

MOKSLO DARBO ATASKAITA

Užsakovas: „J. ir A. Romanovų“ PĮ

Temos pavadinimas: „Ardomųjų bandymų ir diagnostikos įrangos modernizavimo techninių galimybių studija“

Temos vadovas:

doc.dr. N. Višniakov

Vilnius, 2015

Darbo tikslas ir uždaviniai

Atlikti ardomybų bandymų ir diagnostikos įrangos modernizavimo rinkos analizę, sudaryti racionalių vietinėje rinkoje inovatyvių techninių sprendimų ir modernizavimo priemonių sąrašą, atlikti tyrimus ir įvertinti siūlomų techninių sprendimų poveikį ardomybų bandymų tikslumui, pasiekiamai ekonominei naudai, darbo sąlygoms, parinkti optimaliu ardomybų bandymų įrangos modernizavimo techninius sprendimus.

Įvadas ir bendros žinios apie ardомуosius bandymus

Ardomieji bandymai vieni iš svarbiausių ir plačiausiai naudojami medžiagų, konstrukcinių elementų ir jungčių mechaninių savybių nustatymo būdų. Ar konstrukcija, jos elementas yra pakankamai stipri, standi, stabili, galima spręsti tik tuo atveju, kai yra žinomos medžiagos mechaninės savybės: stiprumas, tamprumas, plastiškumas, trapumas ir kitos. Medžiagos mechaninėms savybėms tirti, jų rodikliams nustatyti atliekami medžiagų mechaniniai bandymai. Plačiaja prasme mechaninių bandymų tikslas yra trejopas:

1) ištirti medžiagos irimo procesą bei įvairių veiksnių (temperatūros, radioaktyvaus švitinimo, terminio apdirbimo, cheminės sudėties, senėjimo ir kt.) įtaką medžiagos mechaninėms savybėms;

2) gauti medžiagų mechaninių savybių rodiklius (skaitines reikšmes);

3) patikrinti teorinius teiginius, formules ir skaičiuojamųjų schemų bei skaičiavimo metodų teisingumą.

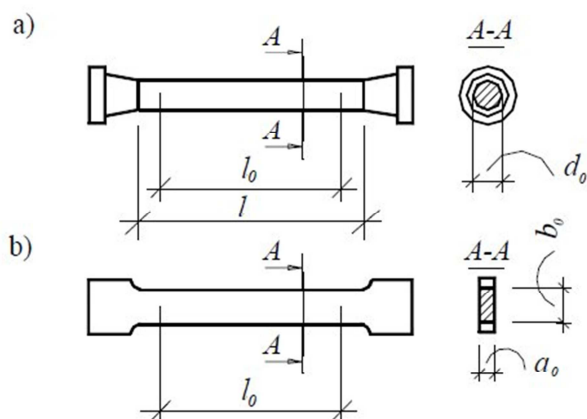
Pirmaisiais dviem atvejais bandomi specialūs bandiniai, trečiuoju atveju – konstrukcijos, mazgai, sudėtingi statiniai ar jų maketai. Visais atvejais turi būti laikomasi norminiais dokumentais nustatytų sąlygų: bandiniai turi būti tam tikros formos ir matmenų, pagaminti jie turi būti reikiamo tikslumo ir prisilaikant tam tikrų taisyklių; normuojamas taip pat apkrovimo ir deformavimo greitis, temperatūra, bandinių skaičius, mechaninių rodiklių nustatymo metodika bei kiti dalykai. Laikytis šių sąlygų būtina, nes priešingu atveju įvairiose laboratorijose gautų rezultatų lyginimas neturėtų prasmės.

Pagal bandymų laiku taikomos apkrovos pokyčio greitį visus mechaninius bandymus skirto į statinius (tempimo, gniuždymo, lenkimo, sukimo), dinامينius (smūginius), ciklinius (nuovargio, relaksacijos). Pagal temperatūros įtaką: kambario temperatūroje, žematemperatūrinius ir aukštemperatūrinius (valkšnumo, ilgalaikio stiprio). Statiniai bandymai vykdomi su tam tikru apkrovos pokyčio arba deformacijos greičiu. Tai plačiausiai taikoma bandymų rūšis. Medžiagų savybės, kurios nustatytos šiais metodais, apibrėžti įvairiuose standartuose.

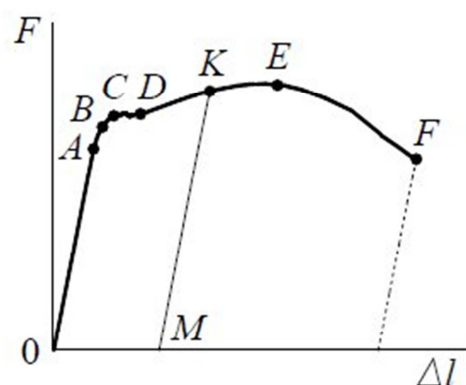
Vienas iš plačiausiai taikomų ir pagrindinių medžiagos statinių mechaninių bandymų yra tempimo bandymas. Jo tikslas yra gauti medžiagos stiprumo, tamprumo ir plastiškumo rodiklius, t.y. rodiklius, kurie inžineriniu požiūriu pakankamai visapusiškai atspindi svarbiausias medžiagos mechanines savybes. Bandiniai (cilindriniai ar plokštieji; žr. 1 pav.) tempiami specialiomis mašinomis. Įtvirtinus bandinį mašinos griebtuose ir pradėjus didinti jėgą, bandinys pradeda ilgėti. Tempiančios jėgos didumą rodo manometras, bandinio pailgėjimą – atstumas tarp griebtų. Tempiančios jėgos ir bandinio pailgėjimo ryšį parodo grafikas, kurį nubrėžia savirašis įtaisas – diagraminis aparatas. Šis grafikas ($\Delta = f(F)$) dar vadinamas tempimo diagrama. Būtent iš jos nustatomi svarbiausieji tiriamosios medžiagos mechaninių savybių rodikliai. Tempimo diagrama priklauso ir nuo medžiagos savybių, ir nuo bandinio matmenų. Šių bandymų pagalba galima kontroliuoti ir nustatyti sekančias mechanines medžiagų savybes: tamprumo ribą, proporcingumo ribą, stiprumo ribą ir santykinį apilgėjimą tempiant.

Gniuždymu dažniausiai bandomos medžiagos, kurių mechaninės savybės jas tempiant ir gniuždant yra skirtingos arba kurios dirba išimtinai gniuždymui. Bandant metalus gaminami

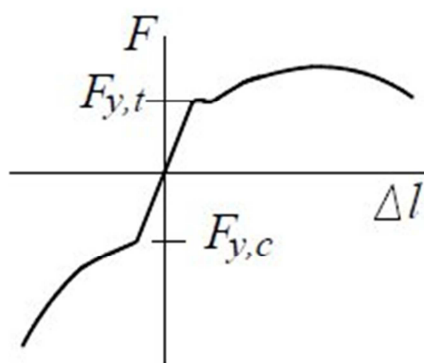
cilindriniai bandiniai, kurių aukštis lygus skersmeniui (dažniausiai $d = h = 20 \text{ mm}$), bandant kitas medžiagas gaminami kubelio formos bandiniai, kurių kraštinės didumas priklauso nuo medžiagos, pvz., medienos kubelio $a = 50 \text{ mm}$, betono – $a = 100 \text{ mm}$. Kaip buvo minėta, bandinių forma ir matmenys, taip pat jų skaičius, bandymų technologija, rodiklių nustatymo metodika yra normuojama. Anizotropinės medžiagos mechaninės savybės priklauso nuo deformavimo krypties. Todėl medžiagų tyrimas yra sudėtingesnis, nes reikia bandyti bandinius, įvairiai orientuotus jėgos veikimo krypties atžvilgiu. Būdingas anizotropinės medžiagos pavyzdys yra mediena. Ji gniuždoma išilgai ir skersai sluoksnių.



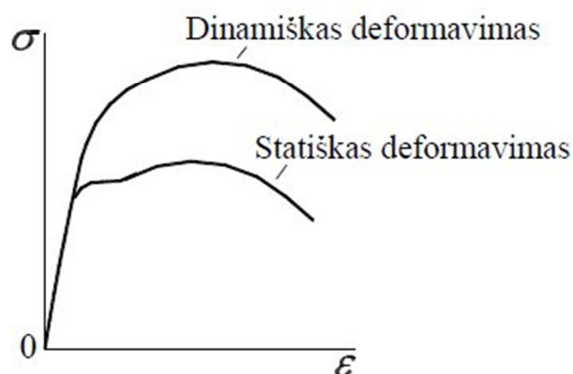
1 pav. Statinių tempimo bandymų bandinių formos pavyzdys



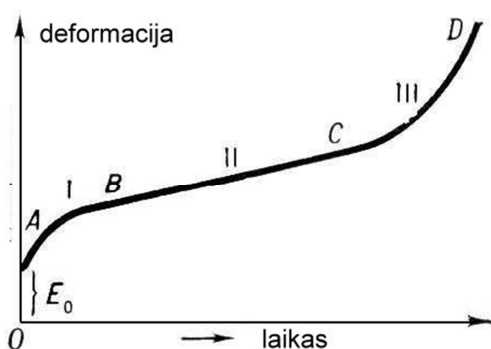
2 pav. Metalų tempimo diagramos pavyzdys



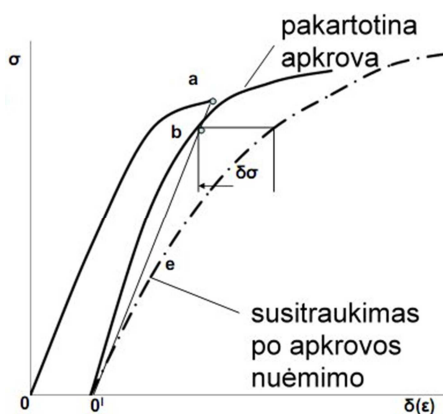
3 pav. Metalų gniuždymo diagramos pavyzdys



4 pav. Medžiagų savybių priklausomybė nuo apkrovos sąlygų



5 pav. Metalų valkšumo kreivės pavyzdys



6 pav. Baušingerio efektas cikliška apkraunant

Paprastai eksperimentai atliekami vadinamojoje kambario temperatūroje, kuri lygi 20°C . Tačiau daugelis konstrukcijų dirba žymiai aukštesnėje (dujų turbinos, garo katilai, vidaus degimo varikliai ir t.t.) arba žemesnėje (šaldymo įrengimai, statybinės konstrukcijos ir t.t.) temperatūroje. Todėl būtina žinoti, kaip kinta medžiagų mechaninės savybės nuo temperatūros. Įvairių medžiagų temperatūros įtaka jos mechaninėms savybėms yra skirtinga, kai kuriais atvejais, pvz., anglinio plieno atveju, labai sudėtinga. Tačiau daugumos konstrukcinių medžiagų stiprumas kylant temperatūrai mažėja, o temperatūrai krentant didėja. Tačiau medžiagos plastiškumas, atvirkščiai, temperatūrai kylant didėja, o jai krentant mažėja.

Apkrovimo greitis, kuriam esant nustatomi medžiagų mechaninių savybių rodikliai, yra normuojamas. Tačiau daugelis konstrukcinių elementų apkraunami greitai (įvairūs besisukantieji elementai) arba labai greitai (smūgiu veikiami elementai). Nustatyta, kad beveik visų medžiagų, joms plastiškai deformuojantis, mechaninių savybių rodikliai kinta. Kuo didesnis deformavimo greitis, tuo didesnės takumo ir stiprumo ribos. Ypač jautriai į deformavimo greičio pokyčius reaguoja plastmasės ir kitos organinės medžiagos. Metalų mechaninės savybės keičiasi tik esant dideliems greičių pokyčiams. Todėl, dinamiškai deformuojant medžiagą, ji tampa trapesnė.

Cikliniai bandymai charakterizuojami netik apkrovos pokyčiais pagal dydį, bet ir pagal kryptį.

Jeigu bandinys ar konstrukcijos elementas pakaitomis tai tempiamas, tai gniuždomas, deformacijos ženklas kinta - ji būna tai teigiama, tai neigiama. Tokia kintamo ženklo deformacija vadinama mainiaja. Mainioji deformacija, ypač mainioji plastinė deformacija, būna gana pavojinga - ji paspartina medžiagos irimą, be to, ji sąlygoja kai kurių medžiagos savybių kitimą. Mainiosios deformacijos atveju ypač ryškus Baušingerio efektas. Ciklinių mechaninių bandymų pavyzdžiu gali būti nuovargio bandymai. Jie ilgai trunka. Pagal apkrovos ciklą skaičių nustatoma medžiagos darbo resursas iki suirimo esant skirtingoms apkrovoms. Rezultate galima nustatyti leistinas konstrukcijos apkrovas, kurias medžiaga atlaiko be suirimo prie užduotų apkrovos ciklų. Cikliniai bandymai skirstomi į mažaciklius (10^3) ir daugiacyklusius (10^5 - 10^7), su vieno ženklo pasikartojančia apkrova (nuo nulio arba minimalios reikšmės iki maksimalios reikšmės) ir su keičiančia savo ženklą apkrova ir deformacija (gniuždymo-tempimo).

Mechaninių bandymų įrangos apžvalga

Statinių (tempimo, gniuždymo) ir ciklinių mechaninių bandymų metodų taikymas vertinant daugumos gaminių savybes apibrėžtas įvairiuose standartuose ir techninėse sąlygose. Todėl visi egzistuojantys statiniai ir cikliniai mechaniniai bandymai standartizuoti. Standartuose nurodomi pagrindiniai reikalavimai ne tik bandiniams, bandymo sąlygoms, skaičiavimo metodikoms bet ir bandymo įrangai. Visos bandymų mašinos klasifikuojamos pagal eilę parametrų.

Egzistuoja sekančios pagrindinės bandymo mašinų grupės:

1. Statinių (tempimo) bandymų mašinos
2. Statinių (gniuždymo) bandymų presai
3. Universalios (tempimo, gniuždymo ir ciklinių bandymų) bandymų mašinos

Pagal (pavaros) apkrovimo tipą:

1. Su mechanine pavara (mechaninės): bandiniai deformuojami srieginės ar sliekinės pavaros pagalba.
2. Su hidrauline pavara (hidraulinės): bandiniai deformuojami stūmoklio ir hidro cilindro pagalba

Pagal apkrovos matavimo įtaiso rūšį:

1. su svirtiniu - švytuokliniu jėgos matuokliu;
2. su torsioniniu jėgos matuokliu;
3. su elektriniu (tenzo, vibro-dažniniu) jėgos matuokliu.

Pagal paskirtį ir bandomų medžiagų rūšį:

1. metalams;
2. statybinėms medžiagoms;
3. polimerams;
4. tekstilinėms medžiagoms;

(Apie galimybes bandyti skirtingas medžiagas nurodoma mašinų pasuose)

Pagal komponavimo schemą:

1. Blokinė konstrukcija;
2. Modulinė konstrukcija

Senos kartos bandymo mašinose buvo dažniausiai naudojama blokinė konstrukcija, jėgos matavimui pagrinde buvo naudojami svirtiniai, švytuokliniai arba torsioniniai jėgos matuokliai. Traversos eiga buvo nustatoma panaudojant krumpliaračių sistemą pagal kreipiančiųjų velenų apskimą. Tempimo diagramos (apkrovos kreivės priklausomai nuo traversos eigos) visose šiose mašinose įrašomos įvairių konstrukcijų grafiniais braižytuvais ant perforuoto popieriaus koordinatėse „apkrova-pailgėjimas“. Grafiniai braižytuvai leisdavo tam tikru žingsniu keisti mastelį. Paprasčiausios konstrukcijos būgniniai braižytuvai turėjo dažniausiai tik 3 mastelius, pavyzdžiui 1:1; 10:1, 100:1. Naujesnės kartos mašinose jau naudojama modulinė sistema su elektroniniu valdymu ir duomenų registravimu. Jėgos matavimui jau buvo naudojami tenzotikliai, o pailgėjimas buvo nustatomas nedidelio tikslumo optiniais enkoderiais. Tempimo diagramos braižomos plokštuminių braižytuvų (ploterių) ar slinktinių braižytuvų pagalba, kurie turėjo žymiai daugiau galimybių keisti mastelį. Šiuolaikinėse naujausiose mašinose jėgos matavimui pagrinde taikomi aukšto tikslumo tenzotikliai, bandinio deformacijai matuoti taikomi papildomi ekstensiometrai (pusiau automatiniai, automatiniai, lazeriniai, video), judančios traversos padėties nustatymui taikomi didelio tikslumo optiniai enkoderiai. Tokios mašinos valdomos ir duomenys registruojami ir apdorojami kompiuteriu. Dauguma tokios bandymų įrangos gamintojų kuria savo specializuotas mašinų valdymo arba tik duomenų registravimo ir rezultatų apdorojimo kompiuterines programas. Tokių bandymo mašinų pagrindinės charakteristikos standartizuotos. Mašinų apkrovimo diapazonai: iki 0.01; 0,05; 0,5; 1,0; 2,5; 5; 10; 20; 50; 100; 200; 500; 1000; 2000; 5000; 10000 kN. Apkrovos pokyčio paklaida priklausomai nuo tikslumo klasės gali svyruoti ± 0.5 iki ± 3 %, deformacijos matavimo paklaida priklausomai nuo matavimo diapazono ir tikslumo klasės gali svyruoti nuo ± 1 iki ± 5 %.



7 pav. Senos kartos monoblokinės tempimo mašinos su svirtiniu-švytuokliniu jėgos matuokliu ir mechanine pavara pavyzdys

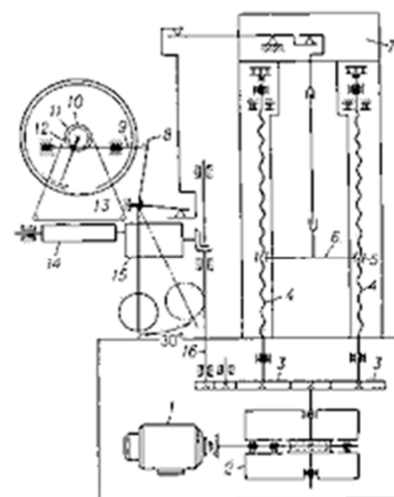
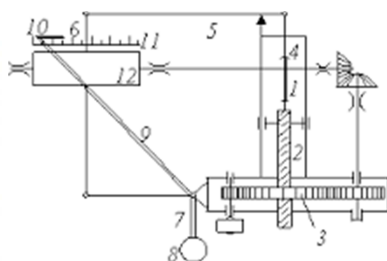


8 pav. Senos kartos monoblokinės universalios mašinos su švytuokliniu jėgos matuokliu ir mechaninė pavara pavyzdys (P-5)



9 pav. Senos kartos blokinės tempimo mašinos su torsioniniu jėgos matuokliu hidrauline pavara pavyzdys (MP-200)

(ИМ-4Р)



10 pav. senos kartos modulinės universalios bandymų mašinos su tenzo jėgos matuokliu ir elektromechanine pavara pavyzdys (2067)

11 pav. Būgninio braižytuvo principinė schema

12 pav. Senos kartos tempimo mašinos su švytuokliniu jėgos matuokliu ir mechanine pavara principinė schema



13 pav. Šiuolaikinės stalinės universalios bandymų mašinos su elektromechanine pavara ir kompiuteriniu valdymu pavyzdys (Quasar 2.5)

14 pav. Šiuolaikinės grindinės universalios bandymų mašinos su elektromechanine pavara ir kompiuteriniu valdymu pavyzdys (Quasar 250)

15 pav. Šiuolaikinės universalios bandymų mašinos su hidrauline pavara ir kompiuteriniu valdymu pavyzdys (Instron KN)



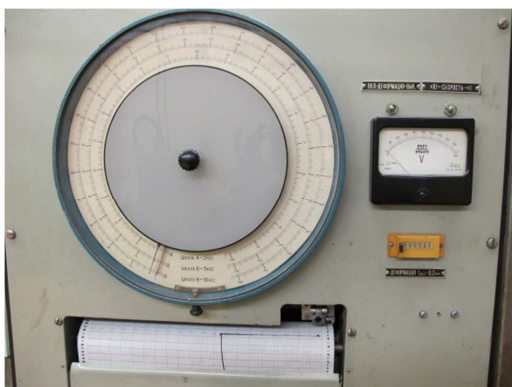
16 pav. Šiuolaikinių pusiau automatinių išilginių deformacijų matavimo ekstensiometrų pavyzdys (Micron)



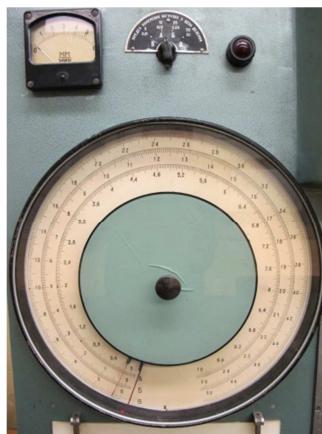
17 pav. Šiuolaikinių pusiau automatinių skersinių deformacijų matavimo ekstensiometrų pavyzdys (EAN)



18 pav. Šiuolaikinių lazerinių ekstensiometrų pavyzdys



19 pav. Senos kartos universalios tempimo mašinos su švytuokliniu jėgos matuokliu bandymo rezultatų registravimo įtaisai: būgninis diagramos braižytuvas, jėgos skalė ir traversos eigos skaitliukas (P-5)



20 pav. Senos kartos tempimo mašinos bandymo su elektriniu jėgos matuokliu bandymo rezultatų registravimo įtaisai: būgninis diagramos braižytuvas, jėgos skalė (PMY-0,05)



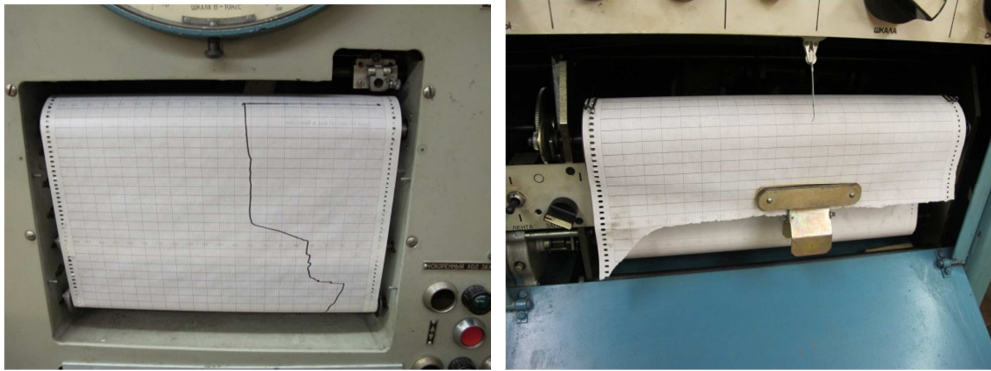
21 pav. Senos kartos tempimo mašinos bandymo su torsioniniu jėgos matuokliu bandymo rezultatų registravimo įtaisai: būgninis diagramos braižytuvas, jėgos skalė (MP-200)



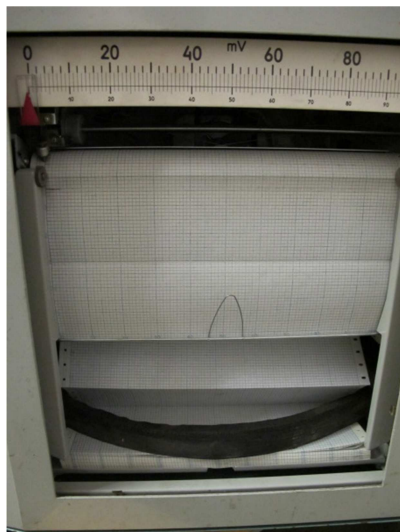
22 pav. Senos kartos universalios tempimo mašinos su tenzo jėgos matuokliu bandymo rezultatų registravimo įtaisai: ploteris, jėgos ir traversos eigos elektroniniai indikatoriai, parametrų valdymo blokai (2067)



23 pav. Senos kartos tempimo mašinos bandymo tenzojutiklio pavyzdys (2054)



24 pav. Būgninio braižytuvo konstrukcijos pavyzdžiai



25 pav. Slinktinio diagramų braižytuvo pavyzdys



26 pav. Plokštuminio diagramų braižytuvo (ploterio) pavyzdys



27 pav. Kompiuterinio bandymų duomenų registravimo ir įrangos valdymo pavyzdys

Lietuvos mechaninių bandymų paslaugų ir rinkos apžvalga

Lietuvoje mechaninių bandymų įranga tradiciškai taikoma įvairiuose pramonės srityse medžiagų ir gaminių kokybės kontrolei, technologinių procedūrų tinkamumo patvirtinimui,

mokslo ir švietimo tikslams. Šiuo metu tokią bandymų įrangą eksploatuojama pagrinde įvairiose medžiagotyros ir kokybės kontrolės laboratorijose. Tokias gamyklines laboratorijas turi stambios Lietuvos gamybos įmonės, pavyzdžiui: AB „Montuotojas“, UAB „Markučiai“, UAB „Steel Trade“. Ardомуosius mechaninius bandymus siūlo ir akredituotos Lietuvos Nacionalinio akreditacijos biuro akredituotos bandymų ir kalibravimo laboratorijos: UAB „Iremas“ Metalų bandymų laboratorija, Vilniaus Gedimino technikos universiteto Taikomoji statinių, konstrukcijų ir medžiagų mokslo laboratorija, UAB „Vakarų centrinė laboratorija“, UAB „DEKRA Industrial“, UAB „Kauno energetikos remontas“ Mechaninių bandymų laboratorija, Vilniaus Gedimino technikos universiteto Stiprumo mechanikos bandymų laboratorija, KTU Statybinių medžiagų ir konstrukcijų tyrimų centras, AB Panevėžio statybos trestas Statybinė laboratorija, Lietuvos energetikos instituto Medžiagų tyrimų ir bandymų laboratorija, KU Medžiagų ir konstrukcijų tyrimo centras, VŠĮ Technikos priežiūros tarnybos bandymų ir tyrimų laboratorija, UAB „Konstrukcijų bandymo centras“. Mechaninių bandymų įranga plačiai naudojama mokslo ir studijų tikslams įvairiose Lietuvos mokymo ir mokslo įstaigose, pavyzdžiui: VGTU Medžiagotyros ir suvirinimo katedroje, Medžiagų atsparumo ir teorinės mechanikos katedroje, KTU Deformuojamo kūno mechanikos katedroje, Šaulių universiteto Mechanikos inžinerijos katedroje, KU Mechanikos inžinerijos katedroje, VU Chemijos fakultete, Vilniaus Jeruzalės darbo rinkos mokymo centro laboratorijoje, Šiaulių kolegijos Taikomosios mechanikos laboratorijoje. Modernia mechaninių bandymų įranga jau aprūpinti ir siūlo savo paslaugas mokslo, studijų ir verslo slėniai: „Nemunas“, Jūrinis slėnis, Saulėtekio slėnis. Šiuo metu Lietuvoje kaip akredituotuose taip ir neakredituotose laboratorijose eksploatuojamos labai įvairiausios pagal charakteristikas mechaninių bandymų mašinos. Apie 70 % nuo bendro kiekio yra universalios mašinos, likusi – tempimo mašinos. Didžiausia dalis bandymo mašinų skirta metalų ir metalinių konstrukcijų/elementų bandymams. Apie 30 % mašinų skirtos statybinių medžiagų ir konstrukcinių elementų, polimerinių medžiagų ir produktų bandymams bei kitoms medžiagoms tirti. Dar apie 40 % visų naudojamų bandymo mašinų yra senos kartos, kurios neturi kompiuterinio valdymo ir duomenų registravimo galimybių. Dauguma tokios įrangos liko mokslo ir mokymo įstaigose (aukštose ir profesinėse mokyklose. Tai dar techniškai tvarkinga ir patikima įranga, bet šių mašinų gaunamų rezultatų tikslumas ir paklaidos yra kelis kartus didesni nei šiuolaikinių, ir ši įranga turi palygintinai labai ribotas eksperimento valdymo ir duomenų registravimo galimybes, kurios neatitinka šiuolaikiniams reikalavimams ir užduotims.

Ardomųjų bandymų įrangos modernizavimo galimybės ir sprendiniai bei jų poveikis bandymų tikslumui, ekonominei naudai, darbo sąlygoms

Atsižvelgiant į pakankamai didelį kiekį dar eksploatuojamos įvairiose įstaigose ir laboratorijose senos kartos mechaninių bandymų mašinų kyla natūralus klausimas kaip racionaliai ir mažiausiais kaštais ją galima patobulinti (modernizuoti), kadangi šios įrangos pakeitimas nauja labai brangūs kėlias. Tokių mašinų įsigijimo kaina labai priklauso nuo paskirties, apkrovos diapazono, universalumo, komplektavimo ir net gamintojo (Paprasčiausios pagal charakteristikas ir komplektavimą metalų bandymų mašinos mažiausia kaina rinkoje apie 12 tūkstančių EUR). Todėl racionaliausias kėlias yra tokių mašinų modernizavimas ir aprūpinimas šiuolaikiniais įrangos valdymo ir duomenų registravimo komponentais, kurie leidžia ženkliai pagerinti tokių senų bandymo mašinų galimybes ir rezultatų tikslumą. Rinkoje savo modernizavimo techninius sprendimus siūlo praktiškai visi tokios įrangos gamintojai ir specializuotos serviso kompanijos. Visus tokios įrangos modernizavimo sprendimus gelėtą suskirstyti į sekančius variantus:

- įrangos modernizaciją atlieka gamintojas arba jos serviso kompanijos. Gamintojai pagrinde užsiima savo senos kartos modernizavimu ir jų techniniai sprendimai pritaikomi konkrečiam jų gaminiui.
- įrangos modernizaciją atlieka specializuotos įrangos gamintojai ir serviso kompanijos. Tokių atveju įrangos modernizavimui pritaikomi suderinami su turima

bandymų įrangą kitų gamintojų produktai (duomenų registravimo blokai, jutikliai, valdymo elektronika)

Principinis skirtumas tarp senos kartos mašinų ir modernizuotų yra tame, kad senos kartos mašinos pakomplektuojamos kompiuterine sistema. Tai gali būti mašinos valdymo, duomenų registravimo ir rezultatų apdorojimo sistemos. Vienas iš dažniausiai pasitaikančių ir pigiausių sprendimų taikomų praktikoje, tai komplektavimas tik kompiuteriniu duomenų surinkimo modulių, o jėgos matuokliai ir traversos eigos kontrolės įtaisai nekeičiami šiuolaikiškais. Išsaugoti duomenys vėliau apdorojami plačiai paplitusiais programiniais paketais, tokiais kaip Excel. Taip pat neretai universalių duomenų surinkimo sistemų gamintojai siūlo ir savo specifinį programinį aprūpinimą, kuris gali pritaikomas šiems uždaviniams arba tiesiogiai jiems sukurtas. Kitas brangesnis modernizavimo variantas yra, kai kartu su kompiuterine duomenų surinkimo ir rezultatų apdorojimo sistema mašinos komplektuojamos ir naujos kartos tiksliais jutikliais (tenzotutikliais, tensometrais, enkoderiais). Modernizacija vykdoma keičiant pasenusias švytuoklinius, torsioninius, tenzometrinius jėgos matuoklius į šiuolaikiškus elektroninius. Tokiu atveju lieka nepatobulinta mašinos mechaninė dalis ir valdymo sistema. Tačiau rezultatų tikslumas ir matavimų paklaida priartėja prie šiuolaikinių įrangos pavyzdžių charakteristikų. Taikomas programinis aprūpinimas leidžia sekti ir apskaičiuoti visus eksperimento parametrus, tokius kaip takumo ribą, stiprumo ribą, santykinį pailgėjimą. Tempimo diagramą gali būti pateikiama skirtingose koordinatėse: apkrova-poslinkis, apkrova-deformacija, apkrova-santykinis pailgėjimas, apkrova-laikas, įtempiai-poslinkis, įtempiai-deformacija, įtempiai-santykinis pailgėjimas, įtempiai-laikas. Trečias pats sudėtingiausias sprendimas skiriasi po antrojo tuo, kad ir mašinos valdymas tampa kompiuteriniu. Mašina prijungiama prie personalinio kompiuterio. Speciali programinė įranga atlieka ir mašinos valdymo funkcijas.

Tokiu atveju tik mašinos mechaninė dalis (presas ir pavara) lieka be pakeitimų, visi valdymo elektroniniai komponentai ir valdymo blokai keičiami šiuolaikiškais. Mechaninės dalies remontas daromas pagal poreikį. Elektrinė pavara (kur ji yra) modernizuojama taip, kad ją būtų įmanoma valdyti kompiuteriu. Taip pat pagal poreikį vykdomas ir hidraulinės mašinų dalies remontas (jei tokia yra), jei būtina mašina komplektuojama nauju hidraulinės pavaros valdymo bloku. Pagal užsakymą modernizuojamos mašinos gali būti papildomai komplektuojamos ir: pusiau automatinio ar automatinio ekstensiometru, lazeriniu ekstensiometru arba videokamera, papildomais gskirtingų konstrukcijų ir paskirties griebtuvais, kaitinimo arba šaldymo kamera.

Modernizacijos dėka gaunama praktiškai nauja mašina su pagerintomis metrologinėmis charakteristikomis, šiuolaikiniu valdymu už kainą žymiai mažesnę nei naujos kartos bandymo mašinos.

Priklausomai nuo panaudoto sprendimo modernizuota įranga pasižymi sekančiais pranašumais:

- leidžia atlikti badyms automatiniam režime pagal užduotą metodikas;
- leidžia automatiškai surinkti duomenis ir pateikti juos grafikų, protokolų pavidale pagal standartų reikalavimus;
- leidžia rodyti ir sekti matuojamų parametrų momentines reikšmes realiame laike kompiuterio ekrane;
- leidžia automatiškai stabdyti eksperimentus suirus bandiniui;
- leidžia užduoti ir dideliu tikslumu palaikyti bandymo parametrus: deformacijos greitį, apkrovos pokytį.
- leidžia greitai perkelti duomenis į kitas kompiuterines programas
- leidžia atnaujinti ir keisti naudojamą programinį aprūpinimą ir programos nustatymus

Modernizacijos kaina priklauso nuo sprendimo sudėtingumo (vidutiniškai jį svyruoja 4-10 tūkstančių EUR diapazone). Ekonominis efektas: imant dėmesin tik vieną parametru (vienam eksperimentui atlikti skirto darbo laiko sumažėjimas) kapitalinės investicijos į įrangos modernizaciją atsiperka po 1-1.5 metų.



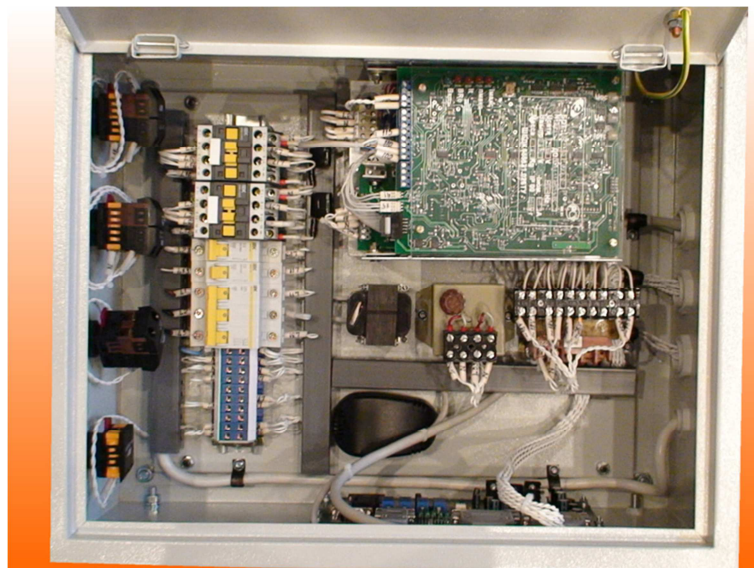
28 pav. Mašinos su hidrauline pavara modernizuotas variantas



29 pav. Universalios mašinos su elektrine pavara modernizuotas variantas: jėgos blokas, valdymo pultas, kompiuteris



30 pav. Universalios mašinos su elektrine pavara modernizuotas variantas: valdymo pultas ir jėgos blokas



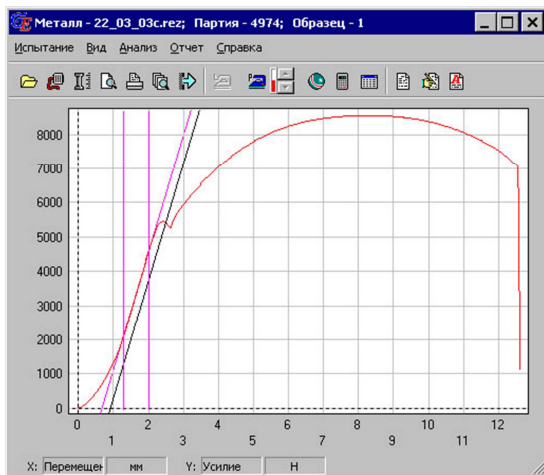
31 pav. Naujos kartos jėgos bloko pavyzdys



32 pav. Tenzomatavimų stotelės pavyzdys



33 pav. Šiuolaikiško tenzojutiklio pavyzdys



34 pav. Bandymų mašinos programinio aprūpinimo pavyzdys



35 pav. Bandymo mašinų kompiuterinio valdymo sistemos pavyzdys: jėgos blokas, valdymo pultas, personalinis kompiuteris

Optimalių modernizavimo techninių sprendimų sąrašas

Analitinės įrangos industrija patyrė daugelį pokyčių po kompiuterių pritaikymo revoliucijos. Šie pokyčiai susiję su programine bei technine dalimis. Šiuo metu didžioji dauguma mokslininkų ir inžinierių visame pasaulyje naudojami kompiuteriais tyrimo, projektavimo, gamybos uždavinių sprendimui. Kad šie resursai būtų geriausiai išnaudoti, analitinės įrangos gamintojai kuria naujausias technines priemones, remiančias vis didėjančiu personalų kompiuterių galingumu bei moderniausiomis programinės įrangos koncepcijomis, taikomomis programavimui ir vartotojo sąsajos kūrimui. Šios naujausios koncepcijos leidžia kurti unikalias matavimų bei automatizavimo sprendimų metodologijas, kurios gali būti pritaikomos ir mechaninių bandymų srityje. Dauguma iš anksčiau įvardintų senos kartos ardomųjų bandymų įrangos modernizacijos sprendimų turi ir tam tikrus trūkumus. Tai dažniausiai arba pririšti prie konkretaus įrangos gamintojo arba konkrečios mašinos modernizacijos sprendimai. Šie sprendimai nėra labai universalūs, o modernizacijos variantai neapima kompleksiskai įrangos valdymą ir duomenų surinkimą. Programinio aprūpinimo galimybės priklauso nuo jų gamintojų ir negali būti keičiami vartotojo. Todėl iš daugumos rinkoje siūlomų sprendimų tam tikslui pasirinkti inovatyvieji National Instruments produktai ir programinis aprūpinimas. Planuojant modernizuoti senos kartos bandymų sistemą buvo apibrėžti pagrindiniai reikalavimai šiuolaikinei automatizuotai matavimo sistemai, kuri taikoma su mechaninių bandymų įranga:

- 1) Lankstumas. Įrangos valdymo schemas gali būti patobulintos programiniu būdu, arba pakeičiant atskirus mazgus į tikslesnius (pvz: jėgos jutiklis)
- 2) Išlaidų mažinimas. Taikant kompiuterius ir National Instruments matavimo modulius leidžia mažinti sistemos kainą, nes einant laikui tam tikro galingumo (kurio pakanka sistemos veikimui) kompiuterių kainos krenta.
- 3) Suderinamumas. Duomenys gali būti lengvai perkelti į kitus kompiuterius tolimesniam saugojimui arba papildomam apdorojimui.
- 4) Lengvesnis palaikymas. Šiuolaikiniai kompiuteriai yra standartizuoti ir plačiai taikomi, todėl iškilus problemoms jų dalis ar techninę pagalbą taisant galima lengvai rasti.
- 5) Galimybė atlikti kalibravimą. Skirtingų matavimo vienetų palaikymas ir automatinis suderinimas sumažina klaidų tikimybes.

6) Sinchronizuotas nuskaitymas iš keleto duomenų šaltinių, tuo pačiu atliekant valdymą. National Instruments leidžia vienu metu dirbti su keletu duomenų surinkimo ir valdymo įrenginiais, neprarandant duomenų perdavimo greičio ir matavimų kokybės.

7) Atviro kodo valdymo sistema. LabVIEW aplinkoje sukurtą sistemą galima tobulinti ir gerinti jos darbą vykdant mokslinius tyrimus, įdiegiant naujus algoritmus.

8) Suderinamumas su skirtingų gamintojų įranga. National Instruments įranga leidžia pasirinkti bet kurio gamintojo jutiklius ir suderinus jų signalus matuoti jų teikiamas reikšmes.

Po kompiuterių paplitimo, analitinės įrangos specialistų bendruomenėje įsivyravo naujas terminas „virtualūs instrumentai“, tiksliai aprašantis programuojamų prietaisų kombinaciją su kompiuteriais. Tiksliau virtualus instrumentas dažniausiai susideda iš pramoninio kompiuterio arba darbo stoties su galinga taikoma programine įranga, rentabilios techninės įrangos, tokios kaip papildomos kompiuterinės plokštės, bei tvarkyklių. Visa ši įranga bendrai atlieka tradicinių prietaisų funkcijas. Šiam projektui buvo pasirinkta National Instruments techninė ir programinė įranga, nes būtent šio gamintojo techninė įranga yra giliai integruota su grafinio programavimo aplinka LabVIEW. National Instruments produktų liniją sudaro šimtai skirtingos paskirties duomenų surinkimo bei sistemų valdymo plokščių, kas leidžia parinkti kokybišką ir nebrangų sprendimą. Taip pat National Instruments siūlo specializuotą grafinio programavimo aplinką LabVIEW, kurios pagalba vartotojas gali lengvai sukurti savo virtualų instrumentą, atliekantį reikiamą uždavinį, o taip pat suteikiantį galimybę ateityje lengvai patobulinti esamą sistemą. Tokiu būdu modernizavimo uždavinyje yra taikomi virtualūs instrumentai, atvaizduojantys esminį pokytį nuo tradicinių analitinių prietaisų iki prietaisų, valdomų programiniu būdu bei efektyviai išnaudojančių šiuolaikinių kompiuterių skaičiavimo galingumą, produktyvumą, lengvą rezultatų atvaizdavimą bei tarpusavio susijungimo galimybes. Svarbu pabrėžti, kad programinė įranga leidžia lanksčiai pasinaudoti galingos techninės įrangos galimybėmis, tuo pačiu ženkliai sumažinant išlaidas. Taikant virtualių instrumentų technologiją galima kurti nuosavą unikalią automatizuotą matavimo sistemą, tiksliai atitinkančią šiuolaikinius poreikius (vartotojo numatytus), vietoj prisirišimo prie tradicinių sistemų su nustatytomis funkcijomis (gamintojo numatytomis).

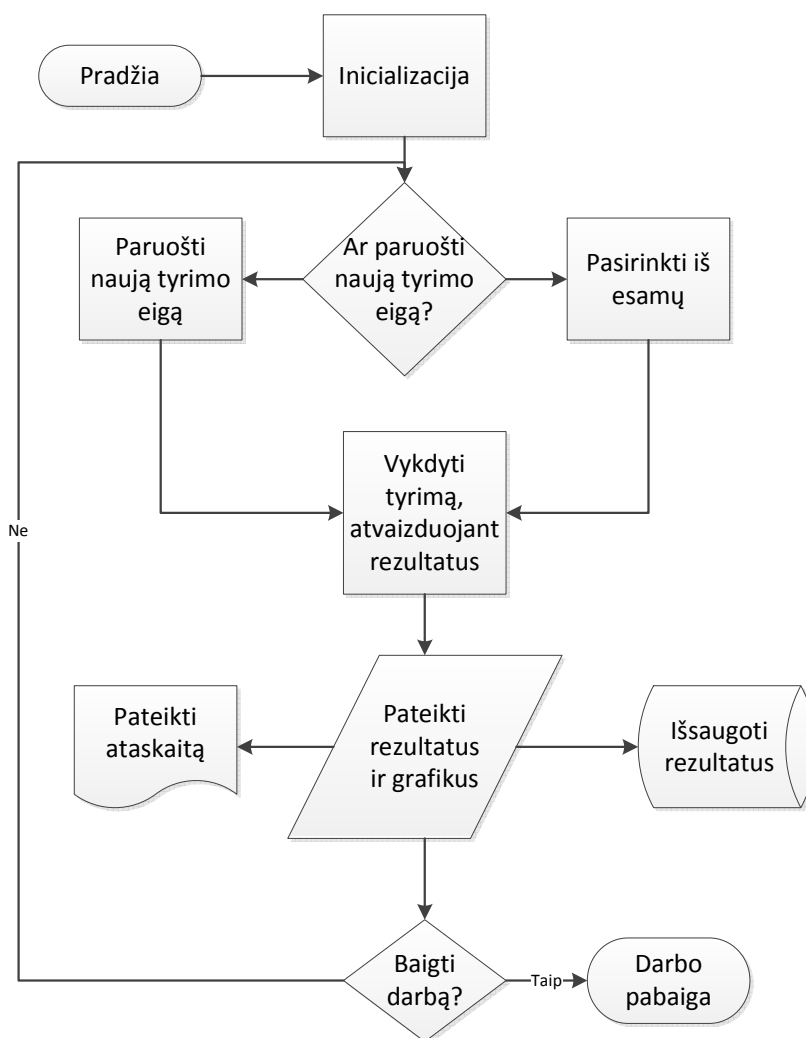
Principinis skirtumas tarp senos ir naujos įrangos kartų yra automatizuotos kompiuterinės valdymo sistemos taikymas procesų valdymui, duomenų matavimui ir rezultatų apdorojimui, kas suteikia šiuos privalumus:

- Tyrimų vykdymas pagal numatytą metodiką automatiniam režime;
- Automatinis rezultatų apdorojimas, atvaizduojant juos protokoluose ir grafinių būdu;
- Matavimo eigoje visų matuojamų reikšmių atvaizdavimas realiu laiku bei atitinkamos bandymų diagramos formavimas;
- Automatinis bandymo proceso sustabdymas įvykus bandinio lūžiui arba pasiekus numatytas sąlygas;
- Automatinis bandinio apkrovos greičio palaikymas, kas leidžia atlikti tikslius matavimus ir užtikrina rezultatų pakartojamumą;
- Kompiuterinė sistema veikia šiuolaikines Windows operacinės aplinkos pagrindu ir turi draugišką vartotojo sąsają;
- Pasikeitus matavimo metodikoms arba taikant naujas metodikas sistemoje reikia tik atnaujinti programinę įrangą.
- Matavimų rezultatai gali būti išsaugoti standartiniuose formatuose ir tuomet prieinami ir iš kitų Windows programų.

Sukurto National Instrument ir Labview platformoje ardomųjų bandymų įrangos modernizacijos sprendinio privalumų aprašymas

Programinio aprūpinimo veikimas. Sistemai valdyti, duomenims nuskaityti ir atvaizduoti grafinio programavimo aplinkoje LabVIEW projekto eigoje sukurta speciali kompiuterinė programa, kuri vykdo šiuos pagrindinius žingsnius:

- 1) Inicializuoja įrangą, patikrinant pagrindinių duomenų surinkimo ir valdymo kanalų veikimą.
- 2) Paruošia matavimo eksperimentą, nustatant reikiamus automatizuotai vykdomus etapus ir papildomas sąlygas, pagal kurias bus vykdomas matavimas.
- 3) Vykdo tyrimą, atliekant valdymo veiksmus (judėjimą/stabdymą), surenkant reikiamus duomenis ir atvaizduojant juos skaitmeniniu ir grafiniu būdu.
- 4) Pateikia matavimo rezultatus ir paruošia ataskaitas, išsaugoja duomenis tolimesniam apdorojimui.
- 5) Darbo pabaigoje programa atjungia įrangą ir prietaiso valdymo kanalus.



36 pav. Programos veikimo diagrama.

Inicializacijos etapas. Modernizuota sistema turi du pagrindinius matavimo kanalus – bandinio apkrovos kanalas ir traversos judėjimo kanalas (aktyvių spaustuvų judėjimas), kurių daviklių signalai yra pateikiami į National Instruments

PXI matavimo šasi, o toliau į kompiuterį su programinę įrangą, kuri atlieka bandymo proceso valdymą ir nuolatinę gaunamų rezultatų kontrolę, atvaizduojant pagrindines reikšmes „jėga-judėjimas-greitis“. Šių kanalų veikimas, o taip pat visos National Instruments duomenų surinkimo įrangos ir ryšis su kompiuterių yra atidžiai patikrinami. Įvykus klaidai arba atveju jei įranga nėra pajungta – apie tai pranešama vartotojui.

Paruošimas bandymui. Paruošiant bandymo eksperimentą, vartotojas gali sukurti nuosavą bandymo etapų eigą, pagal kuriuos bus vykdomas eksperimentas.

37 pav. Paruošimo eksperimentui langas.

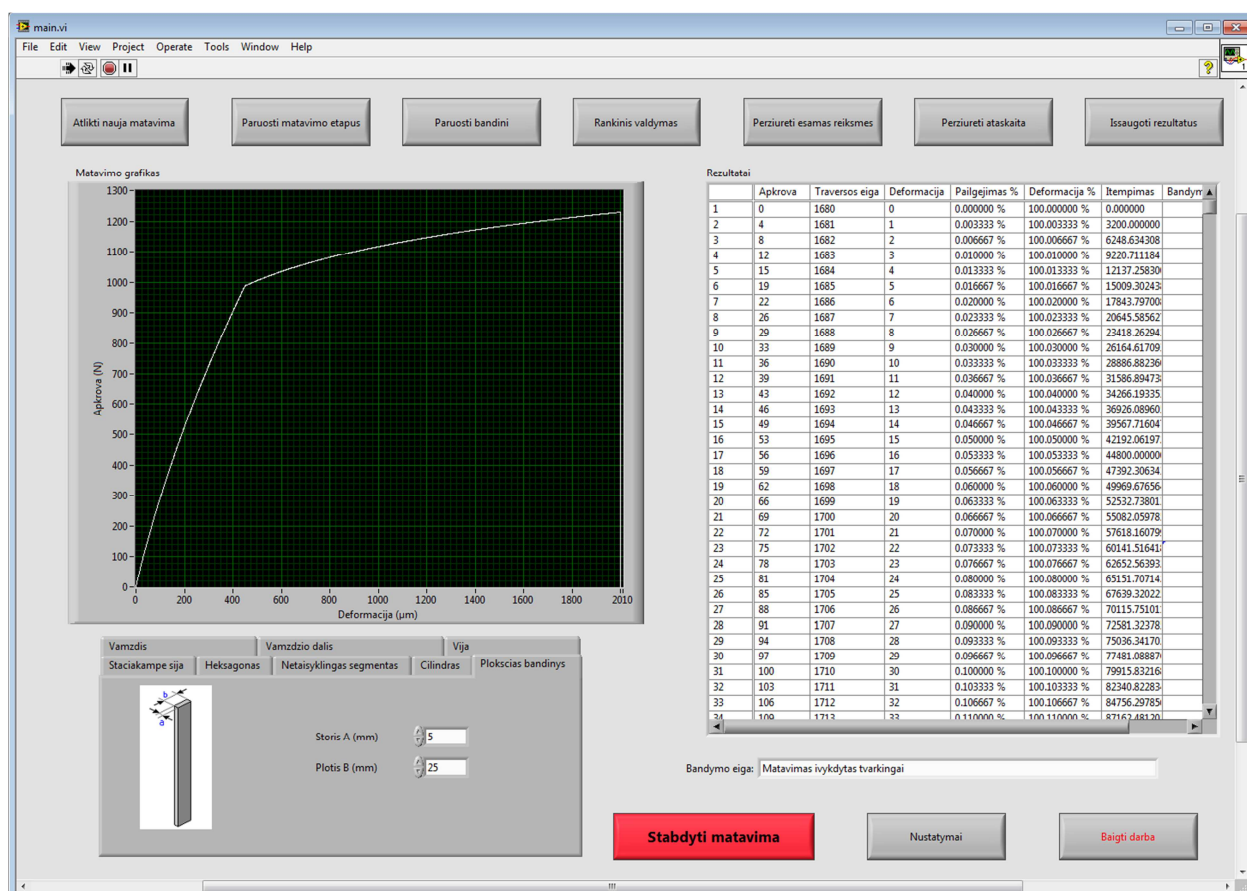
Pagrindiniai nustatomi parametrai yra:

- 1) Įvedamas etapo aprašymas, kad galima būtų atsekti eksperimento eigą.
- 2) Nurodomas valdymo tipas ir siekiama reikšmė, kurias bandys pasiekti įrangą esamo matavimo etapo eigoje. Tai gali būti tam tikras suspaudimo/tempimo greitis, apkrovos dydis, siekiama bandinio deformacija, taip pat galima atlikti etapą rankiniame režime arba atliekant ciklinį judėjimą.
- 3) Taip pat yra numatytos galimybės pasirinkti nuo vieno iki trijų stebimų parametrų (sąlygų), kurioms įvykus eksperimento metu galima pereiti prie sekančio etapo arba užbaigti bandymą. Tai yra naudinga atveju jei yra numatomas bandinio nutrūkimas eksperimento metu.
- 4) Numatytos galimybės ištrinti tam tikrą eilutę pagal numerį ir įrašyti naują eilutę tarp esamų.

5) Vartotojas gali išsaugoti visus sudarytus eksperimento etapus į atskirą failą, o vėliau įkrauti juos į programą be pakartotinio įvedimo.

Eksperimento paruošimo metu įrenginys nėra įjungiamas ir duomenys nėra surenkami. Tam kad atlikti eksperimentą automatinio arba rankiniu būdu vartotojas pereina prie sekančio žingsnio.

Tyrimo vykdymas. Nustačius eksperimento matavimo etapus (programos pagrindiniame lange paspaudę mygtuką „Paruošti matavimo eigą“) vartotojas gali nurodyti bandinio formą ir dydžius. Tuomet paspaudžia mygtuką „Atlikti naują matavimą“. Tuomet pagal kiekvieno etapo nurodytus valdymo tipus, jų dydžius ir stebimus parametrus yra atliekamas matavimas. Matuojamos reikšmės yra atvaizduojamos skaitmeniniu būdu lentelėje iš dešinės, grafiniu būdu grafike iš kairės. Taip pat yra parodomi vykdomo etapo numeris ir aprašymas, o esant reikalui vartotojas gali sustabdyti matavimą paspaudę mygtuką „Stabdyti matavimą“.



38 pav. Pagrindinio darbo lango vaizdas.

Duomenų apdorojimo specifika. Nepriklausomai nuo to, kad įranga gali valdyti matavimo procesą ir gauti tiesiogines jėgos bei judėjimo reikšmes, reikia pastebėti kad tiesioginės reikšmės nėra tikslios. Tam, kad pagerinti matavimo rezultatus modernizuotoje sistemoje yra pritaikyta National Instruments įranga, leidžianti ne tik atlikti tikslius matavimus bet ir atlikti juos pertekliniu greičiu (oversampling), o tuomet nuskaitytos reikšmės yra vidurkinamos. Tai yra paprastas skaitmeninės filtracijos pavyzdys, leidžiantis efektyviai sumažinti nuokrypį. Taip pat vykdant duomenų apdorojimą yra paruoštos galimybės ateityje tobulinti matematinius

algoritmus tam, kad programa galėtų bandyti automatiškai pritaikyti matematinius modelius analizuojant išmatuotas bandinių reikšmes (pvz: pagal jėgos-deformacijos grafiką). Tam reiktu numatyti specialią „raktinių“ taškų paiešką diagramose ir numatyti algoritmus, pagal kuriuos programa atskirtu šiuos „raktinius“ taškus analizuojant nežinomas medžiagas.

Ataskaitų formavimas. Atlikus matavimą vartotojas gali gauti rezultatus ataskaitos formoje. Bendra informacija pateikiama ataskaitoje:

- Kokia įranga buvo panaudota;
- Bandymo procedūrų aprašymas;
- Papildomos aplinkos sąlygos bandymo metu;
- Kokia medžiaga buvo bandoma;
- Gauti rezultatai

Tokie ataskaitų formatai leidžia lengvai apsikeisti duomenimis ir atlikti skirtingų bandymų palyginimą. Taip pat galima gauti papildomus statistinius rezultatus. Taip pat programoje yra numatyta galimybė išsaugoti ne tik apdorotus galutinius rezultatus, bet kartu ir „grynus“ duomenis iš jutiklių, tai irgi leidžia kaupti matavimų duomenų bazę ir jos pagrindu vystyti matematinę analizę ir algoritmus.

Techninių charakteristikų pagerinimas. Modernizuota sistema turi specializuotą National Instruments PXI Express platformą, kuri leidžia diegti papildomus duomenų surinkimo modulius, užtikrina jų maitinimą ir palaiko ryšį su valdančiuoju kompiuteriu. PXI Express leidžia dirbti su ne mažiau 250 Mb/s pralaidumu vienam moduliui, kas visiškai patenkina sistemos poreikius ir leidžia rinkti perteklinius duomenis ir juos filtruoti. Sąsaja su kompiuteriu yra užtikrinama MXI plokštės pagalba, kuri yra įdiegiama į kompiuterį.



39 pav. National Instruments duomenų surinkimo platformai.

Taip pat sistemoje yra 32 analoginės įvestys su duomenų surinkimo greičiu ne blogiau 2 MS/s 1-kanalui, 1 MS/s keliems kanalams ir 16-bitų tikslumą ± 10 V ribose ir 4 analoginės išvestys, ne blogiau 2,86M S/s ir 16-bitų tikslumą ± 10 V ribose. Be to yra 48 skaitmeninės įvesties/išvesties linijos, iš kurių 32 turi galimybę dirbti dažniuose iki 10 Mhz ir 4 32-bitų skaitikliai/laikmačiai PWM, kodavimo, dažnio, įvykių skaičiavimams. Tai užtikrina esamų daviklių pajungimą sistemoje, tokiu kaip traversos judėjimo enkoderis, jų reikšmių kokybišką nuskaitymą, valdyti įrenginį, stebint galimas klaidas, o taip pat leidžia ateityje pridėti naujus, papildomus jutiklius. Taip pat sistemoje yra įdiegtas enkoderis, registruojantis 1024 reikšmių per vieną apsisukimą, kas leidžia matuoti esamoje traversoje judėjimą su 0,01 mm tikslumu. Atskirai

reikia pažymėti modulį, skirtą apkrovai (jėgai) matuoti – tai 8 kanalų, didelio 24 bitų tikslumo, 25 tūkstančių matavimų per sekundę modulis, turintis specializuotas ketvirčio-, pusės-, viso-tilto signalų suderinimo schemas, o taip pat šuntų kalibravimą kiekvienam kanalui. Šio modulio pagalba galima matuoti su tikslumu iki 0,01 N (esant davikliui iki 5000 N)

Tyrimų rezultatų pabaigoje pateiktos išvados ir rezultatų apibendrinimas

PILNA TYRIMŲ ATASKAITA PATEIKTA UŽSAKOVUI „J. ir A. Romanovų“ PĮ

Literatūra

- 1) LST EN 12814-2:2000 Termoplastiko pusgaminių suvirintų jungčių bandymas. 2 dalis. Tempimo bandymas
- 2) LST EN 12814-6:2000 Termoplastiko pusgaminių suvirintų jungčių bandymas. 6 dalis. Tempimo žemoje temperatūroje bandymas
- 3) LST EN 12814-7:2003 Termoplastiko pusgaminių suvirintų jungčių bandymas. 7 dalis. Tempimo bandymas naudojant suplonintus bandinius
- 4) LST EN ISO 10319:2008 Geosintetika. Tempimo, naudojant plačią juostą, bandymas (ISO 10319:2008)
- 5) LST EN ISO 10321:2008 Geosintetika. Sujungimų arba siūlių tempimo bandymas plačios juostos metodu (ISO 10321:2008)
- 6) LST EN ISO 14272:2002 Taškinio bei reljefinio kontaktinio suvirinimo kryžmastrypių jungčių bandinių matmenys ir tempimo bandymo metodika (ISO 14272:2000)
- 7) LST EN ISO 2740:2009 Sukeptintieji metalai, išskyrus kietlydinius. Tempimo bandymo bandiniai (ISO 2740:2009)
- 8) LST EN ISO 4136:2013 Metalų suvirinimo siūlių ardomieji bandymai. Skersinio tempimo bandymas (ISO 4136:2012)
- 9) LST EN ISO 5178:2011 Metalų virintinių siūlių ardomieji bandymai. Lydomojo suvirinimo jungčių išlydyto metalo išilginio tempimo bandymas (ISO 5178:2001)
- 10) LST EN ISO 6892-1:2009 Metalai. Tempimo bandymai. 1 dalis. Bandymo kambario temperatūroje metodas (ISO 6892-1:2009)
- 11) LST EN ISO 6892-2:2011 Metalai. Tempimo bandymai. 2 dalis. Aukštatempatūrio bandymo metodas (ISO 6892-2:2011)
- 12) LST EN ISO 7500-1:2004 Metalai. Statinių vienašių bandymų mašinų patikra. 1 dalis. Tempimo ir (arba) gniuždymo mašinos. Jėgos matavimo sistemos patikra ir kalibravimas (ISO 7500-1:2004)
- 13) LST EN ISO 8496:2014 Metalinės medžiagos. Vamzdžiai. Žiedo tempimo bandymas (ISO 8496:2013)
- 14) LST EN ISO 9018:2004 Metalų virintinių siūlių ardomieji bandymai. Kryžminių ir užleistinių jungčių tempimo bandymai (ISO 9018:2003)
- 15) ГОСТ 28840-90 Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования
- 16) Informacija svetainėje: <http://asma-pribor.ru/>
- 17) Informacija svetainėje: <http://www.tochpribor-kb.ru/>
- 18) Informacija svetainėje: <http://www.instron.ru/>
- 19) Informacija svetainėje: <http://www.nab.lt/>
- 20) Informacija svetainėje: <http://www.lsd.lt/>
- 21) Informacija svetainėje: <http://www.ni.com/labview/>