “ühe inseneri või ühe inseneride grupi” süsteemiks ja “kogu ettevõtte või ettevõtete koostöövõrgu tööd toetavateks süsteemideks”, siis meie huvi on esmajoones seotud teist tüüpi süsteemide arendamisega, mis toetavad kogu ettevõtte tootearenduse ja toomisega seotud tegevusi, alates projekteerija ideedest läbi tootmise kuni toote eksploatatsioonini, sh dokumentide haldamist, projektijuhtimist jms. Tuleb arvestada, et ettevõttes on vaadeldaval ajaperioodil projekteerimises või tootmises mitmeid sarnaseid tooteid. Toote ja tootmise arendamisel tuleb arvestada koostööpartnere võimalusi, tehnika arengutrende jms. Kõik see nõuab vastavate meetodite loomist ja evitamist, mis ongi TTÜ masinaehituse instituudi teadus- ja arendustöö peamiseks eesmärgiks.

Teadus- ja arendustegevus antud valdkonnas on jaotatud järgmiselt:

1. integreeritud tootearenduse ja tootmissüsteemi optimaalse dekompositsiooni ja koordineerimisteooria probleemide uurimine ja realiseerimine ettevõttele ja ettevõtete koostöövõrgule;
2. erinevate Eesti tööstusele huvi pakkuvate tooterepere (näiteks tehnoloogilised abinõud, metallkonstruktsioonid, jms) projekteerimist toetavate arvutipõhiste projekteerimiskeskondade, sh teabe- ja andmebaaside loomine ning evitamine;
3. toodete staatiliste tugevusomaduste, dünaamiliste omaduste jt omaduste hindamisel baseeruvate analüüsi- ja projekteerimise meetodite (CAE ja lõplike elementide meetod) arendus sarnaste toodete peredele, toodete omaduste katsetamine (CAT).

RAALPROJEKTEERIMISKESKKONDE ARENDUS

Arvutipõhine projekteerimiskeskond arendatakse välja järgmiste ülesannete lahendamiseks [2]:

- Projekteeerimise lähteülesande koostamine. Kontseptuaalne projekteerimine.

Lähteülesande koostamine ja kontseptuaalne projekteerimine sisaldab endas arvutuskeemi täpsustamist ja eelnevaid projektarvutusi (mõjuvad jõud, täpsus jms).

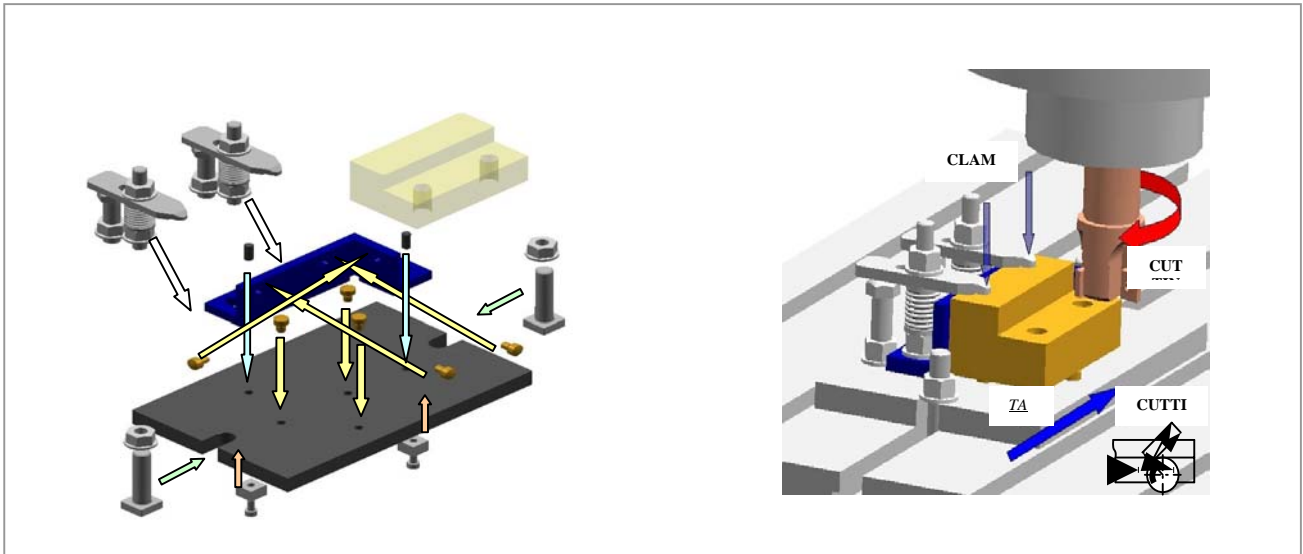
- Standard- ja tüüplahendite teekide kasutamine projekteerimisel. Lahenduste (komponentide, moodulite jms) otsing Internetis.
- Toodete ruumiliste (3D) mudelite koostamine. Toote 3D mudeli koostamine graafilises dialoogis moodulite teegist valitud komponentide mudelite ja projekteeritud originaaldetailide/koostude baasil.
- Toote omaduste hindamine 3D mudelite analüüsi teel, sh animatsiooni kasutades.
- Projekteeerimise dokumentatsiooni automatiseeritud koostamine.

Projekteerimisel kasutab insener hinnanguliselt üle 80% olemasolevaid lahendeid. Iga konstruktsioon sisaldab hulgaliselt standardseid, normaliseeritud ja unifitseeritud komponente. Standard- ja tüüplahendite teegid võivad olla kas spetsiaalsed (koostatakse teatud ettevõtte tarvis) seniste lahenduste (üldistuse) alusel või moodustatakse väljavõtetena (piiratud nomenklatuurina) erinevate tarnijate kataloogidest (kasutades näiteks Internetis olevaid pakkumisi). Nimetatud teekide tasemest sõltub suuresti ka projekteeritavate toodete tehniline tase, nende kasutamise otstarbekus, jm tehnilis-majanduslikud näitajad.

Projekteerimiseks vajalike tüüplahendite ja standardelementide/moodulite mudelid salvestatakse 3D mudelite kujul süsteemi teabebaasi, kust saab neid vaadelda ja valida konkreetse projekteerimisülesande tarvis välja parimad lahendid. Komponentide valikuks salvestatakse koos geomeetrilise mudeliga ka nende mõõtmed, aga samuti näitajad, mis on vajalikud valiku otstarbekuse hindamiseks (hind, senise kasutamise sagedus, tellimiseks/valmistamiseks kulu aeg, võimalik tarnija jms) [1].

Lihtsustatud näide toote (pingi rakise) 3D mudeli koostamise graafilises dialoogis moodulite teegist valitud komponentide mudelite ja projekteeritud originaaldetailide/koostude baasil on toodud joonisel 1. Valmis 3D mudelit tuleb analüüsida mitmest aspektist, sh näiteks animatsiooni teel (joonis 1).

Ettevõtetes realselt toodetavate ja kasutatavate toodete mudelid on keerukad, sisaldavad sadu erinevaid



Joonis 1.

Pingirakise 3D mudeli koostamine tüüpelementidest ja rakise kontroll sisselõikele animatsiooni teel.

komponente, mille valiku otstarbekusest sõltub kogu toote konkurentsivõime (vaata näide suhteliselt lihtsast tootest – lõikestantsist joonisel 2). Kaasajal puuduvad üldistatud ja teoreetiliselt põhjendatud lahendid antud ülesande lahendamiseks, eriti kui arvestada mitte ühte toodet, vaid omavahel tehnilis/tehnoloogiliselt ja majanduslikult seotud toodete kogu sortimenti antud ettevõttes. Töoliste meetodite ja neid toetavate instrumentide arendamisega tegeleb ka TTÜ masinaehituse instituut.

STRUKTUURIDE JA MEHHAANISMIDE TUGE- VUSOMADUSTE ANALÜÜS JA HINDAMINE

Mis tahes masina või seadme projekteerimine eeldab mahukaid ja keerukaid tugevusomaduste kontrollarvutusi, mille realiseerimiseks kasutatakse inseneriarvutuste süsteeme (CAE – Computer Aided Engineering). Analüütiline masina tugevus-tingimuste analüüs on rakendatav reeglina lihtsa geometriaga juhtudel, praktikas ettetulevate keeruliste süsteemide puhul aga mitte, siin sobivad numbrilised meetodid paremini. Seni teadaolevatest on praktikas end kõige paremini õigustanud numbriliseks meetodiks Lõplike Elementide Mee-

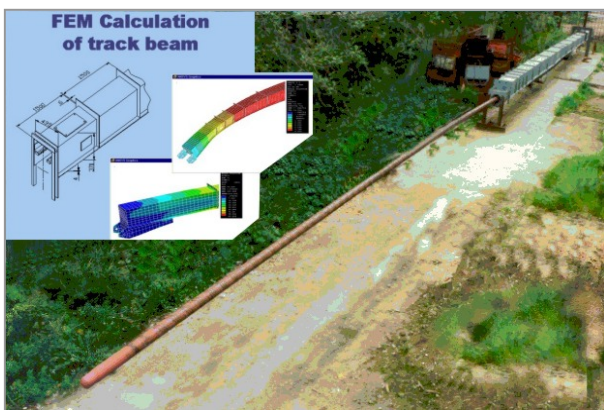


Joonis 2.

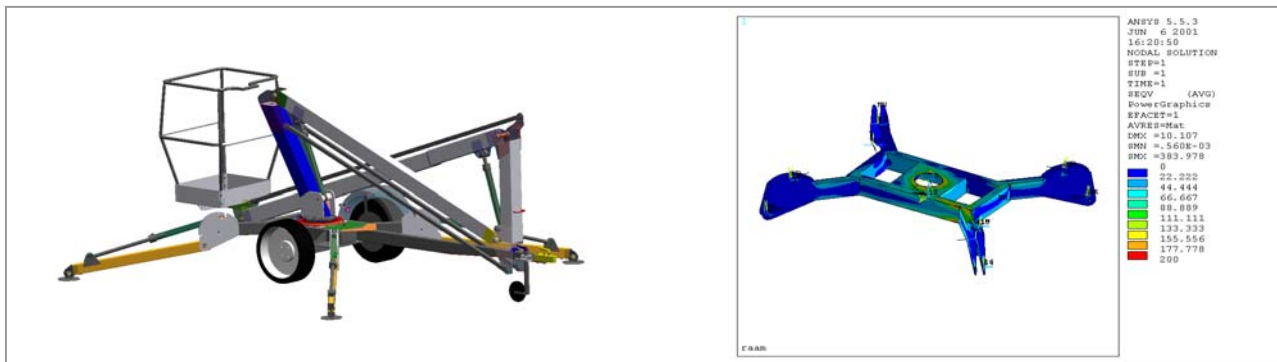
Lõikestantsi 3D mudel.

tod (LEM). TTÜ masinaehituse instituudis on pikaajalised kogemused LEM programmipakettide ANSYS ja CosmosM kasutamisel, mis võimaldavad lahendada erinevat tüüpi ülesandeid. LEM võimaldab lahendada järgmisi analüüsi ja projekteerimisülesandeid: struktuuride staatika, struktuuride dünaamika, temperatuuri- ja elektromagnetväljad, akustika, arvutuslikud voolamist kirjeldavad ülesanded (Computational Fluid Dynamics), löögi (crash) simulatsioon, sügavtõmbamine, metallide painutamine ja sepistamine ning paljud teised.

Oleme teinud koostööd Eesti ettevõtetega tugvusarvutuste teostamiseks ja konstruktsioonide analüüsiks tootearenduse projektides. Meie poole on pöördutud ka ekspertiisi tellimustega, kui on vajadus uurida toote purunemise põhjusti.



Joonis 3. 18m tahmapuhur.



Joonis 4.

11,5m tõsteulatusega korvtõstuki 3D CAD ja LEM mudelid.

Lahendatavate ülesannete näited:

PINGETE JAOTUSE ANALÜÜS (staatiline koormusolukord)

Konstruktsioonide näidetena võib vaadata sõrestikke, raame, surveanumaid jne. Enamasti viiakse arvutused läbi struktuuridele, mille ruumiline pinge-/deformatsiooni olukord on kriitiline. Taoliste konstruktsioonide praktilised näited Eesti ettevõtete toodangust on toodud joonistel 3 ja 4.

TOOTE TOPOLOGIA JA PARAMEETRITE OPTIMEERIMINE

Topoloogia optimeerimise puhul antakse ette ruumi piirkond ja seal mõjuvad jõud ning sihi-funktsioonina näiteks eemaldatava materjali hulk. Vastavad algoritmid hindavad/kuvavad materjali otstarbeka jaotuse (joonis 5).

Struktuuride optimeerimise puhul antakse ette optimeeritavad parameetrid. Defineeritakse sihi-funktsioon, mida tahetakse saavutada/optimeerida (näiteks mass) ja kirjeldatakse piiravad tingimused (näiteks lubatud pingete piirväärtus). Lõpptulemusena saame optimeeritud toote.

Pidevalt muutuvate materjalide ja uute konstruktsioonielementide kasutamise tingimustes on lisaks arvutuslikule modelleerimisele vajalik täpsustada arvutusmodelite parameetreid ja hinnata arvutusmodelite vastavust tegelikule tööolukorrale. Eriti vajalik on see keerukamate ja vastutusrikaste konstruktsioonide juures, mis töötavad ekstreemsetes tingimustes [3].



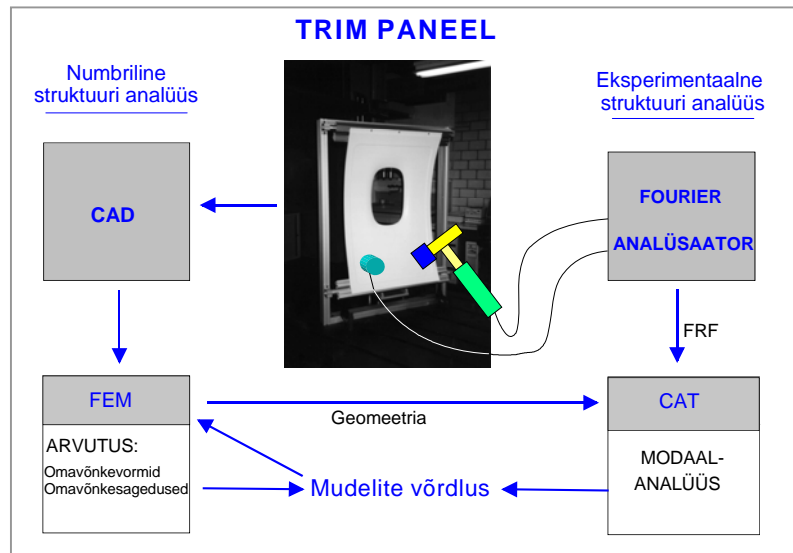
Joonis 5.

Kabinetiklaveri 3D CAD mudel ja malmraami optimeerimise LEM mudel.

Taolises olukorras on vajalik testida kas toodete prototüüpe või nende vähendatud mudeleid. Masinaehituse instituudis on sisustatud modaalanalüüsi laboratoorium konstruktsioonide või nende mudelite testimiseks, kus läbiviidavad katsed võimaldavad suurendada arvutuslike LEM mudelite usaldusväärsust (joonis 6).

Joonis 6.

Lennuki Do328 Trim paneeli LEM mudeli täpsustamine mõõtetulemustega [1].



KASUTATUD KIRJANDUS

1. Nekrassov, G., Küttner, R. Development an intelligent, integrated environment for computer-aided design of work-holders. Proc. of the 3rd International DAAAM Conference. Tallinn, 2002, 124-127.
2. Küttner, R. A framework for collaborative product and production development system.

Proc. of the 3rd International DAAAM Conference. Tallinn, 2002, 34-37.

3. Resch, M., Eerme, M., Final report of ASANCA II Subtask 2.1 Deliverable 14/3, Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Laboratory of Design and Construction Methods, 1996.