

ISO tolerancijų ir suleidimų parinkimo skaitmenizavimas

Tytas Savickas, Sigutė Savickienė*, Jūratė Vaitekoniene

Klaipėdos valstybinė kolegija, Technologijų fakultetas, Bijūnų g. 10, Klaipėda,
tel. +370 655 91547,

El. paštai: t.savickas@kvk.lt, s.savickiene@kvk.lt, j.vaitekoniene@kvk.lt

(Gauta 2023 m. kovo mėn.; atiduota spaudai 2023 m. kovo mėn.; prieiga internete nuo 2023 m. gegužės 10 d.)

Anotacija

Aukštosios mokyklos, rengiančios inžinerijos specialistus pramonei, nenorėdamos atsilikti nuo *Pramonė 4.0* keliamų reikalavimų darbuotojų skaitmeninei kompetencijai diegia interaktyvias, patirtines edukacines sistemas ir skaitmenines technologijas. Šiame straipsnyje identifikuojamos skaitmeninio, skaitmenizavimo ir skaitmeninių transformacijų sąvokos. Aptariamos *Pramonė 4.0* sąlygotos ateities darbuotojų galimybės išlikti darbo rinkoje, reikalaujančioje skaitmeninių kompetencijų. Svarstomi *Švietimas 4.0* iššūkiai, sprendžiantys aukšto lygio specialistų rengimą, studijų infrastruktūros, mokymosi ir ugdymo aplinkų modernizavimo, pažangių (IT ir kitų) technologijų diegimo perspektyvas, dėstytojų skaitmeninių kompetencijų tobulinimą. Straipsnyje pristatoma autorių sukurta mokomoji kompiuterinė programa MATAS, skirta ISO tolerancijų ir suleidimų parinkimui optimizuoti: leidžianti parinkti matmenų nuokrypas, pamatyti tolerancijų laukų išsidėstymo vizualizacijas, rasti rekomendacijų apie suleidimų parinkimą, jų skaičiavimo metodus, taikymą ir žymėjimą brėžiniuose; suteikianti galimybę studentams savarankiškai spręsti techninių matavimų uždavinius arba pasitikrinti gautus rezultatus bei padedanti dėstytojams lengviau organizuoti studijų procesą. Straipsnyje taip pat pristatomos tolerancijų ir suleidimų sistemos, teisinė metodologija, aptariamas nuokrypų klasifikavimas ir normavimas.

Reikšminiai žodžiai: *aktyvūs studijų metodai, mokomoji kompiuterinė programa MATAS, techniniai matavimai, tolerancijos, suleidimai.*

Abstract

To keep pace with the digital competence requirements of Industry 4.0, higher education institutions, which are training engineering professionals for industry, are introducing interactive, experiential education systems and digital technologies. This paper identifies the concepts of digitisation and digital transformation. It discusses the potential of Industry 4.0 for future workers to survive in a labour market demanding digital competences. Education 4.0 challenges are considered, addressing the training of high-level professionals, the prospects for modernising study infrastructure, learning and educational environments, the introduction of advanced (IT and other) technologies, and the development of digital competences of teachers. The paper presents the MATAS educational computer program developed by the authors, designed to optimise the selection of ISO tolerances and fits: it allows selecting dimensional tolerances, visualizing the location of the tolerance fields, providing guidance on the selection of tolerances, their calculation methods, their application and marking on drawings; it enables students to solve the tasks of technical measurements independently or to check the calculated results, and it also makes it easier for lecturers to facilitate their teaching process. The paper also introduces tolerance and system of fits, legal methodology, classification, and normalization of tolerances.

Key words: *Active learning methods, educational computer programme MATAS, technical measurements, tolerances, fits*

Įvadas

Ketvirtoji pramonės revoliucija pasižymi tokių technologijų kaip didieji duomenys, dirbtinis intelektas, daiktų internetas, robotika, 3D spausdinimas ir pan. sinteze, jų fizine, skaitmenine ir biologine sąveika. Ši revoliucija pasižymi savo greičiu, eksponentiniu plėtojimusi, savo plačia įvairove, sistemų transformacijomis, apimančiomis valstybių, įmonių, pramonės sektorių ir visos visuomenės sistemų pertvarką (Schwab, 2016).

Pramonė 4.0 neįmanoma be nuolat tobulėjančios visuomenės ir be *Švietimas 4.0* revoliucijos. *Švietimas 4.0* privalo atitikti ketvirtosios pramonės revoliucijos padiktuosius poreikius, paskaitoms tampant laisvesnėmis, asmeniškesnėmis, dėstytojams atliekant mentorių vaidmenis. Pagrindine jų užduotimi tampa įrankių, padedančių išsiugdyti mokymosi visą gyvenimą įprotį, suteikimas. Ketvirtoji pramonės revoliucija mums atneša personalizuotus produktus, galimybę prisitaikyti prie kiekvieno studento poreikių, o dėstytojus verčia kūrėjais bei proceso prižiūrėtojais. Todėl švietimas



turi koncentruotis į besimokančiųjų savarankiškumą, nuomonių įvairovę, kūrybingumą ir gebėjimą nepaliaujamai mokytis. Šitie reikalavimai kelia labai didelius iššūkius dėstytojų asmenybės tobulėjimui ir kompetencijai, ypač dirbančių inžinerinėse ir IT studijose (Passey, 2017). Norint išugdyti *Pramonė 4.0* darbuotojams reikalingas kompetencijas savo kompetencijas privalo tobulinti ir dėstytojai.

Inžinierių rengimo pagrindus sudaro įvairūs inžineriniai dalykai. Techniniai matavimai yra viena iš inžinerinių disciplinų. Ji skirta metrologijos ir techninių objektų matavimų pagrindams įgyti, standartų sistemos, mašinų detalių technologinio proceso, produkcijos kokybės ir matavimų tikslumo įvertinimui. Daugelyje pasaulio šalių taikoma ISO (*International Organisation for Standardisation*) tolerancijų ir suleidimų sistema. ISO sistema sukurta siekiant unifikuoti nacionalines tolerancijų ir suleidimų sistemas bei supaprastinti tarptautinius ryšius (Vekteris, Kasparaitis, Kaušinis, ir Kanapėnas, 2020). Gebėjimas parinkti tinkamas matmenų tolerancijas ir suleidimus yra svarbus inžinerinių studijų programų studentams, studijuojantiems Inžinerinės grafikos, Kompiuterinio projektavimo dalykus bei rengiantiems kursinius darbus.

Tyrimo objektas yra Techninių matavimų dalyko mokymo(si) proceso skaitmenizavimas. Viena iš svarbiausių Techninių matavimų dalyko temų yra ISO tolerancijų ir suleidimų sistemos taikymas mašinų gamyboje, todėl **tyrimo tikslas** yra optimizuoti ISO tolerancijų ir suleidimų parinkimo mokymo(si) procesą, sukuriant programinį įrankį. Tikslui pasiekti buvo iškelti šie **tyrimo uždaviniai**:

1. teoriškai pagrįsti skaitmeninimo problematiką pramonėje ir studijose;
2. sukurti mokomąją kompiuterinę programą, skirtą ISO tolerancijoms ir suleidimams parinkti;
3. įvertinti sukurtos mokomosios kompiuterinės programos panaudojimo efektyvumą studijų procese.

Tyrimo **metodai** – mokslinės literatūros apžvalga, dokumentų analizė, empirinis (kokybinis) tyrimas.

Skaitmeninimo iššūkiai: nuo *Pramonė 4.0* iki *Švietimas 4.0*

Skaitmeninimas – tai skaitmeninio fizinių objektų ar atributų vaizdavimo kūrimą. *Skaitmenizavimas* reiškia procesų įgalinimą arba tobulinimą panaudojant skaitmenines technologijas ir suskaitmenintus duomenis. *Skaitmeninė transformacija* iš tikrųjų yra verslo transformacija, kurią įgalina skaitmenizavimas. *Pramonė 4.0* yra europietiškas skaitmeninės transformacijos ir skaitmenizavimo derinys (Vrana, Singh, 2021).

Skaitmeninė transformacija sparčiai vystosi visoje gamybos pramonėje. Jei gamybos įmonių vadovai nesuvoks, kas geriausia jų verslui ir klientams dabar ir ateityje, jiems teks kovoti su nepasiektomis pajamomis, neproduktyviais žmonėmis, pasenusiais įrengimais, programine įranga ir procesais. Siekdamas pasirengti ateičiai ir išlikti svarbios savo pramonėje, gamybos įmonės turi investuoti į skaitmenines technologijas ir programinę įrangą, kad įgytų pranašumą ir taip hiperkonkurencingoje rinkoje (OECD, 2018).

Skaitmeninė įmonių transformacija turi įtakos darbuotojų profesinėms kompetencijoms ir nuolatiniam jų tobulinimui. Skaitmeninė kompetencija yra svarbi tiek asmenims, tiek organizacijoms, siekiančioms neatsilikti nuo pokyčių, didinti efektyvumą ir diegti naujus produktus bei procesus. Neturintys skaitmeninių įgūdžių netenka naujų technologijų teikiamų galimybių (Fero, Novotna & Porubčinova, 2019).

Skaitmeninė kompetencija yra daugelio esminių gyvenimo įgūdžių ir vertybių informacinėje visuomenėje pagrindas. IRT įgūdžių įsisavinimas yra svarbus žingsnis įgyjant daug kitų kompetencijų, ne tik su IRT susijusių. Daugelis mokymosi visą gyvenimą ir asmeninio tobulėjimo veiklų dabar priklauso nuo e. mokymosi išteklių. Todėl asmenys turi turėti tam tikrą skaitmeninių įgūdžių lygį, kad galėtų išnaudoti visą šių išteklių potencialą. Šie ištekliai turi papildomą naudą, nes jie yra prieinami daugeliui žmonių visame pasaulyje ir gana dažnai yra nemokami.



Skaitmeninių technologijų plėtrai pramonės įmonėse labai svarbus valstybės požiūris ir kuriamos palankios sąlygos. Konkurencingesnės ir technologijomis grįstos pramonės pagrindas yra verslo investicijos ir inovacinės veiklos. Infrastruktūros kokybė, prieinamumas ir kvalifikuotos darbo jėgos pakankamumas sudaro palankias sąlygas verslo investicijoms (Smit, Tacke, Lund, Manyika & Thiel, 2020).

2022 m. Lietuvos inovacijų centro atlikta įmonių apklausa parodė, kad jos tikisi toliau aktyviai bendradarbiauti su skaitmeninę verslo transformaciją įgalinančiais dalyviais, pvz., kompetencijų centrais, inovacijų paramos organizacijomis, mokslo institucijomis ar kitais verslais, nes jos susiduria su žinių ar finansų trūkumu bei įvairiomis rizikomis. Bendradarbiavimas gali padėti spręsti šiuos iššūkius (LIC, 2022). Lietuvos darbo rinkos situacija įmonių vertinimu yra gana prasta. Net 66 % įmonių pažymėjo, kad joms trūksta skaitmenines kompetencijas turinčių specialistų, o 58 % įmonių teigia, kad studijų institucijos neparengia pakankamai skaitmeninių kompetencijų turinčių specialistų. Beveik pusė įmonių skundžiasi nepalankia migracijos politika siekiant pritraukti tokius specialistus iš užsienio (LIC, 2022).

Skaitmeninėms transformacijoms keičiant pasaulį neišvengiamai kinta mokymo(si) procesas visų lygių švietimo institucijose. Aukštosios mokyklos, atliepdamos *Švietimas 4.0* laikotarpio keliamus reikalavimus, yra priverstos reaguoti labai greitai. Tradicinis, disciplinomis pagrįstas mokymas turi pavirsti į iššūkius grįstą eksperimentinį ir patirtinį mokymą su integruotu skaitmeniniu mokymu(si) studijų procese. Tai tampa nemenku iššūkiu ne tik pačioms įstaigoms, bet ir dėstytojams. Į įprastines paskaitas integruojant naujas technologijas ir skaitmeninant paskaitų medžiagą, iškyla nemažai problemų ir skaitmeninio mokymo(si) valdymo barjerų (Passey, 2017).

Prielaidos šiuolaikinių inžinierių rengimui yra nuolatinis kompetencijų didinimas:

- nuolatinis darbo proceso tobulėjimas visuose lygiuose dėl greitėjančių inovacijų ciklų,
- tarpdiscipliniškumas,
- komunikavimas, gebėjimas mokytis visą gyvenimą ir prisitaikymas prie pokyčių,
- IT įgūdžiai savo ir gretimų specializacijų srityse dėl būtinybės *komunikuoti sujungtų IT sistemų kalba* (Frey, & Osborne, 2017).

Pramonė 4.0 era pakeitė ne tik įmonių technologinę raidą. Jos fone vykstanti skaitmeninė pertvarka keičia visuomenę, darbo rinką ir švietimo sistemą. COVID-19 krizė šiuos procesus paspartino dėl nuotolinio komunikavimo būtinybės, suteikė naujų mokymo/si patirčių.

Europos Sąjungos strateginiai dokumentai *Europos įgūdžių darbotvarkė, Komunikatas dėl Europos švietimo erdvės* (European Commission, 2017) atkreipia dėmesį į švietimo sistemos skaitmeninės transformacijos būtinybę (European Commission, 2020). Parengtame *2021–2027 m. skaitmeninio švietimo veiksmų plane* „Švietimo ir mokymo pritaikymas prie skaitmeninio amžiaus“ (European Commission, 2020) pateikiama skaitmeninio raštingumo gerinimo įgūdžių ir gebėjimų gerinimo vizija visuose švietimo ir mokymo lygmenyse. Veiksmų planu siekiama užtikrinti, kad iki 2025 m. 70 proc. 16–74 metų amžiaus asmenų turėtų bent pagrindinių skaitmeninių įgūdžių. Svarbūs veiksmų plano prioritetai yra efektyvios skaitmeninės švietimo ekosistemos plėtos skatinimas (1 strateginis prioritetas) bei skaitmeninei pertvarkai būtinų skaitmeninių įgūdžių ir gebėjimų stiprinimas (2 strateginis prioritetas) (European Commission, 2020).

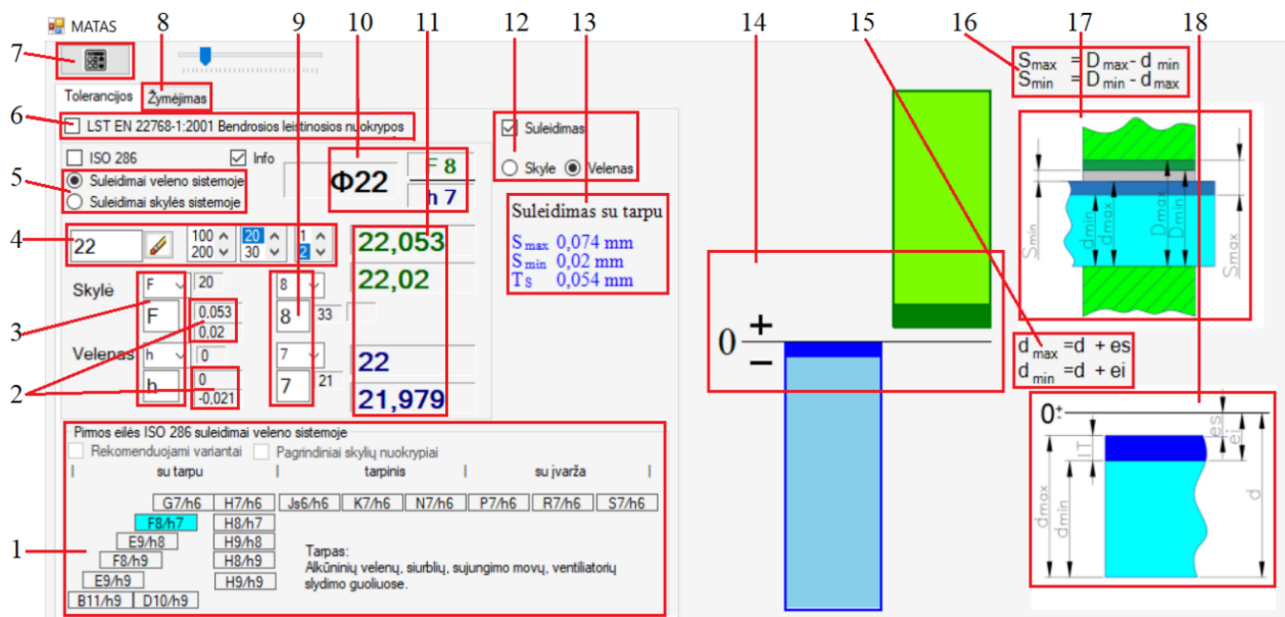
Aukštosios mokyklos, kurių pagrindinis tikslas paruošti žmones, gebančius sėkmingai veikti naujoje realybėje, tobulina studijų programas, kuriose įprastas mokymas po truputį užleidžia vietą skaitmeniniam mokymui(si). *Švietimas 4.0* yra atsakas į *Pramonė 4.0* poreikius susieti skaitmenines technologijas ir žmogaus kompetencijas, sukuriant jam naujas galimybes. Klaipėdos valstybinės kolegijos skaitmeninio strategijos vienas iš prioritetų – užtikrinti absolventų, atitinkančių darbo rinkos poreikius, parengimą, vykdyti taikomuosius mokslinius tyrimus, eksperimentinę plėtrą, organizuoti tarptautinį akademinį judumą, įsitraukti į regiono strateginių planų bei programų įgyvendinimą.



Kuriant strategiją buvo siekiama sudaryti galimybes Kolegijos bendruomenei kurti ir saugiai naudotis skaitmeniniais produktais bei paslaugomis, stiprinti darbuotojų skaitmenines kompetencijas bei sudaryti palankias technologinių pokyčių įsisavinimo sąlygas. Strategijoje numatytos informacinių sistemų, paslaugų ar registų kūrimo / vystymo veiklos.

ISO tolerancijų ir suleidimų sistemos taikymo kompiuterinė programa

Egzistuoja kompiuterinių programų užsienio kalba, kurios leidžia parinkti matmenų nuokrypas, tačiau juose nerasta tolerancijų laukų išsidėstymo vizualizacijos, pateiktos papildomos informacijos apie suleidimų parinkimą, jų skaičiavimo metodus, taikymą ir žymėjimą brėžiniuose. Ypač svarbu rasti tokią informaciją greitai ir vienoje vietoje. Autorių sukurta programa MATAS, skirta ISO tolerancijų ir suleidimų sistemai taikyti (lygiems cilindrinams sujungimams), išsprendžia minėtas problemas. Sukurtos programos MATAS pagrindinis langas pateiktas 1 paveiksle.



1 pav. Programos MATAS pagrindinis langas

1 – rekomenduotinių pirmenybinių tolerancijų laukų pasirinkimas, 2 – skylės ir veleno pagrindinių nuokrypių pasirinkimas, 3 – skylės ir veleno pagrindinių nuokrypių pasirinkimas, 4 – nominaliojo matmens pasirinkimas, 5 – suleidimo sistemos (skylės ar veleno) pasirinkimas, 6 – bendrosios leistinosios nuokrypos, 7 – funkcinis mygtukas „skaičiuoti“, 8 – suleidimų žymėjimas brėžiniuose, 9 – tolerancijos tikslumo laipsnių pasirinkimas, 10 – skaičiuojamo suleidimo informacija, 11 – skylės ir veleno ribiniai matmenys, 12 – skylės ar veleno vizualizacijos pasirinkimas, 13 – suleidimo tipo nuoroda ir apskaičiuoti suleidimo parametrai, 14 – tolerancijų laukų išsidėstymo schema, 15 – veleno arba skylės ribinių matmenų skaičiavimo formulės, 16 – suleidimo (tarpų ar įvaržų) skaičiavimo formulės, 17 – skaičiuojamo suleidimo pagrindinių parametru vizualizacija, 18 – veleno arba skylės pagrindinių parametru vizualizacija. Šaltinis: sudaryta autorių.

Fig. 1. The main window of the MATAS program

1 – selection of the recommended preferred tolerance classes, 2 – upper and lower deviations of the hole and shaft dimensions, 3 – selection of the hole and shaft main tolerances, 4 – selection of the nominal dimension, 5 – selection of the basis system (hole or shaft), 6 – general tolerances, 7 – functional button "calculate", 8 - marking of the tolerance in the drawings, 9 - selection of the IT grade, 10 – information of the fit, 11 - limit dimensions of the hole and shaft, 12 - selection of the hole or shaft visualization, 13 - indication of the type of fit and calculated fit parameters, 14 – layout diagram of the the tolerance zone, 15 – formulas for calculating the limit dimensions of the shaft or hole, 16 – formulas for calculating fit (clearance fit or interference fit), 17 – visualization of the main parameters of the calculated fit, 18 – visualization of the main parameters of the shaft or hole. Source: compiled by authors.

Pagamintos detalės turi savo geometrinę formą, paviršiaus kokybę (pvz., šiurkštumą, banguotumą) ir matmenis. Visiems minėtiems elementams būtina nustatyti leidžiamąsias nuokrypas, nes jas viršijus pablogėja detalių funkcionalumas. Norint užtikrinti gaminio kokybę ir

pakeičiamumą, detalių elementų matmenys, geometrinė forma, paviršių kokybė reglamentuojami standartais (Baskutis et al., 2019). Šiuo metu daugumoje pasaulio šalių taikoma ISO tolerancijų ir suleidimų sistema. Bendrosios paskirties (tipinėms) mašinų detalėms tolerancijų ir suleidimų sistemos yra sudarytos pagal vienodus principus. Tolerancijų ir suleidimų sistema vadinama tolerancijų ir suleidimų eilių visuma, dėsningai sudaryta remiantis bandymais, teoriniais bei eksperimentiniais tyrinėjimais ir įforminta standartu. Joje nurodomi visi mašinų gamybai reikalingi suleidimų tipai ir pateikiama tikslumų gradacija (Vekteris et al., 2020). Naudojant šią sistemą, reikia mažiau išlaidų gamybai, įrankiams ir matavimo priemonėms gaminti. Standarte yra numatyti suleidimai skylės ir veleno sistemoje.

Programos MATAS realizacijoje galima išskirti tokius žingsnius (1 pav.):

1. Programos pagrindiniame lange galima *pasirinkti, kokioje sistemoje (veleno ar skylės) atliekami suleidimo skaičiavimai*.

2. *Pasirenkamas nominalusis matmuo*. Nominalusis detalės (skylei – D , velenui – d) matmuo yra pagrindinis detalės matmuo. Jis yra apskaičiuojamas taikant medžiagų mechanikos teorijos pagrindus (pvz., konstrukcijų skaičiavimai stiprumui, standumui) arba gali būti parenkamas atsižvelgiant į konstrukcinius reikalavimus. Apskaičiuota skaitinė matmens vertė suapvalinama iki didesnio skaičiaus pagal normalinių skersmenų ir ilgių eilę.

3. *Pasirenkami skylės ir veleno pagrindiniai nuokrypiai*. Pagrindinis nuokrypis – tai vienas iš dviejų nuokrypių, kuriuo apibrėžiama tolerancijos lauko padėtis nulinės linijos atžvilgiu. Tokiu nuokrypiu laikomas artimiausias nulinei linijai nuokrypis. Pagrindiniai nuokrypiai žymimi lotyniškais raidėmis: skylių – didžiosiomis, velenų mažosiomis. Nuokrypiai nuo A iki H (nuo a iki h) skirti suleidimų su tarpu tolerancijų laukams; nuokrypiai nuo J iki N (nuo j iki n) – tarpinių suleidimų, nuokrypiai nuo P iki ZC (nuo p iki zc) – įveržtųjų suleidimų.

4. *Pasirenkamas tolerancijos tikslumo laipsnis*. ISO sistemoje matmenims iki 3150 mm nustatyta 20 tikslumo laipsnių (ISO 286-2:2010), žymimų eilės numeriais, didėjančiais didėjant tolerancijai ir turinčių atitikti skirtingų pramonės šakų reikalavimus, pvz., $IT01$ ir $IT0$ tikslumo laipsnių tolerancijos skirtos matų tikslumui normuoti; nuo $IT1$ iki $IT4$ – taikomi kalibrams ir matavimo priemonėms; nuo $IT5$ iki $IT11$ – jungiamiesiems elementams; nuo $IT 12$ iki $IT18$ – netiksliam apdirbimui ir nejungiamiesiems elementams (bendrosios tolerancijos).

Programoje pateikti suleidimai, naudojant pirmenybinius tolerancijų laukus. Juos pasirinkus nereikia atskirai įvesti skylės ir veleno pagrindinių nuokrypių bei tolerancijos tikslumo laipsnių. Siekiant sumažinti naudojamų kalibrų ir įrankių įvairovę, rekomenduotina naudoti pirmenybinius tolerancijų laukus. Dažniausiai ribinės tarpų ir įvaržų reikšmės parenkamos atsižvelgiant į jungties funkcinę paskirtį, todėl programoje pateikiamos rekomendacijos apie pirmenybinių suleidimų panaudojimą. Esant skirtingoms veleno ir skylės tolerancijoms, rekomenduojama, kad skylės tolerancija būtų didesnė už veleno toleranciją ne daugiau kaip dviem tikslumo laipsniais (Baskutis et al., 2019).

5. Paspaudus funkcinį mygtuką „skaičiuoti“, programa pateikia *matmens nuokrypius* (mm), *apskaičiuoja ribinius matmenis* (mm), *pateikia skylės ir veleno tolerancijos laukų išsidėstymo schemą bei pateikia suleidimo pobūdį* (apskaičiuoja maksimalų ir minimalų tarpą arba įvaržą bei suleidimo toleranciją).

Matmens nuokrypis – tai matmens (tikrojo, ribinio ir kt.) ir nominaliojo matmens algebrinis skirtumas. Nuokrypiai gali būti teigiami, neigiami ir lygūs nuliui. Skylės viršutinis nuokrypis žymimas ES , veleno – es . Skylės apatinis nuokrypis žymimas EI , veleno – ei . Skylės ir veleno nuokrypiai apskaičiuojami taip: $ES = D_{max} - D$; $es = d_{max} - d$; $EI = D_{min} - D$; $ei = d_{min} - d$.

Ribiniai matmenys – tai matmenys, tarp kurių gali kisti tikrasis matmuo: didžiausias ribinis skylės matmuo – $D_{max} = D + ES$; didžiausias ribinis veleno matmuo – $d_{max} = d + es$; mažiausias ribinis skylės matmuo – $D_{min} = D + EI$; mažiausias ribinis veleno matmuo – $d_{min} = d + ei$.



Tinkama naudoti laikoma tokia detalė, kai jos tikrasis matmuo yra ne didesnis už jo didžiausią ribinį matmenį ir ne mažesnis už jo mažiausią ribinį matmenį: $D_{min} \leq D \leq D_{max}$; $d_{min} \leq d \leq d_{max}$.

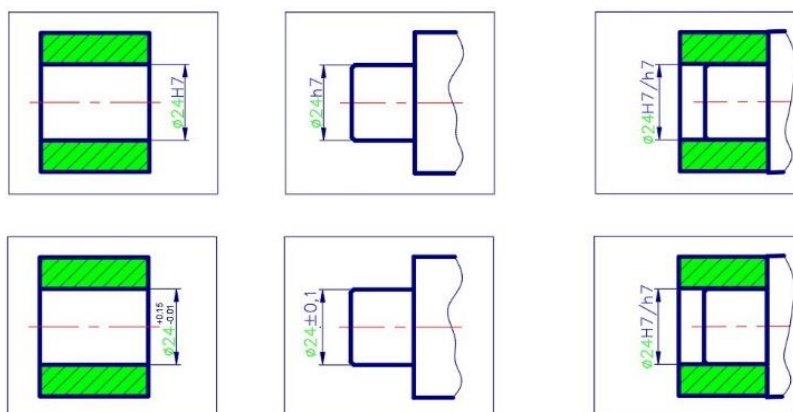
Tolerancija (T) – didžiausiojo ir mažiausiojo ribinio matmens skirtumas arba viršutinio ir apatinio nuokrypio algebrinio skirtumo absoliučioji vertė. Tolerancija visada yra teigiamas dydis. Matmens tolerancija apibūdina reikalaujamą detalės, gaminio tikslumą (žymima T_D ir T_d). Schemoje arba brėžinyje tolerancijos vaizduojamos plotu. Tas plotas vadinamas *tolerancijos lauku*. Tai laukas tarp viršutinio ir apatinio nuokrypio. Fizinė prasme tolerancija išreiškia galimo tikrųjų matmenų išsibarstymo dydį, t. y. nurodytą pagaminimo tikslumą. Didinant toleranciją, paprastai gaminių kokybė blogėja, bet gamybos savikaina mažėja (Baskutis et al., 2019).

Suleidimas – tai skylės ir veleno sujungimo pobūdis, kuris priklauso nuo gaunamų tarpų arba įvaržų dydžio. Suleidimas apibūdina detalių laisvumą viena kitos atžvilgiu arba pasipriešinimą jų išjudinimui. Kad mechanizmas tinkamai atliktų savo funkcijas, labai svarbu teisingai ir tiksliai parinkti jungiamų detalių suleidimus. Parenkant suleidimus, reikia atsižvelgti į įvairias aplinkybes, reikalaujančias, kad pasirinktas suleidimas garantuotų tikslią jungtį ir ekonomišką atskirų detalių gamybą.

Suleidimai skirstomi į tris grupes: su tarpu, įveržtuosius ir tarpinius. Suleidimas su tarpu – tai toks suleidimas, kai tarp sujungtų detalių gaunamas tarpas. Įveržtasis suleidimas – tai toks suleidimas, kai tarp sujungtų detalių gaunama įvarža. Tarpinis suleidimas – toks, kai tarp sujungtų detalių gali būti arba įvarža, arba tarpas. Tarpas (S) – skylės ir veleno matmenų skirtumas, kai skylės matmuo didesnis už veleno. Didžiausias ir mažiausias tarpas apskaičiuojami pagal formules: $S_{max} = D_{max} - d_{min}$; $S_{min} = D_{min} - d_{max}$ arba $S_{max} = ES - ei$; $S_{min} = EI - es$. Įvarža (N) – dar nesujungto veleno ir skylės matmenų skirtumas, kai veleno matmuo yra didesnis už skylės matmenį. Didžiausia, mažiausia įvarža apskaičiuojama pagal formules: $N_{max} = d_{max} - D_{min}$; $N_{min} = d_{min} - D_{max}$ arba $N_{max} = es - EI$; $N_{min} = ei - ES$. Suleidimuose numatyti tarpai, įvaržos dėl gamybinių nuokrypių svyruoja tam tikrose ribose. Tie ribiniai tarpo ar įvaržos nuokrypiai suleidimuose vadinami suleidimo tolerancija ir yra lygūs sujungiamos skylės ir veleno tolerancijų sumai: $T_S(T_N) = T_D + T_d$; $T_S = S_{max} - S_{min}$; $T_N = N_{max} - N_{min}$ (Vekteris, Jurevičius ir Kilikevičius, 2009).

6. Paspaudus programos funkcinius mygtukus, pažymėtus 1 paveiksle 12 numeriu, ir pasirinkus „skylė“ ar „velenas“, programos lange galima matyti suleidimo ir skylės ar veleno matmenų skaičiavimo formules bei suleidimo, skylės ar veleno pagrindinių parametru vizualizacijas.

7. Paspaudus programos funkcinį mygtuką „Žymėjimas“, atsiveria langas, kuriame pateikiama suleidimų ir nuokrypių žymėjimo brėžiniuose vizualizacija (2 pav.).

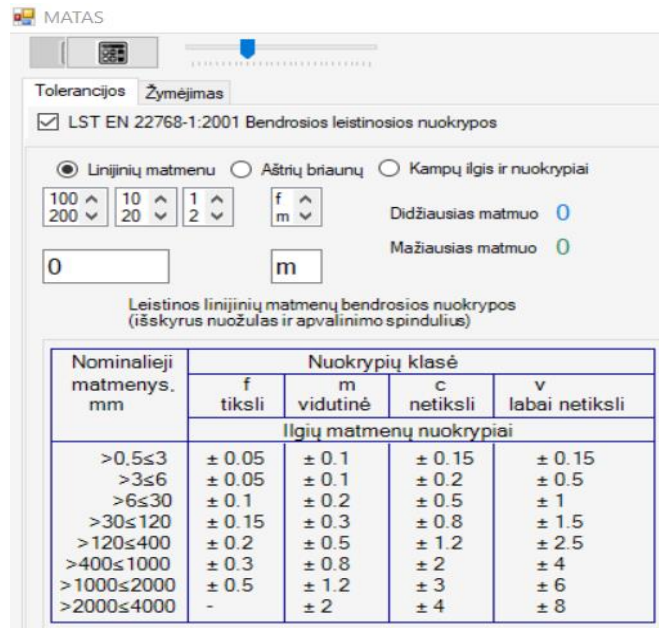


2 pav. Suleidimų ir matmenų nuokrypių žymėjimo brėžiniuose pavyzdžiai
Šaltinis: sudaryta autorių.

Fig. 2. . Examples of how tolerances and fits are represented in drawings
Source: compiled by authors.

Brėžiniuose matmenų ribiniai nuokrypiai gali būti nurodomi keliais būdais: raidiniu nuokrypių lauko žymėjimu, skaitiniu žymėjimu, raidiniu nuokrypių lauko žymėjimu ir nurodomais skaitiniais matmens ribiniais nuokrypiais. Labai svarbu brėžiniuose nurodyti leistiną nuokrypį, kad būtų galima surinkti dalis norimu būdu ir jas pakeisti, kaip reikalaujama pagal šiuolaikinius gamybos metodus.

8. Pažymėjus programos pagrindiniame lange nuorodą *LST EN 22768-1-2001 Bendrosios leistinosios nuokrypos* (3 pav.), galima skaičiuoti linijinių matmenų, aštrių briaunų ir kampų ribinius matmenis, atsižvelgiant į bendruosius leidžiamuosius nuokrypius.



3 pav. Bendrųjų leistinųjų nuokrypių skaičiavimas
 Šaltinis: sudaryta autorių.

Figure 3. Calculation of the general tolerances
 Source: compiled by authors.

Minėtame standarte matmenų nuokrypiai yra sugrupuoti į keturias tikslumo klases, kurios žymimos mažosiomis raidėmis: f – tiksliai, m – vidutinė, c – netiksliai ir v – labai netiksliai. Toks sąlyginis žymėjimas supaprastina brėžinius. Parenkant bendrųjų leidžiamųjų nuokrypių tikslumo klasę, atsižvelgiama į reikalaujamą gamybos tikslumą. Jeigu reikalingas didesnis tikslumas, t. y. mažesni leidžiamieji nuokrypiai negu numato tikslumo klasės, tuomet tokie leidžiamieji nuokrypiai rašomi prie nominaliojo matmens. Bendrieji leidžiamieji nuokrypiai linijiniams ir kampiniams matmenims tinkami tada, kai brėžiniai ir techniniai reikalavimai atitinka LST EN 22768 standartą (Baskutis et al., 2019).

Kompiuterinės programos MATAS panaudojimo studijų procese efektyvumo įvertinimas

Kompiuterinės programos MATAS testavimas buvo atliekamas Techninių matavimų, Inžinerinės grafikos ir Kompiuterinio projektavimo dalykų studijų metu. Testavimo procese dalyvavo dėstytojai, kurie dėsto anksčiau minėtus dalykus, ir studentai. Programos panaudojimo studijų procese galimybių kokybinis vertinimas buvo atliekamas taikant anketinę apklausą. Vykdamas apklausą, dėstytojų ir studentų buvo prašoma išreikšti nuomonę apie tai, kaip jie vertina programos taikymo galimybes studijų procese, kokius mato programos teigiamus ir neigiamus aspektus.

Sukurta mokomoji kompiuterinė programa MATAS, skirta ISO tolerancijų ir suleidimų parinkimui optimizuoti, leidžia:

- parinkti matmenų nuokrypius ir pamatyti tolerancijų laukų išsidėstymo vizualizacijas;



- rasti rekomendacijas apie suleidimų parinkimą, jų skaičiavimo metodus, taikymą ir žymėjimą brėžiniuose;
- suteikia galimybę studentams savarankiškai spręsti techninių matavimų uždavinius arba pasitikrinti gautus rezultatus;
- palengvina dėstytojams dėstyimo procesą.

Testavime dalyvavę dėstytojai ir studentai nurodė programos tik teigiamus aspektus. Jie akcentavo, kad programa naudotis paprasta, pakanka informacijos efektyviam ISO tolerancijų ir suleidimų parinkimui. Respondentai teigiamai įvertino programoje naudojamas informacijos turinio pateikimo formas (tekstas, grafika). Apklausoje dalyvavę studentai teigė: programa padėjo jiems patobulinti uždavinių sprendimo praktinius įgūdžius bei įtvirtinti teorines žinias; programoje pateiktos vizualizacijos padėjo lengviau suprasti tolerancijų ir suleidimų parinkimo esmę; paskatino labiau domėtis studijuojamu dalyku. Dėstytojai teigė, kad ISO tolerancijų ir suleidimų pasirinkimas naudojantis mokomąją kompiuterinę programą MATAS yra vienas iš būdų, leidžiančių studijų procese taikyti aktyvius mokymo metodus bei padedančių kurti studentus motyvuojančią studijų aplinką. Studijų sistemos efektyvumas yra neatsiejamas nuo studento motyvacijos studijoms, jo tikėjimo savo gebėjimais ir parama iš aplinkos. Pokyčiai aukštajame moksle ir ypač į studentą orientuotos studijos skatina dėstytojus kitaip pažvelgti į studijų organizavimą ir į patį studentą kaip savarankiškai besimokantį asmenį. Informacinių technologijų taikymas studijų procese ugdo studentų skaitmenines kompetencijas, kurios ypač reikalingos šiuolaikinei darbo rinkai.

Dėstytojų ir studentų nuomone teigiamai įvertinta kompiuterinė mokomoji programa MATAS parodė, kad ji yra naudinga efektyvinant studijų procesą, todėl ateityje bus siekiama ir kitų Techninių matavimų uždavinių (guolių, srieginių, kampinių jungčių ir kt. suleidimų ir nuokrypių parinkimas) sprendimui taikyti skaitmenines technologijas.

Išvados

Šiame straipsnyje pristatomi tyrimai susiję su Techninių matavimų dalyko studijų proceso skaitmenizavimu. Tyrimo metu gautos išvados:

1. Skaitmeninė transformacija reikalauja inžinerijos ir IT darbuotojų kooperacijos bei veiklos sričių persidengimo, kurie dažnai neįmanomi be aukštojo išsilavinimo. Europos Komisija pastebėjo, kad Lietuvos gyventojų skaitmeniniai įgūdžiai yra žemesni nei ES vidurkis, todėl *Pramonė 4.0* nuostatoms įgyvendinti būtinos *Švietimas 4.0* reformos. Programinės įrangos naudojimas studijų procese leidžia efektyvinti studijų procesą, išplečia galimybes studentų skaitmeninių kompetencijų ugdymui, kurios ypač reikalingos šiuolaikinėms pramonės įmonėms.
2. Sukurta mokomoji kompiuterinė programa MATAS leidžia parinkti matmenų nuokrypius, pamatyti tolerancijų laukų išsidėstymo vizualizacijas, rasti rekomendacijas apie suleidimų parinkimą, jų skaičiavimo metodus, taikymą ir žymėjimą brėžiniuose bei suteikia galimybę savarankiškai spręsti techninių matavimų uždavinius arba pasitikrinti gautus rezultatus.
3. Atlikus dėstytojų ir studentų anketinę apklausą paaiškėjo, kad sukurta mokomoji kompiuterinė programa suteikia studentams galimybę savarankiškai tobulinti ISO tolerancijų ir suleidimų parinkimo, projektavimo įgūdžius, skatina jų domėjimąsi Techninių matavimų dalyku bei palengvina dėstytojams studijų proceso organizavimą.

Literatūra

1. Baskutis, S., Rimša, G., Dubinskas, E., Krasauskas, P., Pfeiffer, H.,J., Skiedraitė, I., Buhs, K., Kudarauskiene, A., and Ramanauskaitė-Vildė, M. (2019). *Industry 4.0 Challenge: Empowering Metalworkers for Smart Factories*. Kaunas: Vitae Litera.
2. European Commission. (2020). *Country Report Lithuania 2020*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020SC0514&from=EN>
3. European Commission. (2020). *2021–2027 m. skaitmeninio švietimo veiksmų planas*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0624&from=EN>



4. European Commission (2017). *Europos švietimo erdvė iki 2025 m.* <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:4324360>
5. Eurostat. (2020). *Europe 2020 indicators - Lithuania.* https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Europe_2020_indicators_-_Lithuania&oldid=451623#Overview
6. Fero, M., Novotná, I., & Porubčinová, M. (2019). *Work Competencies for Industry 4.0 Developed by Non-formal Education.* 2019 International Conference on Pedagogy, Communication and Sociology (ICPCS 2019).
7. Ford, M. (2015). *The rise of the robots: Technology and the threat of mass unemployment.* Simon and Schuster.
8. Frey, C. B., & Osborne, M. A. (2017). *The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?* *Technological Forecasting and Social Change*, 114. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.019>
9. Goos, M., Arntz, M., Zierahn, U., Gregory, T., Gomez, S. C., Vazquez, I. G., & Jonkers, K. (2019). *The Impact of Technological Innovation on the Future of Work.* JRC Working Papers Series on Labour, Education and Technology.
10. Kasulaitis, V., Piliponienė, N., Statkus, V., Klevas, T. ir Tilindė, A. (2008). *Automobilių remontininko rengimas. Pirmoji knyga.* Kaunas: UAB „Judex“.
11. Lietuvos inovacijų centras (LIC). (2022). *Suminis pramonės skaitmeninimo indeksas.* <https://lic.lt/wp-content/uploads/2022/09/skaitmeninimo-indeksas.pdf>
12. OECD. (2018). *Job Creation and Local Economic Development 2018.* OECD Publishing. https://read.oecd-ilibrary.org/employment/job-creation-and-local-economic-development-2018_9789264305342-en#page5
13. Passey, D. (2017). *Computer science (CS) in the compulsory education curriculum: Implications for future research.* *Education and Information Technologies*, 22(2), 421–443.
14. Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond.* <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>
15. Smit, S., Tacke, T., Lund, S., Manyika, J., & Thiel, L. (2020). *The future of work in Europe.* McKinsey Global Institute.
16. Vekteris, V., Jurevičius, M. ir Kilikevičius, A. (2009). *Matavimų teorija ir praktika. Kursinio projekto metodikos nurodymai, informacinė medžiaga ir užduotys.* Vilnius: Technika.
17. Vekteris, V., Kasparaitis, A., Kaušinis, S. ir Kanapėnas, R. (2020). *Matavimų teorija ir praktika: Vadovėlis. (Antrąjį pataisyta ir papildyta laida).* Vilnius: Technika. Technika. <https://doi.org/10.20334/2020-014-S>.
18. Vrana, J., Singh, R. (2021). *Digitization, Digitalization, and Digital Transformation.* Springer Nature Switzerland. https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-030-48200-8_39-1.pdf

Digitisation of ISO tolerances and fits selection

(Received in March, 2023; Accepted in March, 2023; Available Online from 10th of May, 2023)

Summary

The object of the study is the digitisation of the teaching/learning process in the subject of Technical Measurement. One of the most important topics in Technical Measurement is the application of the ISO tolerances and fits systems in mechanical engineering, therefore the aim of the study is to optimize the process of teaching the selection of ISO tolerances and fits by developing a software tool.

To keep pace with the digital competence requirements of Industry 4.0, higher education institutions, which are training engineering professionals for industry, are introducing interactive, experiential education systems and digital technologies. This paper identifies the concepts of digitisation and digital transformation. It discusses the potential of Industry 4.0 for future workers to survive in a labour market demanding digital competences. Education 4.0 challenges are considered, addressing the training of high-level professionals, the prospects for modernising study infrastructure, learning and educational environments, the introduction of advanced (IT and other) technologies, and the development of digital competences of teachers.

The paper presents the MATAS educational computer program developed by the authors, designed to optimise the selection of ISO tolerances and fits: it allows selecting dimensional tolerances, visualizing the location of the tolerances fields, providing guidance on the selection of tolerances, their calculation methods, their application and marking on drawings; it enables students to solve the tasks of technical measurements independently or to check the calculated results, and it also makes it easier for lecturers to facilitate their teaching process. The paper also introduces tolerances and systems of fits, legal methodology, classification, and normalization of tolerances.

