



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
AUTOMATIKOS KATEDRA

Asta Inčirauskaitė

UNIVERSALIOSIOS SKLENDĖS TIESIAEIGĖS PAVAROS TYRIMAS

RESEARCH ON THE UNIVERSAL LINEAR ELECTRIC DRIVE

Baigiamasis magistro darbas

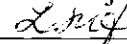
Automatikos studijų programa, valstybinis kodas 62401T104
Automatinių sistemų specializacija
Elektros inžinerijos mokslo kryptis

Vilnius 2011

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
AUTOMATIKOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas


(Parašas)

Zita Savickienė

(Vardas, pavardė)

2011-06-13
(Data)

Asta Inčirauskaitė

UNIVERSALIOSIOS SKLENDĖS TIESIAEIGĖS PAVAROS TYRIMAS

RESEARCH ON THE UNIVERSAL LINEAR ELECTRIC DRIVE

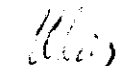
Baigiamasis magistro darbas

Automatikos studijų programa, valstybinis kodas 62401T104
Automatinių sistemų specializacija
Elektros inžinerijos mokslo kryptis

Vadovas prof. habil. dr. Algimantas Juozas Poška
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

 2011-05-29
(Parašas) (Data)

Konsultantas doc.dr. Dainius Udris
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

 2011-06-01
(Parašas) (Data)

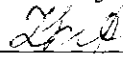
Konsultantas doc.dr. Zofija Babickienė
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

 2011-06-01
(Parašas) (Data)

Vilnius, 2011

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
AUTOMATIKOS KATEDRA

Technologijos mokslų sritis
Elektros ir elektronikos mokslo kryptis
Elektros inžinerijos studijų kryptis
Automatikos studijų programa, valstybinis kodas 62401T104
Automatinių sistemų specializacija

TVIRTINU
Katedros vedėjas,

(Parašas)
Zita Savickienė
(Vardas, pavardė)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS

2011.01.10.....Nr. 61.....
Vilnius

Studentei Astai Inčirauskaitei
Baigiamojo darbo tema: **Universalios sklendės tiesiaeigės pavaros tyrimas**
Research on the Universal Linear Electric Drive

patvirtinta 2010 m. spalio 28 d. dekanų potvarkiu Nr. 192 el.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2011 m. birželio 1 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

IVADAS.

1. MOKSLINĖS LITERATŪROS MAGISTRO DARBO TEMA APŽVALGA.

2. TYRIMO TIKSLAS IR UŽDAVINIAI.

3. TEORINĖ DALIS. 3.1. Dulkių sprogimų ir jų lokalizavimo problema. 3.2. Dulkių sprogimų automatinio lokalizavimo sistemų reikalavimų analizė. 3.3. Dulkių sprogdumo ir degumo parametrai.

4. TIRIAMOJI DALIS. 4.1. Dulkių sprogimų automatinio lokalizavimo sistemos (DSALS) struktūra. 4.2. Ugnį užtveriančių sklendžių tiesiaeigės elektros pavaros. 4.3. Ugnį užtveriančių greitaigėjų sklendžių taikymas technologinėms reikmėms. 4.4. Universaliosios sklendės optroninio paleidiklio schema. 4.5. DSALS kompiuterinis modelis. 4.6. Sprogimų bangos veikiamos ugnį užtveriančios sklendės pavaros dinaminių charakteristikų imitacija.

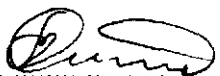
5. APIBENDRINANČIOJI DALIS. 5.1. Išvados. 5.2. Rekomendacijos ir pasiūlymai.

LITERATŪRA.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

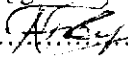
doc. dr. Dainius Udris
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Vadovas


(Parašas)

prof. habil. dr. A. J. Poška
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Užduotį gavau


(Parašas)

Asta Inčirauskaitė
(Vardas, pavardė)

2010-11-04
(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Elektronikos fakultetas
Automatikos katedra

ISBN ISSN
Egz. sk.
Data-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Automatikos** programos baigiamasis darbas

Pavadinimas **Universalios sklendės tiesiaeigės pavaros tyrimas**

Autorius **Asta Inčirauskaitė**

Vadovas **prof. habil. dr. Algimantas Juozas Poška**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Šiame baigiamajame darbe apžvelgtos dulkių sprogimų atsiradimo priežastys bei sprogimų plitimų mechanizmas. Aprašyti sprogimų žemės ūkio įmonėse padariniai. Aptartos techninės priemonės, įgalinančias lokalizuoti pirminius silpnus dulkių sprogimus ir taip išvengiant stiprių, griauamosios jėgos sprogimų. Išanalizuotos ugnį užtveriančių ir technologinių universaliųjų sklendžių tiesiaeigės elektros pavaros.

Naudojant programinį modeliavimo paketą Matlab Simulink sudarytas universaliosios sklendės tiesiaeigės pavaros modelis ir gautos dinaminės charakteristikų imitacijos kreivės. Naudojant programinį paketą SolidWorks sumodeliuota universalioji sklendė ir gauta smūginės bangos slėgio veikiamo sklendės judriojo elemento deformacija ir judriojo elemento deformacija, kai induktoriaus aktyviojoje zonoje įtaisyti papildomi atraminiai guoliai.

Baigiamojo darbo pabaigoje pateiktos išvados ir pasiūlymai.

Darbą sudaro 8 dalys: įvadas, mokslinės literatūros magistro darbo tema apžvalga, tyrimo tikslas ir uždaviniai, teorinė dalis, tiriamoji dalis, apibendrinančioji dalis, literatūra ir kiti šaltiniai, priedai.

Darbo apimtis be priedų– 58 p., 40 iliustr., 6 lent., 28 bibliografinių šaltinių, 3 internetinių prieigų, priedai – 10 p.

Prasminiai žodžiai

Tiesiaeigis asinchroninis variklis (TAV), dulkių sprogimų automatinio lokalizavimo sistema (DSALS), universalioji sklendė, papildomi, riedėjimo, slydimo, atraminiai guoliai, judriojo elemento deformacija

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Electronics
Department of Automation

ISBN _____ ISSN _____
Copies No.
Date-.....-.....

Master Degree Studies **Automation** study programme Master's Thesis

Title **Research on the Universal Linear Electric Drive**

Author **Asta Inčirauskaitė**

Academic supervisor **Prof Dr Habil Algimantas Juozas Poška**

Thesis language:
Lithuanian

Annotation

The final work of master analyses the causes of dust explosions and explosions spread mechanism. A short overview of the explosions effects in the agro - industry is presented. Technical devices enabling the localization of primary weak dust explosions and so avoiding the strong, destructive force explosions are discussed. Fire blocking and universal linear electric drives are analyzed.

Using software package Matlab Simulink model of universal linear electric drive is created and dynamic characteristics are gained. Using software package SolidWorks model of universal linear electric drive is created and valves mobile element deformation and deformation of the mobile element, when there are installed additional supporting bearings in the inductor active zone are obtained when mobile element is affected by the pressure of the explosion wave.

Concluding part presents inferences and suggestions.

Structure: introduction, master's thesis literature review, the research aims and problems, theoretical part, analysis part, summary, literature, appendixes.

Thesis consist of: 58 p. text without appendixes, 40 illustrations, 6 tables, 28 bibliographical entries, 3 internet entries and supplementary part 10 p.

Keywords

Linear induction motor (LIM), dust explosions, automatic tracking system of the dust explosions, universal linear electric drive, add – on, rolling, slipping, friction bearings, the mobile element deformation

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Asta Inčirauskaitė, Nr. 20053041

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Elektronikos

(Fakultetas)

Automatikos, AUSfm – 09

(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO) SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

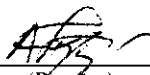
2011 m. _____ birželio _____ 1 d.
(Data)

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas (projektas) tema „**Universaliosios tiesiaeigės sklendės pavaros tyrimas**“ patvirtintas 2010 m. spalio 28 d. dekanato potvarkiu Nr. 192 el, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe (projekte) pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Parenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą (projektą), mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: doc. dr. Zofija Babickienė, doc. dr. Dainius Udris.

Mano darbo (projekto) vadovas prof. habil. dr. Algimantas Juozas Poška.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą (projektą) nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjusi.


(Parašas)

Asta Inčirauskaitė

(Vardas ir pavardė)

Turinys

IVADAS	7
1. MOKSLINĖS LITERATŪROS MAGISTRO DARBO TEMA APŽVALGA	8
2. TYRIMO TIKSLAS IR UŽDAVINIAI	10
3. TEORINĖ DALIS	11
3.1. Dulkių sprogimai ir jų lokalizavimo problema	11
3.1.1. Sistemotechnikos metodų taikymas, kuriant specialiąsias automatines sistemas su tiesiaieigėmis pavaromis.....	14
3.1.2. Tiesiaiegių asinchroninių elektros pavarų savybės ir modeliavimo uždaviniai	19
3.1.3. Technologinių ir avarinių procesų matematiniai modeliai	23
3.2. Dulkių sprogimų automatinio lokalizavimo sistemų reikalavimų analizė	26
3.3. Dulkių sprogumo ir degumo parametrai.....	28
4. TIRIAMOJI DALIS	31
4.1. Dulkių sprogimo automatinio lokalizavimo (DSALS) sistemos struktūra.....	31
4.2. Ugnį užtveriančių sklendžių tiesiaieigės pavaros	33
4.3. Ugnį užtveriančių greitaiegių sklendžių taikymas technologinėms reikmėms	36
4.4. Universaliosios sklendės optroninio paleidiklio schema.....	37
4.5. DSALS kompiuterinis modelis.....	39
4.6. Sprogimų bangos veikiamos ugnį užtveriančios sklendės pavaros dinaminų charakteristikų imitacija	46
5. APIBENDRINANČIOJI DALIS	54
5.1. Išvados	54
5.2. Rekomendacijos ir pasiūlymai	55
LITERATŪRA	56
PRIEDAI	59
Sprogimų bangos veikiamos ugnį užtveriančios sklendės pavaros dinaminų charakteristikų imitacija	60
Sprogimų bangos veikiamos ugnį užtveriančios sklendės pavaros dinaminų charakteristikų imitacija	66
XIV Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ pažyma	69

IVADAS

Pramoninių dulkių sprogių pavojus žinomas jau kelis šimtus metų. Sprogstančios dulkės turi labai didelę niokojamąją galią, todėl daugelyje pramonės šakų renkama medžiaga apie sprogių priežastis, stiprumus, niokojamąją galią. Siekiant riboti avarių mastą, gamyklose įrengiamos dulkių sprogių automatinės lokalizacijos sistemos (DSALS), kurias sudaro pirminių sprogių jutikliai, greitaigės ugnį užtveriančios sklendės ir jų valdymo įrenginiai.

Pirminius sprogius galima užfiksuoti slėgio ar fotojutikliais, sumontuotais ant bunkerių, technologinių mašinų (smulkintuvų). Norint išvengti avarių, reikia kurti technines priemones, neleidžiančias pirminiems sprogiams prasiskverbti į bunkerius¹, gamybines patalpas, kuriuose kyla antriniai stiprūs, griauinantys sprogi, t.y. pirminis sprogius užfiksuoti kuo greičiau, ir kuo efektyviau užkirsti kelią jiems plisti.

Dėl to pagal sprogių jutiklio signalą reikia automatiškai užsklęsti visus vamzdinius, jungiančius pirminio sprogių židinį su patalpomis, kur gali įvykti antriniai sprogi. Tokiai automatinei liepsnos sklido apribojimo sistemai reikia universaliųjų greitaigių sklendžių.

Tokias sklendes pavyksta sukurti, sutapatinant sklendės judamąjį elementą su tiesiaigio variklio antriniu elementu. Sklendės įrengiamos vamzdynuose, kuriais gali skliti pirminio sprogių liepsna. Universaliosios greitaigės sklendės užblokuoja pirminio sprogių židinius ir neleidžia jiems plisti toliau.

Universalijai sklendei su tiesiaigio judesio elektros pavara užsklendžiant liepsnos sklido kanalą, kinta sprogių plėtimosi uždaroje ertmėje sąlygos. Nuo jų priklauso sprogių slėgis, sklendės nueitas kelias, sklendės judamąjį elementą veikianti jėga, kelio priklausomybė nuo laiko. Be šios sąveikos, sprogių intensyvumą dar lemia dulkių cheminė sudėtis, koncentracija ir drėgmė, padegimo šaltinio temperatūra bei energija ir kiti aplinkos veiksniai. Be to, ugnį užtveriančios sklendės pavara turi būti taip apskaičiuota, kad sklendė suspėtų lokalizuoti sprogių židinį užkirdama liepsnai kelią, o kartu veikiantys slėgio iškrovikliai privalo tiek sumažinti sprogių slėgį, kad nesuirėtų technologinių įrenginių ir vamzdinių sienelės.

Atlikti bandymai rodo, jog sklendės judamasis elementas gali deformuotis ir pradės remtis į induktorių². *Magistro darbo tyrimo objektas* – universalioji sklendė, kuri turės papildomus guolius induktoriaus aktyviojoje zonoje, ir sprogių bangai išlenkiant sklendę, jos judamasis elementas

¹ Bunkeris – rezervuaras, dėžė, aruodas nepakuotoms birioms medžiagoms (grūdams, smėliui, cementui, anglims, rūdai) laikyti ir perpilti.

² Induktorius – elektros mašinos dalis, kurioje sukuriamas pagrindinis magnetinis srautas.

pradės remtis ne į induktorių, o į papildomus guolius. Sklendės pavaros veikimas tokiomis sąlygomis nėra tyrinėtas.

1. MOKSLINĖS LITERATŪROS MAGISTRO DARBO TEMA APŽVALGA

Pirmieji katastrofiški dulkių sprogimai pramonės gamyklose paskatino mokslinės literatūros, analizuojančios šią problemą, atsiradimą. Pirmoji knyga „Staub - Explosionen“ [1] buvo išleista 1925 metais. Pasak autoriaus rašydamas knygą jis bandė atsakyti į tris klausimus, aktualius žmonėms. Pirmasis klausimas buvo neaiškus ir aktualus daugumai eilinių žmonių „Ar dulkių sprogimai tikrai egzistuoja?“. Antrasis, kurį užduodavo pramonės gamyklų inžinieriai „Kodėl mūsų gamyklose kyla tiek daug dulkių sprogimų?“. Ir paskutinis klausimas, kuris iškildavo tyrėjams bei mokslininkams „Kodėl nekyla dar daugiau dulkių sprogimų?“. P. Beyersdorfer'io knygoje [1] išsamiai paaiškintos dulkių sprogimo priežastys. Jos išsamiai aprašytos bei pateikta nemažai eksperimentinių bandymų. Novatoriškoji P.Beyersdorfer'io knyga yra iki šiol skaitoma ir yra įtraukta į 1925 –ųjų metų geriausių išleistų knygų sąrašą.

Nuo 1925 metų beveik pusė amžiaus nebuvo išleista mokslinių knygų, analizuojančių dulkių sprogimo atsiradimo priežastis, padarinius ir priemones įgalinančias juos suvaldyti. Nors reikėtų paminėti, kad kaip tik tuo metu buvo išspausdinta keletas vertingų mokslinių straipsnių. Pavyzdžiui: Vokietijos inžinierių asociacijos straipsnis (1957 m.), Koszman'o ir Gavi'o straipsnis [2] bei skyrius apie dulkių sprogimus buvo aprašytas vadovėlyje [3]. Taip pat 1972 metais M.Haase rašydamas knygą [4] apie statinio krūvio pavojus atkreipė dėmesį ir į dulkių sprogimų problemą.

1971 metais Rusijoje buvo išleista knyga apie atsitiktinius dulkių sprogimus anglies kasyklose. Ši knyga apjungta su K.N. Palmer knyga [5]. buvo išleista anglų kalba. 1925 metais išleidęs savo pirmąją knygą Paul'as Beyersdorfer'is tęsė dulkių sprogimų tyrimus pramonės gamyklose ir išleido antrąją knygą [6]. Joje išsamiai išanalizuoti sprogimai anglies kasyklose bei chemijos pramonės įmonėse. Taip pat plačiau aptariamos priemonės įgalinančios lokalizuoti dulkių sprogimus, nei jo pirmojoje knygoje.

Nuo 1980 metų dulkių sprogimų atsiradimų priežastys, sprogimų plitimo sąlygos bei techninės priemonės įgalinančios lokalizuoti dulkių sprogimus buvo analizuojamos ne vienoje naujai išleistoje knygoje, pvz. [7], padaryta nemažai išradimų, pvz., [8, 9]. Užsienio šalių literatūroje taip pat gausu knygų [10, 11] šiomis temomis.

Lietuvoje pradėjus vystyti žemės ūkio pramonę dulkių sprogimų problema taip pat tapo aktuali. Tačiau dauguma tuo metu Lietuvos mokslininkų parašytų knygų bei straipsnių buvo rusų kalba. Lietuviškų leidinių dulkių sprogimų lokalizavimo tema nemažai išleista Vilniaus Gedimo technikos universiteto dėstytojų:

❖ Algimanto Juozo Poškos mokslo darbe [12] aprašoma automatinės dulkių sprogimų lokalizavimo sistemos. Plačiai aptarti dulkių sprogimai grūdų perdirbimo įmonėse, išanalizuotos jų atsiradimo priežastys bei sąlygos, kurioms esant dulkės gali sprogti. Aprašyti tyrimai atlikti SSRS Grūdų produktų ministerijos centriniame mokslinio tyrimo ir projektavimo institute bei Vievio sprogimų bandymo poligone [7]. Išanalizuotos techninės priemonės užfiksuojančios silpnus pirminius dulkių sprogimus, bei priemonės užkertančios šių sprogimų plitimą. Detaliai aprašytos greitaigių sklendžių elektros pavaros, kurios lokalizuoja sprogimus, bei pasiūlyta nauja originali sklendės konstrukcija.

❖ Algimanto Juozo Poškos, Zitos Savickienės ir Sauliaus Lisausko knygoje [13] aprašomas tiesiaeigių mechatroninių sistemų taikymas pramonės įmonėse. Aptariamos dulkių sprogimų automatinio lokalizavimo sistemos, kuriose taikomos mikroprocesorinės relinės apsaugos, slėgio jutikliai, greitaigės ugnį užtveriančios sklendės. Išanalizuoti tiesiaeigiai asinchroniniai varikliai, naudojami sklendžių tiesiaeigėse pavarose.

❖ Romos Rinkevičienės ir Sauliaus Lisausko straipsnyje [14] nagrinėjama elektros pavarų su tiesiaeigiais varikliais, kurių judamasis elementas neišeina už induktoriaus ribų, dinamika. Naudojant gautas tiesiaeigės pavaros dinaminio modelio lygtis sudarytas tiesiaeigės elektros pavaros modelis α , β koordinačių sistemoje.

❖ Algimanto Juozo Poškos, Zitos Savickienės ir Jono Zubaičio straipsnyje [15] nagrinėjama automatinio dozatoriaus bunkerio sklendė su daugiafunkce tiesiaeige asinchronine elektros pavara. Pateikiama šios sklendės kompiuterinio valdymo algoritmo struktūrinė schema, analizuojamos sistemos dinaminės charakteristikos. Aptariami dulkių sprogimų automatinio lokalizavimo sistemos pagrindiniai elementai: pirminio sprogimo jutikliai ir greitaveikės ugnį užtveriančios sklendės, kurių judamasis elementas yra kartu ir tiesiaeigio asinchroninio variklio antrinis elementas. Išanalizuotos greitaigės ugnį užtveriančios sklendės panaudojimo technologinėms reikmėms galimybės.

❖ Zitos Savickienės, Algimanto Juozo Poškos ir Alvydo Šlepiko straipsnyje [16] nagrinėjami ir lyginami Vilniaus Gedimino technikos universiteto Automatikos katedros specialistų sukurtų ir įdiegtų (dulkių sprogimų automatinės lokalizacijos sistemų sklendėse) nedidelėmis ir vidutinio dydžio serijomis pagamintų plokščios ir cilindrinės konstrukcijos mažos galios variklių,

veikiančių trumpalaikiu darbo režimu, induktoriaus fazinės srovės tankiai, santykinės aktyviosios galios, galios koeficientai, fazinių srovių asimetrija, pereinamųjų procesų rodikliai.

2. TYRIMO TIKSLAS IR UŽDAVINIAI

Magistro darbo tyrimo objektas – universalioji sklendė, kuri turės papildomus guolius induktoriaus aktyviojoje zonoje, ir sprogimo bangai išlenkiant sklendę, jos judamasis elementas pradės remtis ne į induktorių, o į papildomus guolius. Sklendės pavaros veikimas tokiomis sąlygomis nėra tyrinėtas.

Darbo tikslai ir uždaviniai:

- ❖ Išanalizuoti dulkių sprogimų atsiradimo priežastis bei sprogimų plitimo sąlygas.
- ❖ Aprašyti sprogimų, žemės ūkio įmonėse (elevatoriuose³, malūnuose, kombinuotų pašarų gamyklose), padarinius.
- ❖ Aptarti techninės priemonės, įgalinančias lokalizuoti pirminius silpnus dulkių sprogimus ir taip išvengti stiprių, griauamosios galios sprogimų.
- ❖ Išanalizuoti ugnį užtveriančių ir technologinių universaliųjų sklendžių tiesiaeigės elektros pavaras.
- ❖ Sudaryti universaliosios sklendės tiesiaeigės pavaros modelį, taikant *Matlab* programinį paketą;
- ❖ Gauti universaliosios sklendės pavaros dinaminį charakteristikų imitacijos kreives.
- ❖ Sumodeliuoti universaliosios sklendės judamojo elemento modelį, taikant *SolidWorks* programinį paketą.
- ❖ Ištirti mechaninės smūginės sprogimo bangos įtaką sklendės judamajam elementui.
- ❖ Ištirti smūginės bangos veikiamo sklendės judamojo elemento deformaciją, kai induktoriaus aktyviojoje zonoje įtaisyti papildomi guoliai.

³ Elevatorius – specialus birių produktų (miltų, grūdų) sandėlis: Grūdų elevatorius.

3. TEORINĖ DALIS

3.1. Dulkių sprogimai ir jų lokalizavimo problema

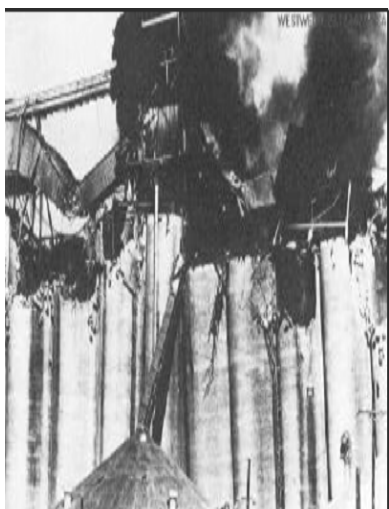
Sprogimai žemės ūkio gamyklose nėra naujiena, bet sena problema susijusi su organinėmis dulkėmis. 1785 m. pirmasis aprašytas dulkių sprogimas įvyko miltų sandėlyje, Turine. Daugybė niokojančių grūdų dulkių sprogimų (žr. 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 pav.; [7, 18]) pasireiškė įvairiose šalyse: Norvegijoje (Port gamykloje Stavangeryje), Vokietijoje (Miltų malūne Bremene), Argentinoje (de Bahia Blanca), Prancūzijoje (Salyklo bokšte, Metze), JAV (Grain įmonėje Teksase) ir t.t [19, 20].



3.1. pav. Bremenas 1979 m.



3.2 pav. Norvegija 1976 m.



3.3. pav. Luiziana 1977 m.



3.4 pav. Tomolovas, SSRS 1987 m.

Dulkės gali būti žalingos ir labai pavojingos, jos yra daugumos gaisrų, bei sprogimų priežastis perdirbimo įrenginiuose. Tai ne tik medienos dulkės, bet ir sprogimo sukeltos dulkės nuo gumos, grūdų, cukraus, plastiko miltelių ir kitų medžiagų. Daugelis medžiagų, kurių būvis kietas, yra nelabai degios, tačiau tų pačių medžiagų dulkės, milteliai, yra labai degūs. Tokiose gamyklose vykstant gamybos procesui kaip pašalinis produktas gaminasi ir dulkės. Laikui bėgant, dulkių nusėda ant horizontalių paviršių: gegnių⁴, lentynų, grindų, variklių dalių, konstrukcinių elementų ir kt.

Viena kibirkštis arba žarija gali padaryti pradžią grandininei reakcijai. Perdirbimo įrenginiai gali sukelti kibirkščiavimą, kuris gali sukelti pirminius mažus sprogius. Maži sprogius išjudina dulkes, esančias ant konstrukcijos dalių, lentynų, variklių dalių ir dulkės susimaišo su oru. Po kelių sekundžių įvyksta antriniai sprogius, kurie yra daug didesni ir stipresni, dėl jų griūna gamyklos, žūsta žmonės.

Pirmieji katastrofiški sprogius buvo intensyvių mokslinių tyrimų pradžia. Kurių tikslas buvo ne tik sužinoti sprogimų priežastis, bet taip pat rasti sprendimus neleidžiančius tokioms avarijoms įvykti ateityje.

Per paskutiniuosius 200 metų žmonija turi sukaupę skaudžią patirtį. Tačiau vis dar pasitaiko žmonių gyvybes pasiglemžiančių avarių: Blaye (Prancūzija) 1997 m. rugpjūtis (3.5 pav.), 11 žuvusių [21], Kansasas (JAV), 1998 m. birželio 8 d., žuvo 7 žmonės, 10 sužeista [22], Šiaurės Karolina 2003 m. Sausio mėn., 6 žuvo, 38 sužeista, Džordžija (JAV), 2008 m. Vasario mėn. (3.6 pav.), 14 žuvusių ir daug sužeistų [17].



3.5 pav. Prancūzija 1997 m.



3.6 pav. Džordžija (JAV), 2008 m.

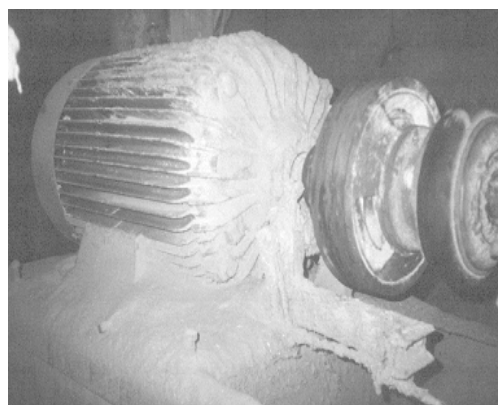
⁴ Gegnė – 1 įžambi porinė ar pavienė stora kartis (ar tašas) stogo dangai laikyti, 2 tech. vienu galu pritvirtinta laikančioji konstrukcija.

JAV cheminės saugos ir pavojų tyrimo tarnyba (CSB) nustatė, kad per pastaruosius 25 metus įvyko 280 dulkių sprogimų pramonės gamyklose. Šių didelę niokojančią galią turinčių sprogimų metu griuvo ne viena gamykla, žuvo 119 žmonių ir 700 žmonių buvo sužeista.

Dauguma degių kietųjų medžiagų yra imlios plėtoti greito degimo procesus, kai dalelių dydis yra pakankamai mažas. Tačiau sprogimo banga, sklisdama technologinių įrenginių ertmėmis, vamzdynais, nupučia nuo sienelių dulkių nuogulas, o sklindanti liepsna padega naujas aerosolių⁵ mases ir sukelia stipresnius sprogimus. Jei technologinio įrenginio, ar vamzdžio sienelės neišlaiko padidėjusio slėgio ir suyra, liepsna prasiskverbia į gamybines patalpas. Šiose patalpose ant statybinių konstrukcijų briaunų, technologinių įrenginių sienelių, grindų visuomet yra dulkių nuogulų. (3.7, 3.8 pav.) [17].



3.7 pav. Dulkės prie įrenginių



3.8 pav. Dulkės ant variklio

Siekiant riboti avarijų mastą, gamyklose įrengiamos dulkių sprogimų automatinės lokalizacijos sistemos (DSALS).

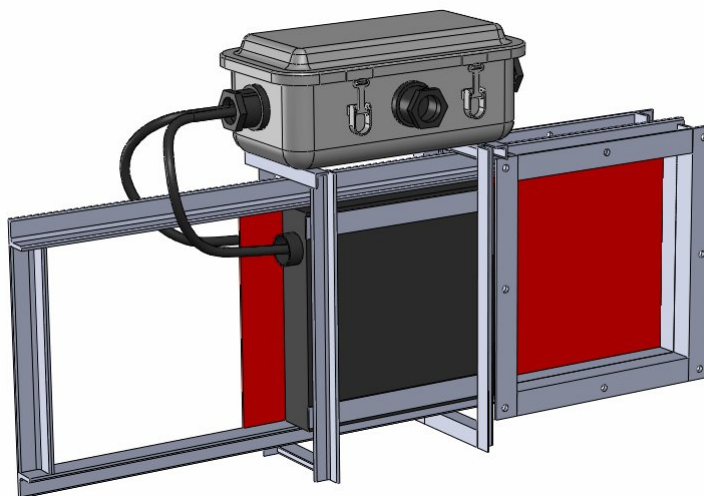
Pirminius sprogimus galima užfiksuoti slėgio ar fotojutikliais, sumontuotais ant bunkerių, technologinių mašinų (smulkintuvų). Norint išvengti avarijų, reikia kurti technines priemones, neleidžiančias pirminiams sprogimams prasiskverbti į bunkerius, gamybines patalpas, kuriuose kyla antriniai stiprūs, griauinantys sprogimai.

Dėl to pagal sprogimo jutiklio signalą reikia automatiškai užsklęsti visus vamzdynus, jungiančius pirminio sprogimo židinį su patalpomis, kur gali įvykti antriniai sprogimai. Tokiai automatinei liepsnos sklaidimo apribojimo sistemai reikia universaliųjų greitaeigių sklendžių.

Tokias sklendes pavyksta sukurti, sutapatinant sklendės judamąjį elementą su tiesiaeigio variklio antriniu elementu. Tokios sklendės įrengiamos vamzdynuose, kuriais gali sklisti pirminio

⁵ Aerosolis – dujos, kuriose plūduriuoja skystos arba kietos dalelės.

sprogimo liepsna. Tokios sklendės užblokuoja pirminio sprogimo židinius, o kartu veikiantys slėgio iškrovikliai privalo sumažinti sprogimo slėgį ir neleidžia jiems plisti toliau.



3.9 pav. Greitaeigė ugnį užtverianti sklendė

Anglies kasyklose, kad anglies dulkės nesprogtų, šachtose aerosolis drėkinamas. Chemijos pramonės įmonėse vamzdynai žaibiškai užkemšami inhibitoriais⁶, susprogdinant specialų užtaisą su šiomis medžiagomis. Grūdų perdirbimo įmonėse šie metodai netaikomi, nes per didelė drėgmė, ar inhibitoriai gali sugadinti maisto produktus, ar pašarus. Todėl grūdų perdirbimo įmonėms tenka kurti specialias sprogimų lokalizavimo sistemas, kuriose taikomos specialios U2-BZB tipo sklendės (3.9 pav.). Tokių sklendžių gamą yra sukūrusi Vilniaus Gedimino technikos universiteto Automatikos katedra.

3.1.1. Sistemotechnikos metodų taikymas, kuriant specialiąsias automatines sistemas su tiesiaeigėmis pavaromis

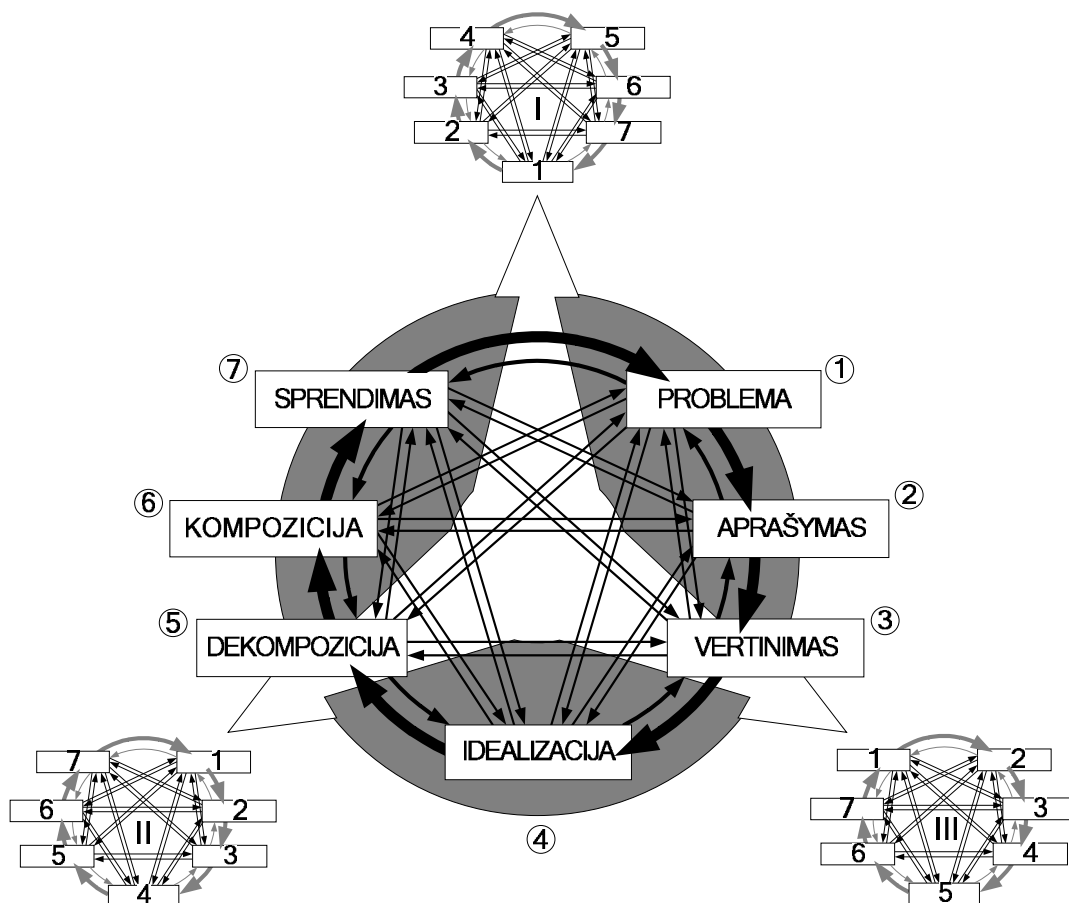
Tiesiaeigio asinchroninio variklio (TAV) veikimas pagrįstas slenkančio magnetinio lauko ir jo indukuotų srovių laidžiuose kūnuose sąveika. Todėl TAV antrinį elementą gali pakeisti valdomo mechanizmo elektrai laidžios dalys. Tačiau pavarų su TAV charakteristikos dažniausiai yra prastesnės už sukamojo judesio sinchroninių variklių charakteristikas. Todėl pavaros mechaninių grandžių pašalinimo ir net TAV antrinio elemento sutapatinto su valdomo įrenginio dalimis argumentų nepakanka pavarų su TAV taikymui pagrįsti. Šį klausimą būtina spręsti iš

⁶ Inhibitorius – medžiaga, lėtinanti arba sustabdanti cheminę reakciją, šio atveju liepsną gesinanti medžiaga.

sistemotechnikos⁷ pozicijų nagrinėjant visos automatinės technologinių procesų valdymo ar apsaugos sistemos charakteristikas. Kuriant dulkių sprogimų automatinio lokalizavimo sistemas taip pat reikia vadovautis sistemotechnikos principais, norint optimalių rezultatų.

Sistemotechnikos principais kuriant automatinės sistemos su tiesiaeigėmis pavaromis, tokias kaip DSALS, problema išskaidoma į šias smulkesnes problemas (3.10 pav.):

1. *Problemos suvokimas*: suformuluojamas sistemos kūrimo principas, atsižvelgiama į visa tai, kas reikšminga sistemos tikslui, o visa kita – atmetama.
2. *Aprašymas*: vientisu pagrindu išreiškiami skirtingos fizikinės prigimties reiškiniai ir faktoriai.
3. *Vertinimo kriterijų nustatymas*: apibrėžiama kas yra „gerai“ ir kas „blogai“ sistemos tikslo atžvilgiu – tai padeda palyginti alternatyvas.
4. *Idealizacija*: problema racionaliai idealizuojama, susupaprastinama iki leistinų ribų.



3.10 pav. Sisteminės analizės etapų sąsajos: I – III – naujos idėjos ir jų analizė (I – naujos teorinės idėjos; II – naujų medžiagų, ar naujų konstrukcijų taikymas; III – nauji valdymo būdai)

⁷ Sistemotechnika – kibernetikos šaka, tirianti didžiąsias sistemas (pvz.: energetikos, aptarnavimo sferos, viso liaudies ūkio, gyvo organizmo), jų projektavimą, gamybą, bandymus ir naudojimą.

5. *Dekompozicija*: randamas toks visumos skaidymo į dalis būdas, kuris nepakeičia sistemos savybių.

6. *Kompozicija*: dalys taip jungiamos į sistemą, kad nebūtų prarandamos jų savybės.

7. *Sprendimas*: priimamas sprendimas, kad viena iš nagrinėjamų sistemų yra geriausia, t.y. randamas problemos sprendinys [12].

Taikant tradicinius mokslinių problemų sprendimo metodus, į išvardytas dalines problemas paprastai žiūrima kaip į pagrindinės problemos sprendimo etapus. Manoma, kad atskiras problemos dalis reikia spręsti nuosekliai viena po kitos, kol išsprendžiama pagrindinė problema. Sistemoteknikoje atsisakoma tokio nuoseklaus algoritmo. Manoma, kad problemos sprendimo procesas yra daugiaryšis, pagrįstas pasirinkto pradinio modelio tobulinimu ir tikslinimu, atsižvelgiant į jo dalių sąveiką.

Iš pirmo žvilgsnio gali atrodyti, kad vienu metu spręsti septynias dalines problemas yra sunkiau negu paeiliui. Taip ir yra iš tikrųjų, kai sprendžiamos nepriklausomos problemos. Tuo atveju, kai problemos yra daugiaryšės, o sprendimo algoritmas – nuoseklus, tenka rasti daugelį kiekvienos dalinės problemos sprendinių ir iš jų atrinkti tik tuos, kurie tenkina visai sistemai keliamus reikalavimus. Sudėtingų problemų komponentės gali turėti labai daug sprendinių. Todėl nuoseklioji procedūra praranda prasmę, nes bendrą visai sistemai sprendimą dažniausiai tenka priimti heuristiniu⁸ būdu. Problemą sprendžiant sistemoteknikos metodais, t.y. vienu metu nagrinėjant visas pagrindinės problemos komponentes, savaime siaurinamas sprendinių paieškos laukas, atmetama dauguma neperspektyvių alternatyvų. Šitoks metodas ne tik perspektyvus, bet ir ekonomiškesnis už nuoseklių etapų metodą, nes problema dažniausiai supaprastinama didesniu laipsniu negu tas, kuriuo ji komplikuojama vienu metu sprendžiant septynias dalines problemas [12].

Sistemoteknikos pagrindinis objektas – tai sudėtingos sistemos. Tokių sistemų kūrimo teorinis pagrindas – bendroji sistemų teorija. Tačiau ji neapėmia visų konkrečių uždavinių, kurie iškyla kuriant įvairias automatines sistemas su tiesiaeigėmis elektros pavaromis. O kurti teorijas kiekvienai konkrečiai automatinio valdymo ar apsaugos sistemai netikslinga dėl didelių laiko ir išteklių sąnaudų. Todėl, skirtingai nei kituose taikomuosiuose moksluose, sistemoteknikoje teoriją tam tikra prasme pakeičia modelis.

Skirtumai tarp teorijos ir modelio yra sąlygiški, nes teorija – tai taip pat gamtos (ar technikos) modelis, tik labai platus ir produktyvus. Teorijos pagrindas – nedidelis skaičius aksiomų ar dėsnių. Teorijos taikymo ribos atitinka tą daugiamatę erdvę, kuriai galioja pradiniai dėsniai.

⁸ Heuristiniai metodai (būdai) - yra svarbi ekspertinių sistemų bei dirbtinio intelekto dalis, jie sėkmingai naudojami praktiniuose globalaus ir, ypač, diskretaus optimizavimo uždaviniuose.

Todėl teorija aprėpia labai plačią sritį. Kartu tie dėsniai apibrėžia privalomus apribojimus, kurių peržengti nevalia. Teorija įgalina atrasti naujus, anksčiau nežinomus, faktus: ji įgalina juos prognozuoti. Tuo atveju, kai aptinkami teorijos neatitinkantys patikimi faktai, tikslinami pradiniai dėsniai. Taip sukuriamą naują bendresnę teoriją, kuri apima ir senąją: į senąją teoriją žiūrima kaip į atskirą naujos (bendrosios) teorijos atvejį.

Pavyzdžiui, klasikinėje elektros mašinų teorijoje induktyviuosius ryšius turinčios apvijos taip redukuojamos, kad turėtų vienodą vijų skaičių. Tuomet šių apvijų parametrai, srovės ir įtampos tampa vienos eilės dydžiais. Tai įgalina elektrines grandines su induktyviaisiais ryšiais pakeisti atstojamosiomis schemomis su elektriniais ryšiais ir elektros mašinų teoriją plėtoti elektrinių grandinių teorijos metodais. Šitaip supaprastinami skaičiavimai, o teorija gerai atspindi fizikinius procesus, vykstančius elektromechaninio keitiklio pirminėje ir antrinėje grandinėse.

Bandymai sukurti analogišką tiesiaeigių asinchroninių ir magnetohidrodinaminių⁹ mašinų teoriją buvo nesėkmingi dėl šioms mašinoms būdingų kraštų efektų ir specifinių konstrukcijos parametrų, lemiančių sudėtingą trimačio elektromagnetinio lauko mašinos nemagnetiniame tarpe tarp pirminio ir antrinio elementų konfigūraciją. Todėl tiesiaeigių asinchroninių mašinų teorija plėtojama elektrodinamikos, o magnetohidrodinaminių mašinų teorija – dar ir hidrodinamikos teorijų pagrindu. Tačiau tokia teorija yra labai sudėtinga: dažnai sudarytas lygtis tegalima išspręsti skaitiniais metodais arba sprendiniai gaunami begalinių eilučių pavidalu.

Siekiant supaprastinti magnetohidrodinaminių mašinų teoriją, priimamos prielaidos, kad turbulentiškai tekančio elektrai laidaus skysčio srauto skerspjūvyje greičių epiūra artima stačiakampei, t.y. visuose kanalo skerspjūvio taškuose skysto metalo greitis yra vienodas. Toks magnetohidrodinaminės mašinos modelis atitinka tiesiaeigės asinchroninės mašinos (su kietu antriniu elementu) modelį. Akivaizdu, kad uždavinys sprendžiamas elektrodinaminiu artėjimu. Toliau prastinant tiesiaeigių asinchroninių mašinų teoriją ir siekiant suteikti jai klasikinės elektros mašinų teorijos vaizdumą, vėl grįžtama prie atstojamųjų schemų. Šių schemų parametrai nustatomi, naudojantis pilnutinės elektromagnetinės galios, perduodamos iš mašinos pirminės į antrinę grandinę, išraiškomis, gautomis elektromagnetinio lauko teorijos metodais.

Skirtingai nei teorija, sistemotechnikoje modelis sudaromas empirinių ir prognozuojamų duomenų pagrindu. Tie duomenys nėra nei dėsniai, nei dėsningumai, o vien realių arba įsivaizduojamų procesų atspindys. Modelis įgalina į vieną visumą sujungti daugelį procesų, tirti

⁹ Magnetohidrodinamika - [magnetas + hidrodinamika], mokslas, tiriantis laidžių skysčių ir jonizuotų dujų (plazmos) judėjimą magnetiniame lauke.

įvairių sąlygų įtaką tiems procesams. Modeliavimas – tai daugkartinis procesų sąveikos atkartojimas. Dažnai modelis padeda atskleisti naujus dėsningumus, kurie tradicinės analizės metu nebuvo pastebėti dėl sudėtingumo, palyginimo sunkumų, pateikimo skirtingomis formaliosiomis kalbomis ar dėl kitų veiksnių.

Modelio adekvatumas tikrinamas taip pat kaip teorijos: kontroliniai rezultatai palyginami su eksperimento duomenimis. Tuo atveju, kai jie nesutampa, modelis tikslinamas. Modelio sudarymo metodai gali būti įvairūs (bandymas, spėjimas, imitacija, aproksimacija, identifikacija pagal eksperimento duomenis ir t.t.), svarbu vien rezultatas. Tuo atveju, kai pradiniai dėsniai yra pagrįsti, o teorinis aparatas korektiškas, teorija įgalina gauti visiškai patikimų rezultatų. Šito negalima pasakyti apie modelį, nes nėra žinoma, ar pradiniai duomenys, pagal kuriuos yra sudarytas modelis, išsamiai apibūdina realią situaciją. Todėl modelis nėra toks bendras ir patikimas kaip teorija. Tačiau modeliavimo rezultatai gaunami operatyviau, be to modeliuoti galima ir mažai tyrinėtus objektus.

Tuo atveju, kai pradiniai dėsningumai yra žinomi, tačiau nėra juos sujungiančio ir įgalinančio daryti išvadas aparato (būtent su tokia situacija susiduriama kuriant sudėtingas automatines technologinių procesų valdymo ir apsaugos sistemas su tiesiaieigėmis pavaromis, kurių dalys, ypač valdymo ar apsaugos objektai, aprašomi įvairių teorijų formaliosiomis kalbomis), modelis gali atlikti aparato (t.y. išvadų gavimo priemonės) funkcijas. Schemotechnikos požiūriu ši modelio savybė yra viena iš pagrindinių. Modeliuoti galima procesus, kurie nėra analiziškai išreikšti, – modelis atspindės visus jų savitarpio ryšių aspektus. Modeliavimas dažnai yra efektyvesnis ir operatyvesnis nei analizinio aparato taikymas, nes modelis leidžia paprasčiau ir greičiau gauti kiekybinius rezultatus.

Dar viena teigiama modelio savybė yra ta, kad modelis visada yra paprastesnis už modeliuojamą objektą, o teorija – dėl savo bendrumo – visada sudėtingesnė. Galima pagrįstai teigti, kad modelis – tai pats efektyviausias problemos supaprastinimo būdas. Tačiau modelis atspindi ne visą esmę, o tik tam tikras jos briaunas, tik tam tikras modeliuojamo objekto savybes. Sistemotechnikos požiūriu tai greičiau privalumas nei trūkumas, nes praktikai reikia ne visų galimų, o konkrečių, tikslinių duomenų. Tuo atveju, kai prireikia kitą sistemos taikymo sritį atspindinčių duomenų, sudaromas naujas modelis. Daugiamodeliškumas dažniausiai nelaikytinas trūkumu, nes lyginant įvairių modelių tyrimo rezultatus, atspindinčius įvairias automatinės sistemos esmės briaunas, galima efektyviai ištirti ir pažinti sistemą [12].

3.1.2. Tiesiaeigių asinchroninių elektros pavarų savybės ir modeliavimo uždaviniai

Iš žinomų modeliavimo rūšių (fizinis, analoginis, matematinis) universaliausias yra matematinis modeliavimas, kuris gali būti realizuotas skaitmeninėmis, analoginėmis ir hibridinėmis elektroninėmis skaičiavimo mašinomis (ESM). Įvairių rūšių ESM taikymo sritys nėra griežtai apibrėžtos. Anksčiau buvo laikoma, kad elektros pavarų automatinio valdymo sistemų variacinei analizei labiau tinka analoginės skaičiavimo mašinos. Tačiau labai padidėjus mikroprocesorių taktiniam dažniui, atminties talpai ir išstūbulėjus asmeninių kompiuterių sisteminei programinei įrangai, universaliausia modeliavimo priemone laikytini asmeniniai kompiuteriai.

Yra labai daug tiesiaeigių asinchroninių variklių rūšių, o rotaciniai ir laukiniai asinchroniniai varikliai gali būti laikomi atskirais TAV variantais. Kiekviena TAV rūšis turi specifinių savybių, į kurias reikia atsižvelgti sudarant pavarų su TAV matematinius modelius. Pavyzdžiui, plokščios konstrukcijos tiesiaeiguose asinchroniniuose varikliuose yra šonų efektas, kurio įtakos TAV charakteristikoms laipsnis priklauso nuo TAV antrinio elemento pločio santykio su induktoriaus pločiu. Didinant šį santykį iki tam tikros ribos, šonų efektas silpnėja, o cilindrinės konstrukcijos tiesiaeiguose asinchroniniuose varikliuose (CTAV) šio efekto visai nėra. Galų efektas reiškiasi ir TAV, ir CTAV. Tačiau jo įtaka tiesiaeigių variklių charakteristikoms silpnėja didinant polių skaičių.

Pagal galų efekto įtaką tiesiaeigių asinchroninių variklių mechaninėms charakteristikoms jie skirstomi į greitaeigius, vidutinių greičių ir lėtaeigius.

Greitaeigiams TAV galioja sąlyga:

$$\frac{\mu_0 v^2}{4\omega p_s g} \gg 1, \quad (3.1)$$

ir lėtaeigiams:

$$\frac{\mu_0 v^2}{4\omega p_s g} < 1. \quad (3.2)$$

Tiesiaeigėms elektros pavaroms, kurių parametrų derinys neatitinka ne vienos iš sąlygų (3.11 pav.), vadinami – vidutinių greičių TAV.

Iš sąlygų:

μ_0 – magnetinė konstanta;

v – antrinio elemento greitis;

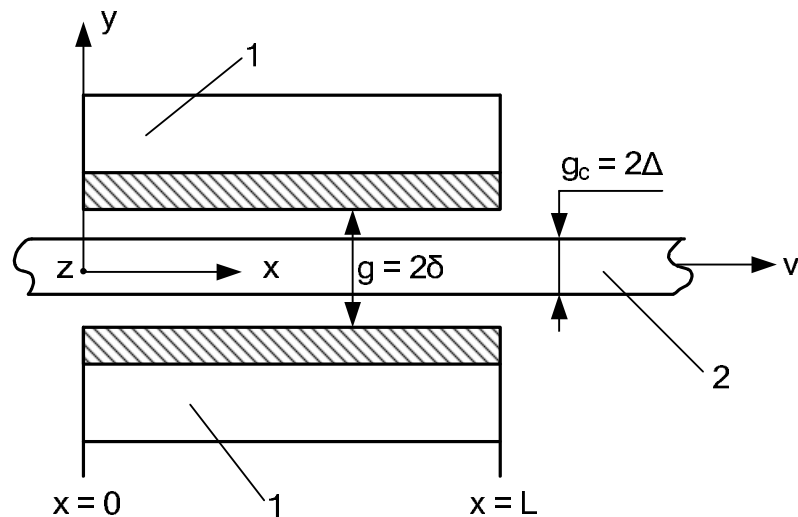
$w = 2\pi f_1$ – kampinis indukatoriaus srovės dažnis;

$p_s = \frac{p}{g_c} = \frac{p}{2\Delta}$ – antrinio elemento santykinė paviršiaus varža;

p – savitoji antrinio elemento medžiagos varža;

$g_c = 2\Delta$ – antrinio elemento storis;

$g = 2\delta$ – nemagnetinis tarpas.

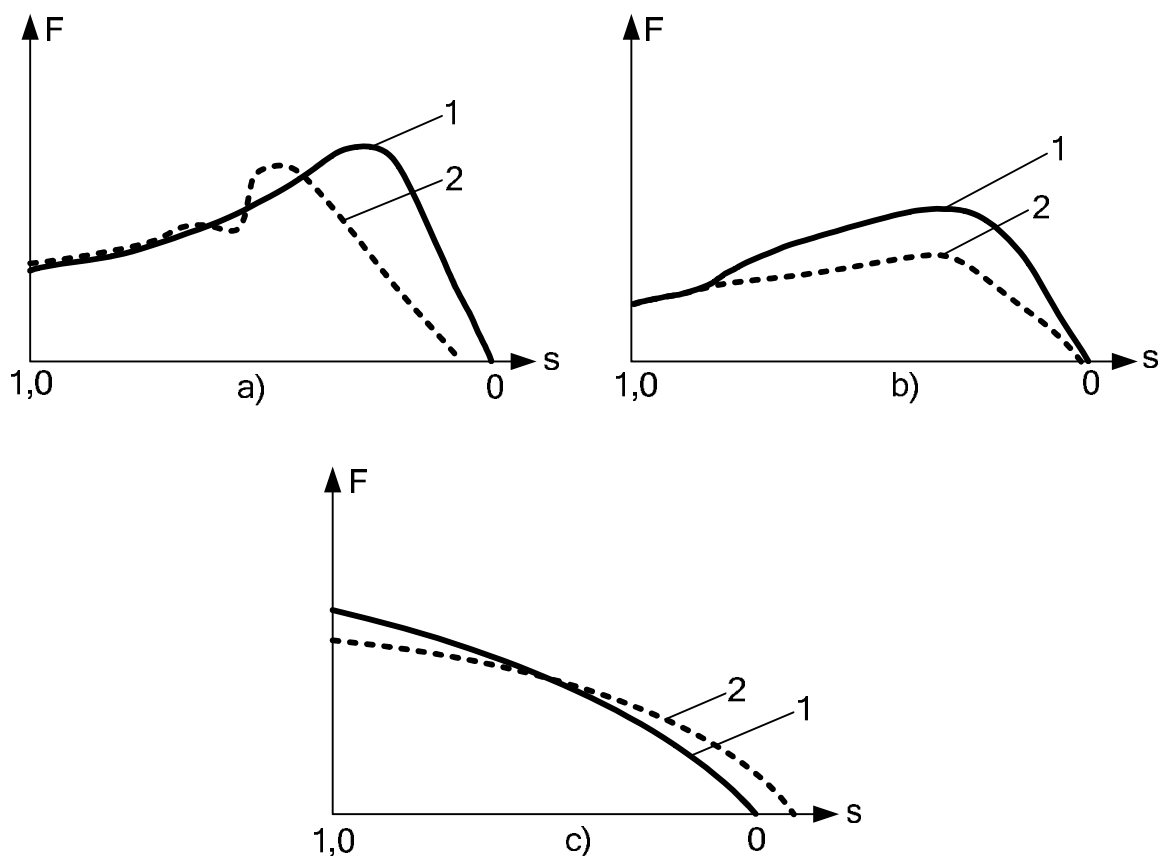


3.11 pav. Teorinis TAV modelis: x, y – koordinačių ašys; $g = 2\delta$ – nemagnetinis tarpas; $g_c = 2\Delta$ – antrinio elemento storis; L – indukatoriaus ilgis; a – tiesiaeigio elektros variklio induktoriai; b – antrinis elementas

Greitaeigių TAV mechaninės charakteristikos (3.12 pav., a), apskaičiuotos atsižvelgiant į galų efektą ir be jo, didelių slydimų zonoje sutampa, o mažų slydimų zonoje galų efektas labai susilpnina tiesiaeigių asinchroninių variklių kuriamą jėgą. Ši jėga sumažėja iki nulio, kai slydimas $s > 0$.

Vidutinių greičių TAV jėgą galų efektas mažina visame slydimų diapazone ($0 < s < 1$) (3.12 pav., b).

Lėtaeigių TAV jėga dėl galų efekto sumažėja didelių slydimų zonoje, o esant mažiems slydimams – padidėja (3.12 pav., c). Toks tiesiaeigis asinchroninis variklis kuria traukos jėgą ir tuomet, kai $s = 0$. Todėl lėtaeigių TAV mechaninė charakteristika kerta slydimų ašį aukščiau sinchroninio greičio taško. Esant tam tikram mažam slydimui lėtaeigių TAV mechaninės charakteristikos, apskaičiuotos atsižvelgiant į galų efektą ir be jo, susikerta [12].



3.12 pav. Greitaeigio (a), vidutinių greičių (b) ir lėtaeigio (c) tiesiaeigio elektros variklio (TAV) mechaninės charakteristikos: 1 – neatsižvelgiant į galų efektą; 2 – atsižvelgiant į galų efektą

Pramoninėje automatikoje daugiausia naudojami lėtaeigiai įvairios galios TAV. Mažėjant tiesiaeigių asinchroninių variklių galiai, trumpėja elektromagnetiniai pereinamieji procesai, mažėja dinaminiai TAV parametrų paviršiai, o pirminė srovė nebepriklauso nuo slydimo. Todėl pavarų su lėtaeigiais mažos galios TAV dinamiką galima modeliuoti neatsižvelgiant į elektromagnetinius pereinamuosius procesus, o trumpą antrinį elementą katapultuojant iš induktoriaus aktyviosios zonos galima laikyti, kad santykinė TAV jėga (jėga, tenkanti aktyviosios zonos paviršiaus ploto vienetui) nekinta. Skaičiuojant nedaug polių turinčių TAV mechaninę ir darbo charakteristikas, būtina atsižvelgti ir į šonų, ir į galų efektus, o modeliuojant pavarų su daugiapoliais, lėtaeigiais, galingais TAV dinamines charakteristikas, galima neatsižvelgti į galų efektą, tačiau reikia atsižvelgti į elektromagnetinius pereinamuosius procesus.

Tiesiaeigėse asinchroninėse elektros pavarose pasitaiko visi rotacinėms elektros pavaroms būdingi netiesiškumai ir dar papildomi – būdingi tik tiesiaeigio judesio elektros pavaroms netiesiškumai. Pavyzdžiui, tiesiaeigiškai judant aukštos įtampos jungtuvo galios kontaktams, iš pradžių įveržiama pagrindinė, vėliau – dar papildoma jungimo spyruoklė, o galinėje padėtyje suveikia ir amortizatoriai. Todėl jungtuvo pavaros statinė pasipriešinimo jėga yra TAV antrinio elemento kelio funkcija.

Tiesiaeigio asinchroninio variklio jungtuvo kontaktus stumdo per izoliacines svirtis. Priklausomai nuo TAV nueito kelio netiesiškai kinta svirčių perdavimo koeficientai, o kartu ir redukuota pavaros judančių elementų masė. Todėl ir dinaminė jėga yra netiesinė kelio funkcija.

Katapultuojant TAV antrinį elementą, trumpėja induktoriaus ir antrinio elemento sąveikos zona. Todėl TAV kuriama jėga yra ne vien greičio, bet dar ir kelio funkcija.

Kartais į TAV apkrovą reikia žiūrėti kaip į atsitiktinę laiko ir kelio funkciją, kurią galima nustatyti tik eksperimentiškai. Pavyzdžiui, universaliajai sklendei su tiesiaeigio judesio elektros pavana užsklendžiant liepsnos sklidimo kanalą, kinta sprogimo vystymosi uždaroje erdmėje sąlygos. Nuo jų priklauso sprogimo slėgis, nuo šio slėgio ir sklendės nueito kelio - sklendės judamąjį elementą veikianti jėga, o nuo šios jėgos – kelio priklausomybė nuo laiko. Be šios sąveikos, sprogimo intensyvumą dar lemia aerozolio cheminė sudėtis, jo koncentracija ir drėgmė, padegimo šaltinio temperatūra bei energija ir kiti atsitiktiniai veiksniai. Be to, ugnį užtveriančios sklendės pavara turi būti taip apskaičiuota, kad sklendė suspėtų lokalizuoti sprogimo židinį užkirsdama liepsnai kelią, o kartu veikiantys slėgio iškrovikliai privalo tiek sumažinti sprogimo slėgį, kad nesuirtų technologinių įrenginių ir vamzdynų sienelės. Todėl sklendės pavaros modeliavimo ir projektavimo uždavinys turi būti sprendžiamas kompleksiškai su sprogimo proceso identifikavimo uždaviniu.

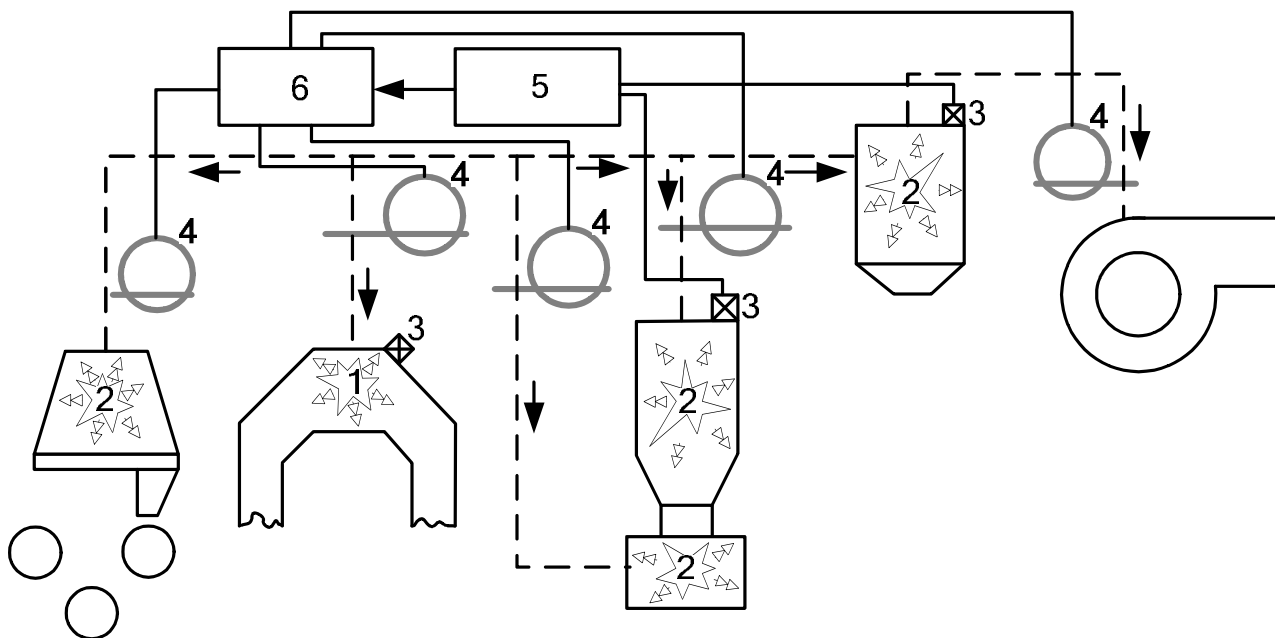
Analogiškai į sistemotechninių uždavinių kompleksą turi būti įtraukiami ir tiesiaeigių elektros pavarų valdymo uždaviniai. Lėtaeigių nedidelės galios TAV srovės dinaminės amplitudės yra mažos, o pereinamųjų procesų trukmė – trumpa. Todėl tokias pavaras tikslinga valdyti impulsiniu būdu. Vienu metu į tinklą įjungiant daug tiesiaeigių elektros pavarų gali susidaryti neleistina smūginė tinklo apkrova. Todėl tikslinga sudaryti tokį pavarų mikroprocesorinio valdymo algoritmą, kuris garantuotų nuoseklų pavarų įjungimą.

Tiesiaeigėse asinchroninėse elektros pavarose nėra reduktorių, todėl jos turi garantuoti ne tik reikiamą mechanizmo darbo greičių diapazoną, bet ir absoliučias mažiausio bei didžiausio greičių ir reikiamos jėgos vertes. Dažnai šių reikalavimų negalima patenkinti maitinant TAV pramoninio dažnio srove. Tenka naudoti dažnio keitiklį ir kurti tiesiaeigės dažninės elektros pavaros valdymo algoritmus.

3.1.3. Technologinių ir avarinių procesų matematiniai modeliai

Sistemoteknikos metodais kuriant technologinių procesų valdymo ar apsaugos sistemas, reikia visų sistemos grandžių matematinių modelių. Technologinio objekto (technologinių įrenginių ir jais valdomo technologinio proceso) matematinis modelis (arba funkcionavimo algoritmas) – tai matematinių sąryšių, apibūdinančių technologinio objekto esmines savybes, sistema.

Grūdų perdirbimo įmonių organinių dulkių (miltų, sėlenų, malūnų, elevatorių bei kombinuotų pašarų gamyklų dulkių) ir aerozoliai yra sprogūs. Pirminius sprogimus gali sukelti nuo trinties įkaitusios ar kibirkščiuojančios gendančių technologinių įrenginių dalys, į besisukančią technologinę mašiną patekę ir kibirkštį įskėlę pašaliniai metaliniai daiktai, sugedę elektros įrenginiai, netinkamai naudojamų suvirinimo aparatų kibirkštys ir pan. Šie pirminiai sprogamai paprastai yra silpni. Tačiau sprogo banga, sklisdama technologinių įrenginių ertmėmis, vamzdynais, nupučia nuo sienelių dulkių nuogulas, o įkandin sklindanti liepsna padega naujas aerozolių mases ir sukelia stipresnius sprogimus. Jei technologinio įrenginio ar vamzdžio sienelės neatlaiko padidėjusio slėgio ir suyra, liepsna prasiskverbia į gamybines patalpas, kuriose kyla griauamosios galios sprogamai.



3.13 pav. Dulkių sprogimų lokalizavimo sistemos schema: 1 ir 2 – silpno pirminio ir galingų antrinių sprogimų židiniai; 3 – sprogo slėgio davikliai; 4 – greitaigės sklendės su TAV; 5 – automatikos įrenginys; 6 – valdymo įrenginys; → - liepsnos sklidimo kelias

Pirminiams sprogimams lokalizuoti kuriamos automatinės sistemos (3.13 pav.), kurias sudaro greitaigės ugnį užtveriančios sklendės su tiesiaieigėmis elektros pavaromis, sprogo slėgio

davikliai ir automatikos bei valdymo įrenginiai. Pirminiam sprogimui 1 kilus norijoje¹⁰ (3.13 pav.), pagal slėgio daviklio 3 signalą įjungiamos visos sklendės 4, kurios užtveria liepsnai kelią į stiprių sprogimų 2 atžvilgiu pavojingas vietas. Todėl pirminis sproginas užgesta nesukėlęs avarijos.

Siekiant, kad sklendė suspėtų užtverti kelią liepsnai, turi būti įvykdyta sąlyga:

$$t_{\Sigma} = k(t_{SD} + t_K + t_{SP}) < \frac{s}{v}; \quad (3.3)$$

čia:

t_{Σ} – visas (pilnas) dulkių sprogimų lokalizavimo sistemos suveikimo laikas;

k – atsargos koeficientas ($k = 1,3 \dots 1,5$);

t_{SD} – slėgio daviklio suveikimo laikas;

t_K – komutacinės įrangos suveikimo laikas;

t_{SP} – sklendės uždarymo (pavaros suveikimo) laikas;

s – atstumas nuo galimos pirminio sprogimo vietos iki sklendės įrengimo vietos (liepsnos kelias);

v – liepsnos greitis.

Dulkių sprogimų bandymai rodo, kad slėgio jutiklis į pirminį sprogimą reaguoja pačioje sprogimo pradžioje, todėl galima laikyti, kad $t_{s,j} \approx 0$.

Kontaktinės arba puslaidininkinės valdymo aparatūros suveikimo laikas t_K nurodomas įrangos pase (techninėje dokumentacijoje). Sklendės tiesiaieigės elektros pavaros kelio pereinamųjų proceso modeliavimui galima naudoti toliau pateikiamą metodiką. Atstumą s galima laisvai pasirinkti arba jį lemia gamyklos technologinė schema. Liepsnos greitis v yra sprogimo viršslėgio ΔP , o viršslėgis – slėgio iškroviklio membranų skaičiaus n (iškroviklio atsparumo) funkcijos:

$$v = f_1(\Delta P); \quad (3.4)$$

$$\Delta P = f_2(n). \quad (3.5)$$

¹⁰ Norija – transporteris skirtas vertikaliai grūdų perdirbimo produktų (miltai, grūdai) ir kitų birių medžiagų transportavimui.

Funkcijos, t.y. sprogimo matematinius modelius galima sudaryti pagal eksperimento [19] duomenis. Eksperimento rezultatams apdoroti naudojamas paklaidų kvadratų sumos minimumo metodas. Modeliavimo patogumui sudaryta programa asmeniniam kompiuteriui IDENT.EXE, pateikianti tokių funkcijų koeficientus ir laipsnio rodiklius:

$$y_1 = k_1 e^{\alpha_1 x}; \quad (3.6)$$

$$y_2 = k_2 x^{\alpha_{21}} e^{\alpha_{22}x + \alpha_{23}x^2}; \quad (3.7)$$

$$y_3 = k_{31} + k_{32}x. \quad (3.8)$$

čia:

y_i ($i = 1, 2, 3$) – funkcijų (3.4), (3.5) išraiškos;

k_j ($j = 1, 2, 31, 32$) – koeficientai;

α_k ($k = 1, 21, 22, 23$) – laipsnio rodikliai;

x – argumentai (ΔP arba n).

Skaičiavimų pagal eksperimento [13] duomenis rezultatai pateikti 3.14 pav. Spalvoto displėjaus¹¹ ekrane kreivės nuspalvinamos prioritetinėmis spalvomis pagal paklaidų kvadratų sumos minimumus: raudona – didžiausia suminė paklaida, mėlyna – vidutinė, žalia – mažiausia. Modeliuojant dulkių sprogimų automatinio lokalizavimo sistemą, galima rinktis alternatyvą: sudėtingesnė, bet tikslesnė, arba paprastesnė, bet mažiau tiksli funkcija.

Bandomajai sistemai modeliuoti tikslinga pasirinkti tipo (3.6) funkcijas, pakankamai tiksliai atspindinčias (3.4), (3.5) priklausomybes:

$$\Delta P = \Delta P_{\min} e^{C_1 n}; \quad (3.9)$$

$$v = v_{\min} e^{C_2 \Delta P}. \quad (3.10)$$

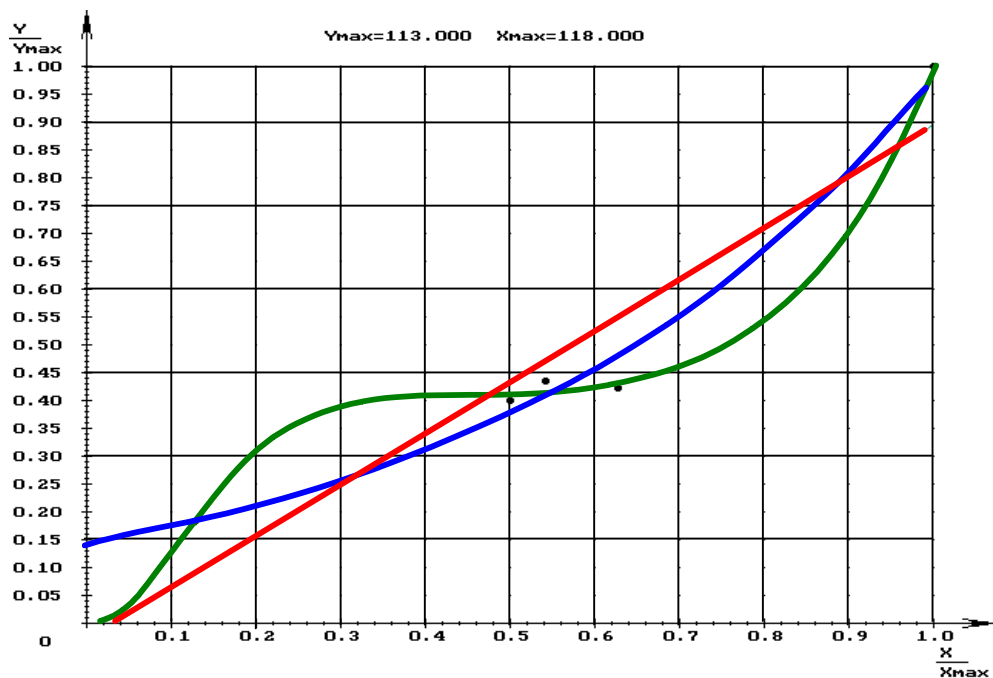
¹¹ Displėjus – ekraninis pultas informacijai įvesti į elektroninę skaičiavimo mašiną ir iš jos išvesti — stebėti ekrane tekstą, grafiką, kreives, lentele.

čia:

$\Delta P = 6,24 \text{ kPa}$ – teorinis viršslėgis, atitinkantis atvirą (be membranų) slėgio iškroviklio angą;

$C_1 = 0,39$ – laipsnio rodiklis; $16,26 \frac{m}{s}$ – mažiausias liepsnos greitis;

$C_2 = 0,02 \frac{1}{kPa}$ – laipsnio rodiklis.



3.14 pav. Priklausomybės $v = f(\Delta P)$: $k_1 = 16,26$; $\alpha_1 = 0,02$; $k_2 = 0,05$; $\alpha_{21} = 2,77$; $\alpha_{22} = -0,1$; $\alpha_{23} = 0$; $k_{31} = 0,88$; $k_{32} = -3,33$

3.2. Dulkių sprogimų automatinio lokalizavimo sistemų reikalavimų analizė

Organinių dulkių ir oro mišiniai yra sprogūs. Sprogimai įvyksta, esant tam tikrai dulkių koncentracijai ir temperatūrai, įvairių grūdų produktų ir dulkių elevatoriuose tyrimai parodė, kad aerosoliai sprogs, kai juose yra nuo kelių dešimčių iki 2000 g/m^3 dulkių, o šilumos šaltinio temperatūra ne žemesnė kaip $500 - 600 \text{ }^\circ\text{C}$ [23].

Pirminius sprogimus gali sukelti nuo trinties įkaitusios ar kibirkščiuojančios gendančių technologinių įrenginių dalys, į veikiančią technologinę mašiną patekę ir kibirkštį įskėlę pašaliniai metaliniai daiktai, netinkamai naudojamų suvirinimo įrenginių kibirkštys ir pan. Tokie sprogimai

paprastai būna silpni. Tačiau sprogo banga, sklisdama technologinių įrenginių ertmėmis, vamzdynais, nupučia nuo sienelių dulkių nuogulas, o jų įkandin sklindanti liepsna padega naujas aerosolių mases ir sukelia stipresnius sprogius.

Jei sprogo zonoje aerosolio nedaug, sprogius užgęsta, nesukėlęs avarijos. Tačiau apie 40 % pirminių sprogių sukelia antrinius stiprius sprogius. Ypač pavojingos sprogių grandinės, pasiekiančios didelės talpos saugyklos (bunkierius, silosus¹²). Todėl, siekiant apriboti avarijų mastą, kuriamos priemonės, neleidžiančios įkaitusiems sprogo produktams bei liepsnai iš pirminių sprogo židinių prasiskverbti į aspiracines sistemas, silosus ir bunkierius, kuriuose kyla antriniai griauamosios galios sprogius.

Dulkių sprogių automatinio lokalizavimo sistemoms yra keliami dideli reikalavimai, nes menkiausia nenumatyta detalė gali sukelti katastrofiškas pasekmes. Didžiausias dėmesys yra skiriamas DSALS apsaugos tipams, parinkimui, įrengimui, nes DSALS veiks efektyviausiai jei efektyviai apsaugos nuo sprogių. Dulkių sprogių apsaugos parametrai yra aprašomi tarptautiniuose standartuose *IEC*.

3.1 lentelė. Dulkių sprogių apsaugos standartai

	<i>IEC</i>
Bendrieji reikalavimai	61241-0
Apsaugos parametrai	61241-1 (61241-1-1)
Parinkimas ir įrengimas	61241-14 (61241-1-2)
Įrenginių patikrinimas ir priežiūra	61241-17
Tyrimo metodai:	
minimali užsidegimo temperatūra	61241-20-1 (61241-2-1)
mažiausia užsidegimo energija	61241-20-3 (61241-2-3)
didžiausias sprogo slėgis	61241-20-2 (61241-2-2)
minimali sprogo koncentracija	61241-2-4
Sprogo zonų klasifikacija	61241-10 (61241-3)
Apsaugos tipai	61241-2 (61241-4), 61241-11

Standartuose išsamiai aprašomi apsaugos tipai, parametrai, apsaugos įrengimo taisyklės ir t.t.

¹² Silosas – anaerobinėse (be deguonies) sąlygose, fermentuoti žali augalai (žolė, miežiai, kviečiai, avižos, rugiai, žirniai, pupos, lubinai)

Dulkių kontrolė:

- ❖ Sumažinti dulkių kiekį ant technologinių įrenginių ir konstrukcijos detalių.
- ❖ Įrengti ventiliacijos, vėdinimo bei dulkių surinkimo sistemas.
- ❖ Reguliariai valyti dulkes iš sunkiai prieinamų vietų, kur jos gali kauptis.
- ❖ Naudoti dulkių valymo metodus, kurie nepakelia dulkių debesies į orą.
- ❖ Nustatyti darbuotojų elgesio bei darbo vietos tvarkos taisykles.

Užsidegimo kontrolė:

- ❖ Naudoti tinkamai izoliuotus laidus bei kabelius.
- ❖ Technologiniai įrenginiai turi atitikti standartus, dėl dulkių pralaidumo.
- ❖ Apsaugoti įkaitusias technologinių įrenginių dalis nuo dulkių.
- ❖ Apsaugoti šildymo sistemas nuo dulkių.
- ❖ Reguliariai tikrinti galinčias pradėti kibirkščiuoti technologinių įrenginių dalis.
- ❖ Nustatyti darbuotojų elgesio (rūkymo, liepsnos naudojimo) bei darbo vietos tvarkos taisykles.

Žalos, nuostolių kontrolė:

- ❖ Atskirti pavojingas zonas, kuriose gali kilti pirminiai sproginiai nuo kitų kurioms sproginas galėtų padaryti žalą.
- ❖ Įrengti slėgio iškrovimo sistemas.
- ❖ Įrengti gaisro apsaugos sistemas.
- ❖ Įrengti dulkių sproginų automatinio lokalizavimo sistemas.

Dulkių sproginų automatinio lokalizavimo sistemos turi atitikti aukščiausius apsaugos standartus. Taip pat DSALS yra keliami greitaeigiškumo, ekonomiškumo ir kiti reikalavimai.

3.3. Dulkių sproginų ir degimo parametrai

Dulkių sproginų automatinio lokalizavimo sistemos efektyvumas glaudžiai susijęs su dulkių sproginų analize. Įvairių dulkių degumas ir sproginas gali būti matuojamas standartizuotose laboratorijose, tokie tyrimai suteikia labai daug informacijos apie dulkių sproginų galimybes.

Parametrai charakterizuojantys dulkių sprogumo bei degumo jautrumą yra šie:

❖ *Mažiausia užsidegimo temperatūra.* (MIT) Tai yra mažiausia temperatūra, kurioje prasideda dulkių užsidegimo procesas. Užsidegimo temperatūra - vadinama žemiausia temperatūra, kai medžiaga išskiria pakankamai garų, kad galėtų degti pati, pašalinus pašalinį liepsnos židinį.

❖ *Minimali sprogimo koncentracija.* (MEC) Dulkių ir oro mišinys sprogs tik esant tam tikrai sprogiosios medžiagos koncentracijai, apibūdinamai apatine ir viršutine ribomis ir pakankama užsidegimo temperatūra. Kai dulkių koncentracija mažesnė už apatinę ribą mišinys nesprogs, nes grandinei sprogimo reakcijai plisti trūksta degiosios medžiagos, o kai koncentracija didesnė už viršutinę ribą dulkės nebesprogs dėl deguonies stokos. 80% dulkių nuosėdų yra lengvai užsidegančios ir sprogios, net jei dulkių nuosėdų sluoksnis tik 1 mm.

❖ *Mažiausia užsidegimo energija.* (MIE) Tai mažiausia elektros energijos talpinė iškrova, kuri galėtų sukelti dulkių debesies užsidegimą. Energija apskaičiuojama iš lygties $E = \frac{1}{2} C V^2$, čia C yra talpa o, V – įtampa [24].

❖ *Didžiausias sprogimo slėgis.* (MEP) Tai skirtumas tarp slėgio užsidegimo metu (normalus slėgis) ir slėgio kulminacijos taške.

Kai šie rodikliai yra nustatyti, tuomet įmanoma sužinoti apie medžiagos degumo ir sprogumo jautrumą. Pavyzdžiui, 3.2 lentelėje [24] pateikti žemės ūkio produktų degumo parametrai. Reikia pažymėti, kad šie duomenys yra tik orientaciniai, nes jie priklauso nuo daugybės veiksnių. Tai priklauso nuo medžiagos fizinių ir cheminių savybių, drėgmės, dulkių dalelių dydžio ir aplinkos sąlygų.

3.2 lentelė. Žemės ūkio produktų degumo parametrai

Produktas	MIT (°C)	MEC (g/m ³)	MIE (mJ)	MEP (bar)
Mėlynžiedė liucerna	460	100	320	6,1
Migdolų lukštai	440	65	80	7,0
Malti miežiai	370	50	15	9,6
Kakavos milteliai	500	65	120	5,0
Kukurūzų krakmolai	390	40	30	10,0
Džiovinti grūdai	420	60	128	5,5
Salyklas	400	50	35	6,6

3.2 lentelės tęsinys

Ryžiai	440	50	50	7,3
Sojų miltai	550	60	100	6,5
Cukrus	330	15	30	7,6
Kviečių miltai	380	50	50	7,6

Analizuojant dulkių sprogimo atvejus, jų sąlygas, matyti, kad dulkių užsidegimą ir pirminius sprogius gali sukelti:

- ❖ Liepsnos.
- ❖ Karšti įrenginių paviršiai.
- ❖ Degios medžiagos.
- ❖ Savaiminis užsidegimas.
- ❖ Suvirinimo ar pjovimo operacijos.
- ❖ Trinties, šilumos ar kibirkščių.
- ❖ Smūgio kibirkščių.
- ❖ Elektros kibirkščių.
- ❖ Elektrostatinės iškrovos kibirkščių [22].

3.3 lentelė. Galimos dulkių sprogimų priežastys žemės ūkiuose (USA, 1988 – 1997)

Užsidegimo priežastys	%
Liepsnos	16
Įrenginių gedimai	15
Kibirkštys	10
Suvirinimo ar pjovimo operacijos	9
Karšti įrenginių paviršiai	8
Elektros įrenginių gedimai	3
Priemaišos	3

3.4 lentelė. Pirminių sprogimų vietos žemės ūkiuose (USA, 1988 – 1997)

Pirminių sprogimų vietos	%
Norijos	43
Bunkeris	16
Dulkių filtras	8
Dulkių sistema	6
Valcai ¹³	6
Nenustatyta	9

4. TIRIAMOJI DALIS

4.1. Dulkių sprogimo automatinio lokalizavimo (DSALS) sistemos struktūra

Dulkių sprogimai gali padaryti daug žalos grūdų perdirbimo įmonėms, todėl jose montuojamos dulkių sprogimų automatinio lokalizavimo sistemos. Šių sistemų projektavimą apsunkina tai, kad įmonėse yra labai daug įvairių technologinių įrenginių. Todėl kiekvienoje automatinėje sprogimo lokalizavimo sistemoje yra skirtingas skaičius slėgio jutiklių, greitaiegių sklendžių, kurios montuojamos ant skirtingo skerspjuvio vamzdžių. Automatinių dulkių sprogimo lokalizavimo sistemų projektavimo stadijas galima sutrumpinti, kiekvieną tokią sistemą sudarant iš tipinių modulių. Pagrindiniai šių sistemų elementai yra greitaieigės (universaliosios) sklendės. Šioms greitaieigėms sklendėms būtina greita veikimo sparta, todėl jose naudojami tiesiaeigiai asinchroniniai varikliai. Kita svarbi tokių lokalizavimo sistemų dalis yra jutikliai. Slėgio ar fotojutikliai užfiksuoja pirminius sprogius. Šie jutikliai turi būti sumontuoti prie mechanizmų dalių, kurios gali įkaisti ar kibirkščiuoti.

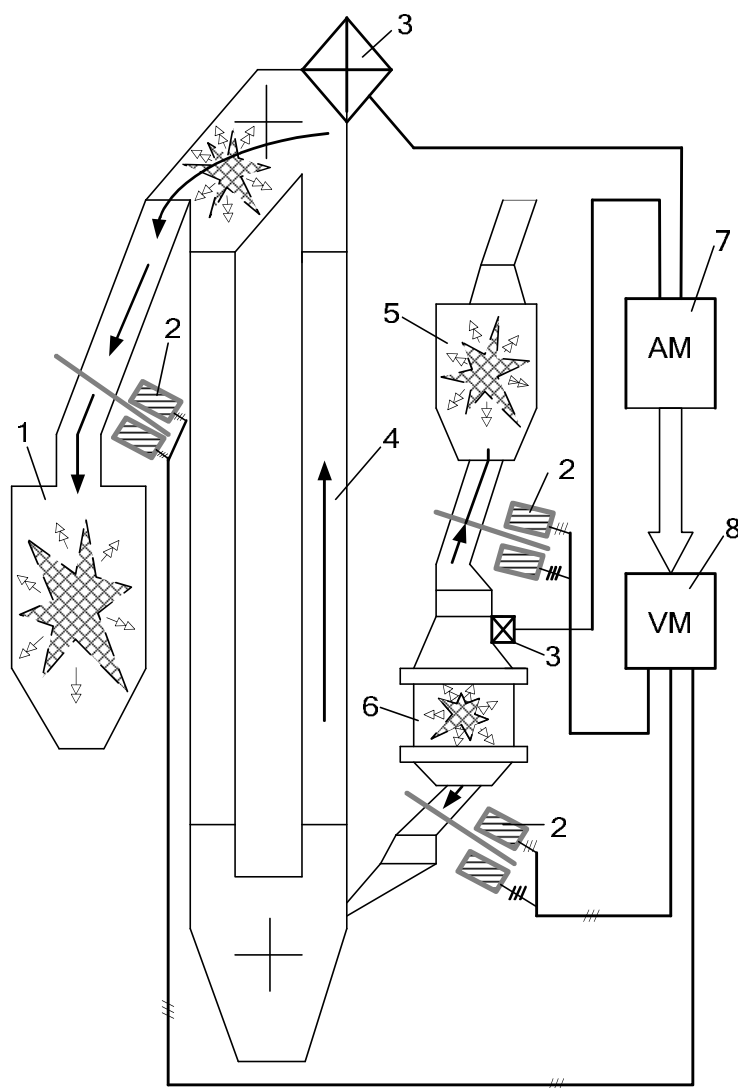
Sprogimo lokalizacijos sistema turi pagal slėgio ar fotojutiklio signalą automatiškai užsklęsti vamzdynus jungiančius pirminio sprogimo židinį, su kitomis sprogimo atžvilgiu pavojingomis patalpomis ar įrenginiais. Todėl būtinos greitaieigės ugnies sklaidimą stabdančios sklendės, kurios spėtų užverti vamzdynus tik gavusios fotojutiklio signalą [13].

Žemiau pateikta dulkių sprogimų automatinio lokalizavimo sistemos schema (4.1 pav.), kuri pasižymi itin didele greitaveika, todėl jas diegia pramonėje. Kiekviena DSALS turi vis kitoki technologinių įrenginių skaičių, kitokią elektrinę schemą, nors visos DSALS veikia tuo pačiu principu.

¹³ Valcai dgs. – veleninis malimo įtaisas.

Įvykus sprogimui viename iš bunkerių į pirminį sprogimą reaguoja ant norijos sumontuoti slėgio jutikliai. Pagal jų signalus įjungiamos visų sklendžių tiesiaeigės elektros pavaros ir sklendės užsidaro sustabdydamos sprogimą ir gaisro plitimą.

Šiuolaikinėse grūdų perdirbimo malūnuose ir panašiose įmonėse plačiai diegiami mikroprocesoriniai relinės apsaugos ir automatikos įtaisai. Taip pat vietoj magnetinių paleidiklių taikomi tiristoriniai tiesiaeigių variklių paleidikliai. Tokios sistemos yra bekontaktės, todėl greitaigiškesnės. Šios sistemos nesukelia kontaktinei įrangai būdingų kibirkščiavimų, galinčių sukelti pirminius dulkių sprogimus.



4.1 pav. Dulkių sprogimų automatinio lokalizavimo schema: 1 – miltų bunkeris; 2 – sklendės su tiesiaeigėmis elektros pavaromis; 3 – slėgio jutikliai; 4 – norija; 5 – grūdų bunkeris; 6 – valcavimo mašina; 7 – automatikos modulis; 8 – valdymo modulis

Šiuolaikinės bekontaktės sistemos mikroprocesorinei valdymo sistemai galima suteikti lankstumo požymių. 4.1 pav. matoma, kad pirminiam sprogimui įvykus valcavimo mašinoje 6,

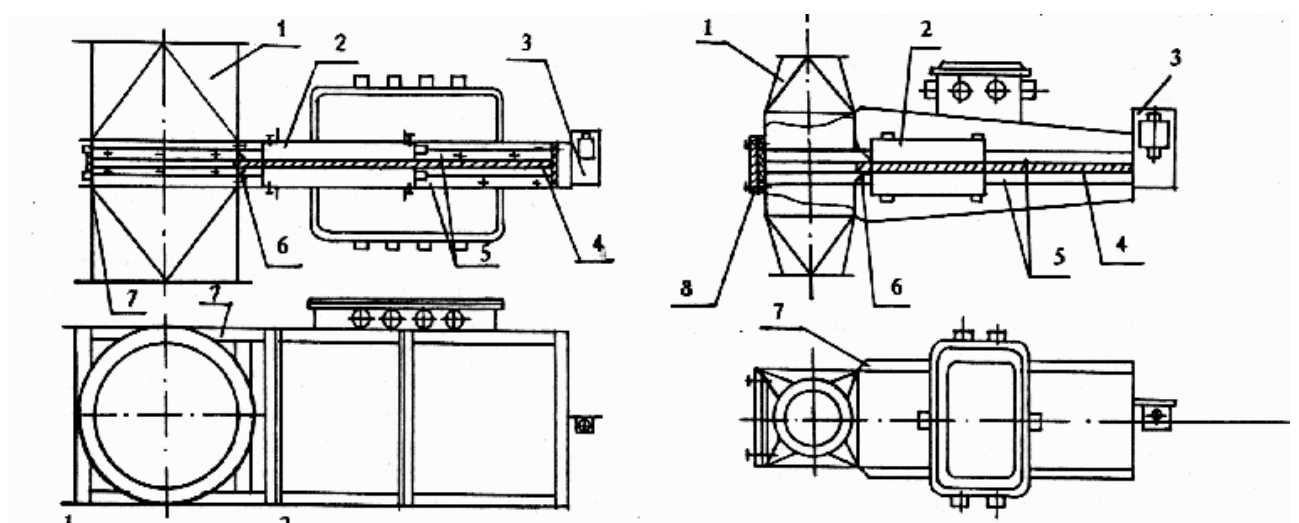
pirmasis į sproginą sureaguoja ant valcų sumontuotas slėgio jutiklis 3 ir mikroprocesorinė sistema įjungs tik iš abiejų valcavimo mašinos pusių sumontuotų sklendžių pavaras. Analogiškai, suveikus ant norijos 4 sumontuotam slėgio jutikliui 3, suveiks tik miltų bunkerį atskiriančios nuo kitų įrenginių sklendės pvara. Didelėse dulkių sproginų automatinio lokalizavimo sistemose toks lankstus valdymas gali labai sumažinti elektros tinko apkrovą DSALS veikimo metu.

4.2. Ugnį užtveriančių sklendžių tiesiaeigės pavaros

Siekiant riboti avarių mastą, pramoninėse gamyklose įrengiamos dulkių sproginų automatinės lokalizavimo sistemos (DSALS), kurias sudaro pirminių sproginų jutikliai, greitaieigės ugnį užtveriančios sklendės ir jų valdymo aparatai.

Anglies kasyklose, kad anglių dulkės nesprogtų, anglies šachtose aerosolis drėkinamas. Grūdų perdirbimo įmonėse šie metodai netaikomi, nes per didelė drėgmė ar inhibitoriai gali sugadinti maisto produktus ar pašarus. Todėl, grūdų perdirbimo įmonėms tenka kurti specialias sproginų lokalizavimo sistemas, kuriose taikomos specialios U2 – BZB tipo sklendės (4.2 pav.). Tokių sklendžių gamą yra sukūrusi Vilniaus Gedimino technikos universiteto Automatikos katedra.

Penkių gabaritų sklendėse pritaikyti dviejų rūšių tiesiaeigių asinchroninių variklių induktoriai, kurių techninė charakteristika pateikta 4.1 lentelėje [13].



4.2 pav. U2 – BZB ir U2 – BZB – 01 sklendžių konstrukcija: 1 – vamzdžiai; 2 – TAV induktoriai; 3 – gembė su galiniu jungikliu; 4 – sklendės judamasis elementas; 5 – kreipiamosios; 6 – guminis sandarinimo įtaisas; 7 – korpusas; 8 – amortizatorius [13]

4.1 lentelė. U2 – BZB tipo sklendžių pagrindiniai parametrai

Parametrai	Sklendė				
	U2 – BZB	U2 – BZB – 01	U2 – BZB – 02	U2 – BZB – 03	U2 – BZB – 04
Užsklendžiamo vamzdžio skersmuo, mm	100	140	220	300	380
Vamzdžio užsklendimo laikas (įskaitant relinės kontaktinės aparatūros suveikimo laiką), s, ne ilgesnis kaip	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Tiesiaieigės elektros pavaros vardinė įtampa, V	380/220	380/220	380/220	380/220	380/220
Iš tinklo imama srovė, A (ne stipresnė)	20	20	54	54	54
Įjungimo trukmė, s, ne ilgesnė kaip	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Sklendės gabaritai, mm:					
Ilgis	710	710	930	1120	1420
Plotis	340	340	461	561	711
Aukštis	423	423	400	400	400
Masė, kg	29,3	30,0	59	70	84
Duraliuminio judamojo elemento storis, mm	4	4	6	6	6
TAV paleidimo jėga, N (ne mažesnė)	100	100	1000	1000	1000
TAV induktoriaus tipas	I-30-47	I-30-47	I-100-83	I-100-83	I-100-83

4.2 lentelė. TAV induktorių parametrai

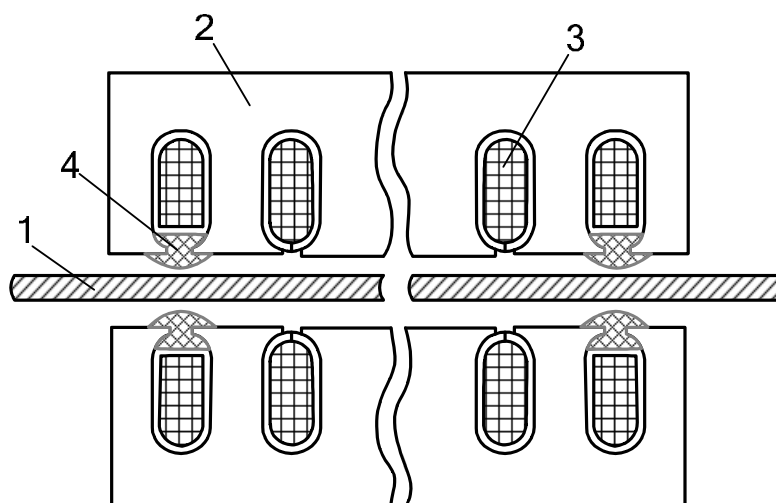
Induktoriaus tipas	Plieno paketo plotis, mm	Apvijos laido skersmuo, mm	Apvijos ritės vijų skaičius	Ričių skaičius fazėje	Fazės aktyvioji varža, Ω
I – 30 – 47	30	0,47	380	2	33
I – 100 – 83	100	0,83	120	2	2,88

Didelės veikimo spartos sklendes pavyksta sukurti, sutapatinant sklendės judamąjį elementą su tiesiaieigio asinchroninio variklio (TAV) antriniu elementu. Tokios sklendės įrengiamos vamzdynuose, kuriuose gali sklisti pirminio sprogimo liepsna. Įvykus silpnam pirminiam

sprogimui, slėgio jutiklio signalas siunčiamas sklendžių pavaroms, sklendės uždaro visus galimus liepsnos plitimo vamzdžiais kelius ir pirminis sproginas užgesta, nesukėlęs stiprių sprogimų.

Greitaeigiai sklendei su tiesiaieigio judesio elektros pavara užsklendžiant liepsnos sklaidimo kanalą, kinta sproginimo plėtimosi uždaroje ertmėje sąlygos. Nuo jų priklauso sproginimo slėgis, sklendės nueitas kelias, sklendės judamąjį elementą veikianti jėga, kelio priklausomybė nuo laiko. Be šios sąveikos, sproginimo intensyvumą nulemia cheminė sudėtis, koncentracija ir drėgmė, padegimo šaltinio temperatūra bei energija ir kiti aplinkos veiksniai. Be to, ugnį užtveriančios sklendės pavara turi būti taip apskaičiuota, kad sklendė suspėtų lokalizuoti sproginimo židinį užkirsdama liepsnai kelią, o kartu veikiantys slėgio iškrovikliai privalo tiek sumažinti sproginimo slėgį, kad nesuirėtų technologinių įrenginių ir vamzdinių sienelės.

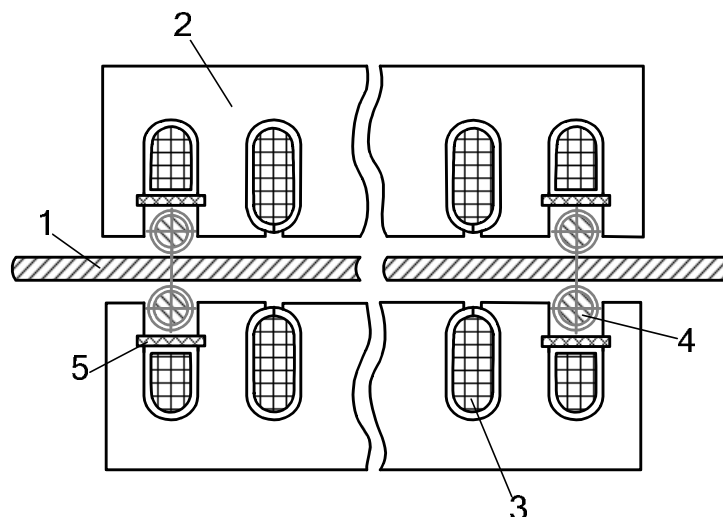
Atlikti bandymai rodo, jog sklendės judamasis elementas gali deformuotis ir pradės remtis į induktorių, dėl didelių sproginimo viršslėgių. Dėl šios priežasties buvo sumanyta išbandyti specialias sklendes, kurios turės atraminius guolius induktorių aktyviojoje zonoje (4.3, 4.4, 4.5 pav.) [12].



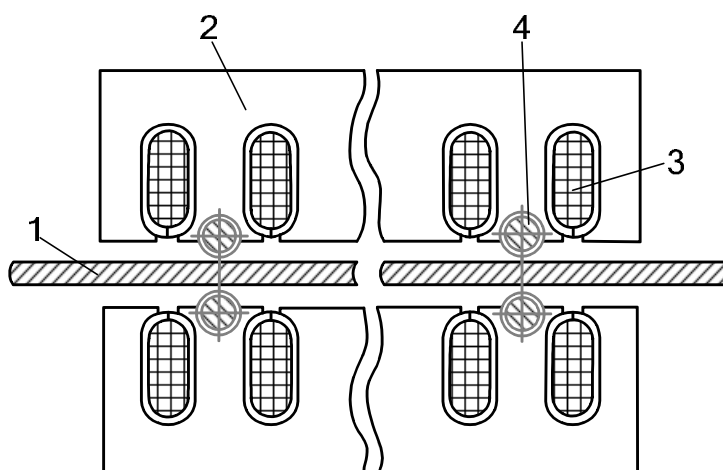
4.3 pav. Sklendės pavara su guoliais : 1 – judamasis elementas; 2 – induktorius; 3 – induktoriaus apvija; 4 – guoliai

Paprastai elektros varikliuose guoliai įtaisomi už induktoriaus aktyviosios zonos ribų. Iš 4.3 pav. matyti, kad guoliai įtaisyti tiesiaieigio elektros variklio grioveliuose. 4.4 pav. įtaisyti riedėjimo guoliai, o 4.5 pav. riedėjimo guoliai įtaisyti induktoriaus dantyse.

Toks techninis sprendimas pripažintas išradimu, nes klasikiniuose elektros varikliuose guoliai įtaisomi už variklio induktoriaus aktyviosios zonos ribų.



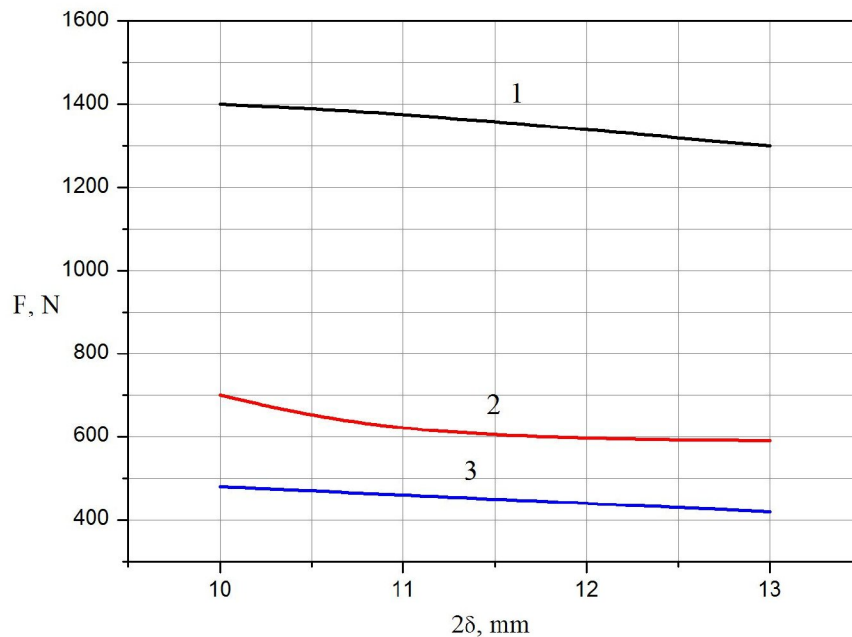
4.4. pav. Sklendės pavaros su guoliais, įtaisytais induktoriaus grioveliuose : 1 – antrinis elementas; 2 – induktorius; 3 – induktoriaus apvija; 4 – riedėjimo guolis; 5 – papildoma apvijos izoliacija



4.5 pav. Sklendės pavaros su riedėjimo guoliais, įtaisytais induktoriaus dantyse: 1 – antrinis elementas; 2 – induktorius; 3 – induktoriaus apvija; 4 – riedėjimo guolis

4.3. Ugnį užtveriančių greitaeigių sklendžių taikymas technologinėms reikmėms

Vilniaus Gedimino technikos universitete, Automatikos katedroje atlikti tyrimai [25] parodė, kad ugnį užtveriančias greitaeiges sklendes galima taikyti ir technologinėms reikmėms. Prijungiant prie tinklo tik vieną iš elektriškai ir magnetiškai dvipusio tiesiaeigio asinchroninio variklio apvijų arba abiejų induktorių apvijas sujungiant nuosekliai. Kreivės rodančios tiesiaeigio asinchroninio paleidimo jėgos priklausomybės nuo magnetinio tarpo tarp induktorių, esant minėtiems apvijų jungimams parodytos 4.6 paveiksle.



4.6 pav. TAV paleidimo jėgos priklausomybės nuo nemagnetinio tarpo didumo: 1 – esant lygiagrečiam apvijų jungimui; 2 - esant pavieniam apvijų jungimui; 3- esant nuosekliam apvijų jungimui;

Iš (4.6 pav.) matyti, kad esant pavieniam apvijų jungimui jėga sumažėja maždaug du kartus, o esant nuosekliam apvijų jungimui dar labiau. Todėl technologinės sklendės veiks mažesniu greičiu sukeldamos silpnesnius smūgius į amortizatorius ir galės būti eksploatuojamos ilgą laiką. Taigi universaliosios sklendės gali būti naudojamos ir kaip ugnį užtveriančios, ir kaip technologinės.

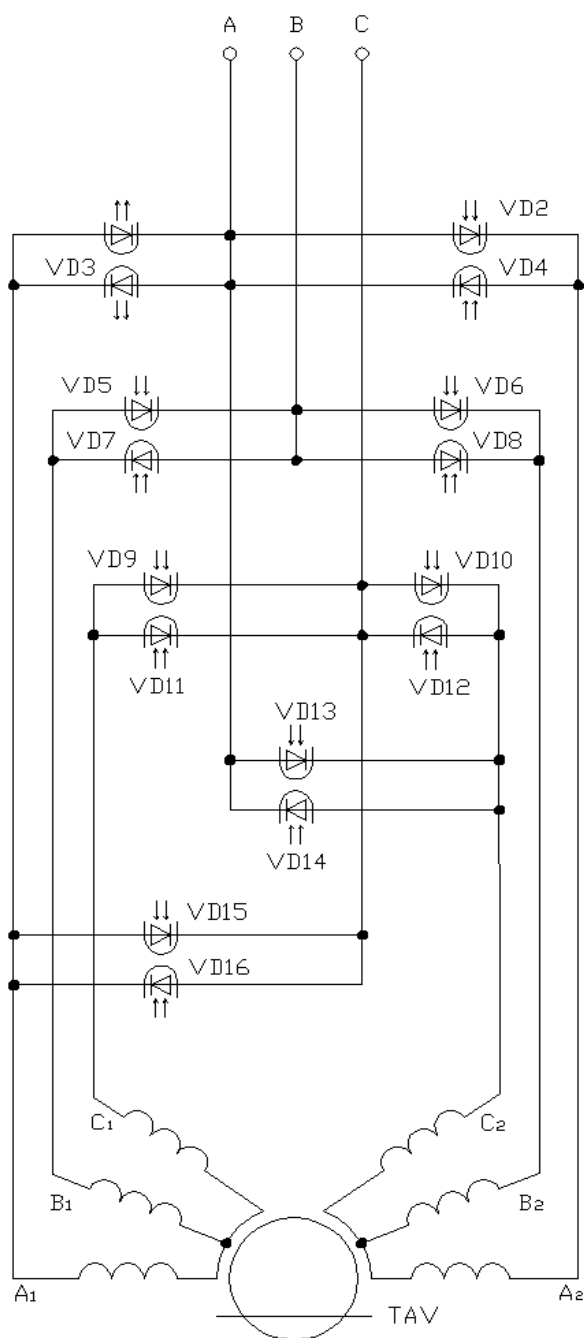
4.4. Universaliosios sklendės optroninio paleidiklio schema

Dulkių sprogimų automatinio lokalizavimo sistemose naudojamos universaliosios sklendės gali būti valdomos optroniniais paleidikliais (4.7 pav.).

Iš fazės A įjungiami VO1 ir VO3 ir jie įjungia fazę A₁. Iš fazės B padavus maitinimą VO5 ir VO7 įjungiamos fazės B₁, o iš fazės C padavus maitinimą VO9 ir VO11 įjungiamos fazės C₁. Kai vienu metu yra įjungiamos fazės A₁, B₁ ir C₁ universalioji tiesiaieigė sklendė lėtai uždaroma. Toks uždarymas yra efektyvus, kai universalioji sklendė naudojama kaip technologinė. Sprogimams lokalizuoti toks sklendės uždarymas netinkamas, nes ji užvers vamzdyną per lėtai nespėdama užskleisti kelio pirminiems sprogimams.

Todėl avarijos atveju, kai reikia lokalizuoti dulkių sprogimus nepakanka sklendę užverti įprastiniu režimu. Sprogimo atveju sklendė turi kuo greičiau užkirsti kelią pirminiems sprogimams. Todėl sklendės uždarymo laikas turi būti trumpesnis. Tai padaryti pavyksta, kai vienu metu yra įjungiami VO1 – VO10, kurie iš fazės A paduoda maitinimą į A₁, A₂, iš B į B₁, B₂, o fazė C į fazes C₁ ir C₂.

Užvėrus sklendę nesvarbu, ar įprastiniu režimu, ar avariniu ji yra atidaroma taip: iš fazės A paduodamas maitinimas per VO13 ir VO14 į C₁, o per VO15 ir VO16 į A₁.



4.7 pav. Optroninio paleidiklio schema

4.5. DSALS kompiuterinis modelis

Sukieji bei tiesiaeigiai asinchroniniai varikliai modeliuojami trijose koordinačių sistemose. α, β yra koordinačių sistema, standžiai susieta su statoriumi; d, q – sistema, standžiai susieta su rotoriumi; u, v – koordinačių sistema, besisukanti greičiu ω_k (ar judanti greičiu v_k). Jei ω_k (v_k) yra lygus elektrinio lauko greičiui ω_{0el} (v_{0el}), tai tokios koordinačių sistemos ašys vadinamos x, y .

Nagrinėjama elektros pavarų su tiesiaeigiais varikliais, kurių judamasis elementas neišsena už induktoriaus ribų, dinamika. Tyrimo pagrindu imamos TAV, kaip elektromechaninio energijos keitiklio, dinaminės mechaninės charakteristikos diferencialinės lygtys, užrašytos x, y koordinačių sistemoje, judančioje sinchroniniu greičiu v_0 [14]:

$$\begin{cases} \frac{d\Psi_{x1}}{dt} = U_{lm} \cos \gamma - \frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_s \Psi_{x1} + \frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_s K_r \Psi_{x2} + \frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_s \Psi_{y1}; \\ \frac{d\Psi_{y1}}{dt} = U_{lm} \sin \gamma - \frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_s \Psi_{x1} + \frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_s K_r \Psi_{y2} - \frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_s \Psi_{y1}; \\ \frac{d\Psi_{x2}}{dt} = -\frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_r \Psi_{x2} + \frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_r K_s \Psi_{x1} - \frac{\pi}{\tau} (v_0 - v) \Psi_{y2}; \\ \frac{d\Psi_{y1}}{dt} = -\frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_r \Psi_{y2} + \frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_r K_s \Psi_{x1} - \frac{\pi}{\tau} (v_0 - v) \Psi_{x2}; \\ F = \frac{3}{2} \frac{\pi \omega_0 K_r}{\tau \sigma x_s} (\Psi_{x2} \Psi_{y1} - \Psi_{x1} \Psi_{y2}). \end{cases} \quad (4.1)$$

Pagrindinė pavaros judesio lygtis:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{m} (F - F_s); \quad (4.2)$$

o lygtis nueitam keliui rasti:

$$\frac{dx}{dt} = v. \quad (4.3)$$

čia:

Ψ_{x1}, Ψ_{y1} – pilnutinio statoriaus srauto projekcijos į x, y ašis;

Ψ_{x2}, Ψ_{y2} – pilnutinio rotoriaus srauto projekcijos į x, y ašis;

U_{1m} – tinklo fazinės įtampos amplitudinė vertė;

γ – tinklo įtampos fazė įjungimo metu;

τ – polių žingsnis;

v_0 – variklio tuščiosios veikos greitis;

v – variklio greitis;

F – variklio sukuriama jėga;

F_s – statinė pasipriešinimo jėga; koeficientai: $\alpha_s = \frac{r_1'}{x_s}$; $\alpha_r = \frac{r_2'}{x_s}$; $\sigma = \frac{r_p^2}{x_r \cdot x_s}$; $K_s = \frac{r_p}{x_s}$;

$$K_r = \frac{r_p}{x_r}; \alpha_r' = \frac{\alpha_r}{\sigma}; \alpha_s' = \frac{\alpha_s}{\sigma}.$$

Kiti vartojami žymėjimai:

x_p – pagrindinė įmagnetinimo kontūro induktyvioji varža;

$x_s = x_p + x_1$ – statoriaus apvijos pilnutinė induktyvioji varža;

$x_r = x_p + x_2'$ – rotoriaus apvijos pilnutinė induktyvioji varža;

r_1 – aktyvioji statoriaus varža;

r_2' – rotoriaus (judamojo elemento) apvijos redukuota aktyvioji varža;

r_1, r_2' – statoriaus ir rotoriaus (judamojo elemento) induktyviosios sklaidos varžos.

Tiriant elektromagnetinius pereinamuosius procesus, laikoma, kad variklio įjungimo metu įtampos fazės kampas lygus nuliui. Asinchroninių variklių tyrimai bei mūsų atlikti skaičiavimai rodo, kad variklio sukuriamas momentas (jėga) ir greitis nepriklauso nuo prijungiamos įtampos fazės. Statoriaus srovės dedamosios apskaičiuojamos pagal formules [13]:

$$\begin{cases} I_{x1} = \alpha'_s (\Psi_{x1} - \Psi_{x2} K_r) \frac{U_1}{r_1}; \\ I_{y1} = \alpha'_s (\Psi_{y1} - \Psi_{y2} K_r) \frac{U_1}{r_1}; \end{cases} \quad (4.4)$$

o A fazės srovė randama taip:

$$I_A = I_{x1} \cos \omega_0 t - I_{y1} \sin \omega_0 t. \quad (4.5)$$

Naudojant lygčių sistemą, užrašytą santykiniais vienetais ir lygtis, sudaroma programa tiesiaieigės asinchroninės pavaros pereinamiesiems procesams apskaičiuoti.

Programiniu paketu *Matlab* sudarytas dulkių sprogoimo automatinio lokalizavimo sistemos kompiuterinis modelis.

Modelyje koeficientai k_{11} , k_{12} , k_{31} , k_{32} apskaičiuojami:

$$k_{11} = \frac{\pi}{\tau} \cdot v_0 \cdot \alpha'_s = \frac{3,14}{0,048} \cdot 4,8 \cdot \alpha'_s = \frac{3,14}{0,048} \cdot 4,8 \cdot 5,608 = 1761;$$

$$\alpha'_s = \frac{\alpha_s}{\sigma} = \frac{\frac{r_1}{x_s}}{1 - \frac{x_p^2}{x_r \cdot x_p}} = \frac{\frac{2,88}{25,48}}{1 - \frac{12,64}{12,9 \cdot 12,64}} = 5,608;$$

$$(4.6)$$

$$x_s = x_{\sigma 1} + x_p = 12,84 + 12,64 = 25,48;$$

$$x_r = x'_2 + x_p = 0,26 + 12,64 = 12,9;$$

$$k_{12} = \frac{\pi}{\tau} \cdot v_0 \cdot \alpha'_s \cdot K_r = \frac{3,14}{0,048} \cdot 4,8 \cdot \alpha'_s \cdot K_r = \frac{3,14}{0,048} \cdot 4,8 \cdot 5,608 \cdot 0,980 = 1725,78;$$

$$(4.7)$$

$$K_r = \frac{x_p}{x_r} = \frac{12,64}{12,9} = 0,980;$$

$$k_{31} = \frac{\pi}{\tau} \cdot v_0 \cdot \alpha'_r = \frac{3,14}{0,048} \cdot 4,8 \cdot \alpha'_r = \frac{3,14}{0,048} \cdot 4,8 \cdot 25,92 = 8139; \quad (4.8)$$

$$\alpha'_r = \frac{\alpha_r}{\sigma} = \frac{\frac{r'_2}{x_s}}{1 - \frac{x_p^2}{x_r \cdot x_p}} = \frac{\frac{13,31}{25,48}}{1 - \frac{12,64}{12,9 \cdot 12,64}} = 25,92;$$

$$k_{12} = \frac{\pi}{\tau} \cdot v_0 \cdot \alpha'_r \cdot K_s = \frac{3,14}{0,048} \cdot 4,8 \cdot \alpha'_r \cdot K_s = \frac{3,14}{0,048} \cdot 4,8 \cdot 25,92 \cdot 0,496 = 4037; \quad (4.9)$$

$$K_s = \frac{x_p}{x_s} = \frac{12,64}{25,48} = 0,496.$$

čia :

$$v_0 = 4,8 \text{ m/s};$$

$$r_1 = 2,88 \text{ } \Omega;$$

$$r'_2 = 13,31 \text{ } \Omega;$$

$$x_{\sigma 1} = 12,84 \text{ } \Omega;$$

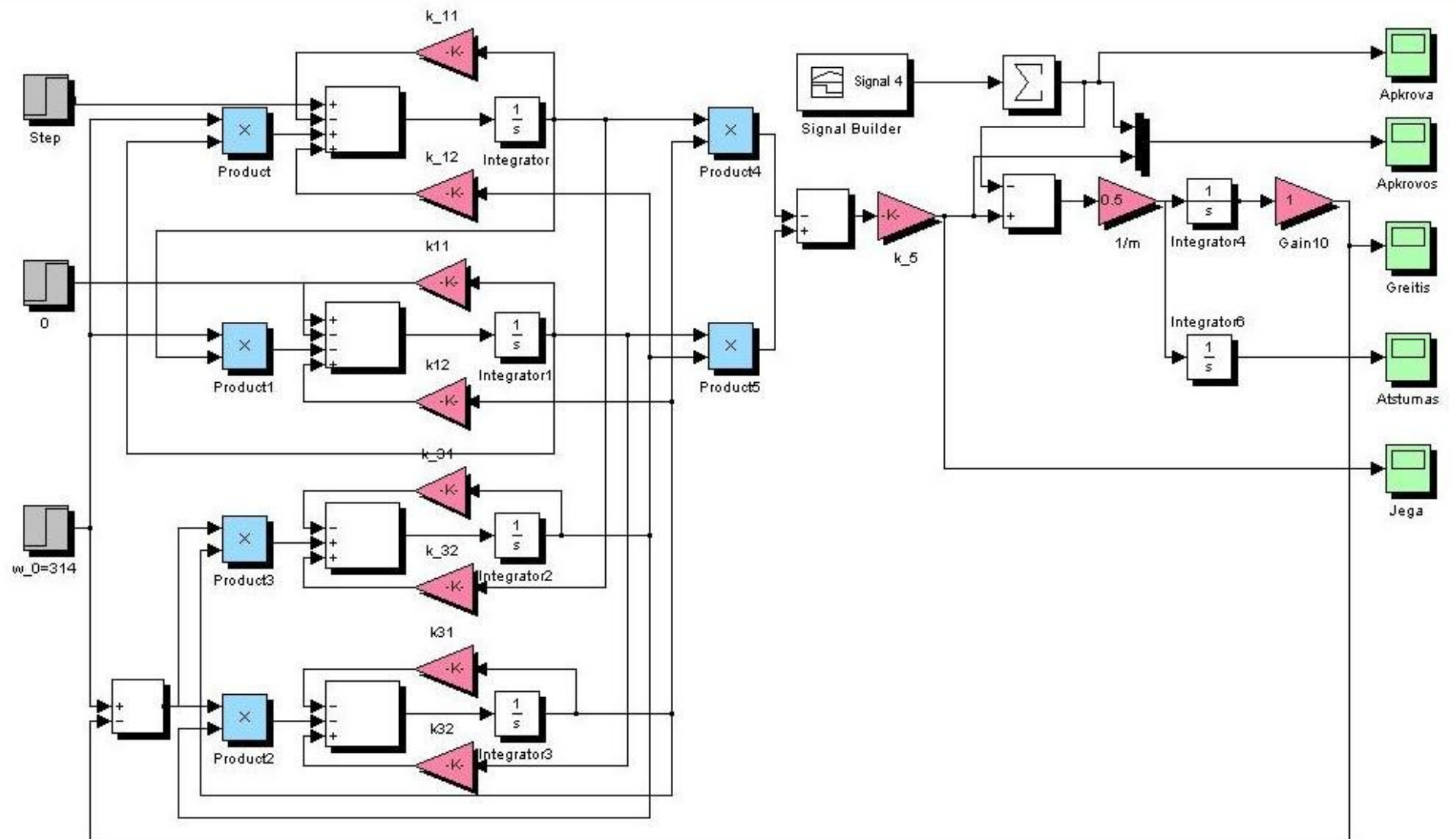
$$x_p = 12,64 \text{ } \Omega;$$

$$x'_2 = 0,26 \text{ } \Omega.$$

Maitinant TAV iš pramoninio tinklo nustatomi tokie modelio valdymo poveikiai:

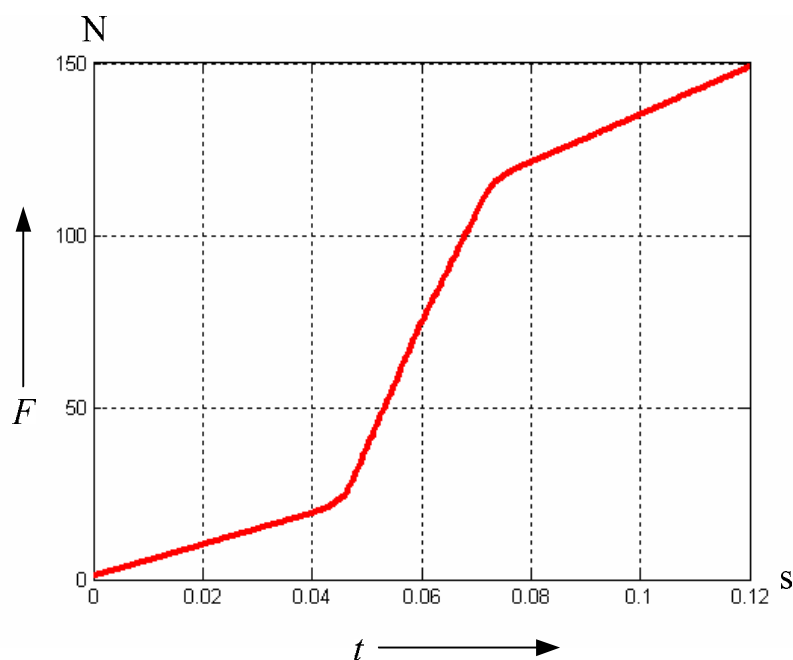
- ❖ fazinės įtampos amplitudė $U_m = \sqrt{2}U_f = 311 \text{ V};$
- ❖ įtampos įjungimo fazė $\gamma = 0;$
- ❖ maitinimo tinklo dažnis $\omega_0 = 2\pi f = 314 \text{ s}^{-1}.$

Programiniu paketu *Matlab* sudarytas tiesiaieigės elektros pavaros modelis parodytas 4.8 paveiksle

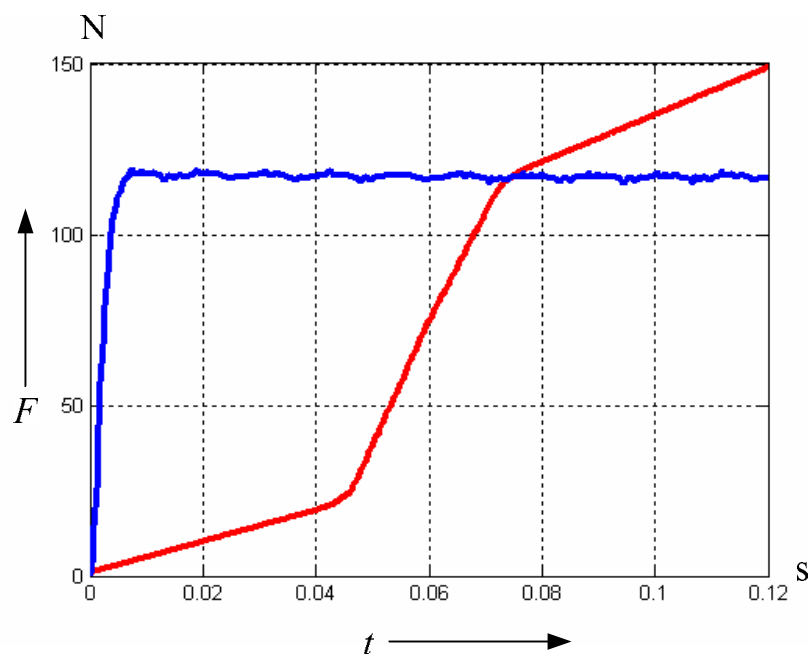


4.8 pav. DSALS kompiuterinis modelis

Programiniu paketu *Matlab* sudarius dulkių sprogimo automatinio lokalizavimo sistemos kompiuterinį modelį, gaunamos sprogimų bangos veikiamos ugnį užtveriančios sklendės pavaros dinaminės charakteristikų imitacijos kreivės kai judančių dalių masė $m = 0,5 \text{ kg}$.

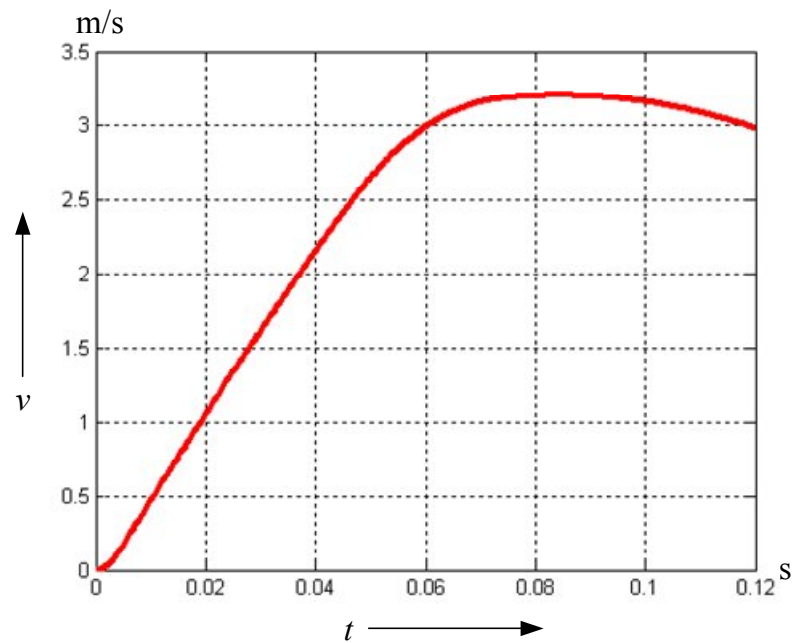


4.9 pav. Universaliosios sklendės statinio pasipriešinimo jėgos charakteristika

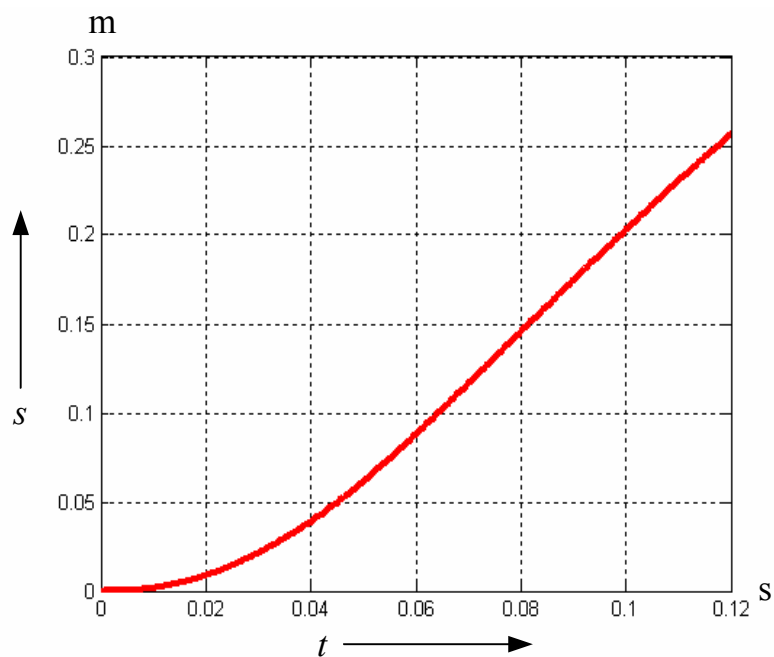


4.10 pav. TAV variklio kuriamos jėgos charakteristika (mėlyna kreivė) ir sklendės statinio pasipriešinimo jėgos charakteristika (raudona kreivė)

Matoma, kad kai statinio pasipriešinimo jėga viršija variklio kuriamą jėgą variklio greitis mažėja.



4.11 pav. TAV greičio priklausomybė nuo laiko



4.12 pav. TAV kelio priklausomybė nuo laiko

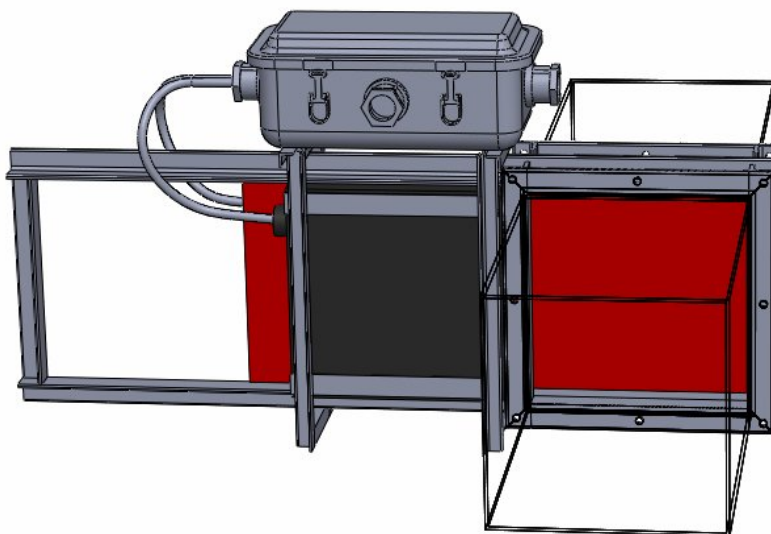
Naudojant šį modelį galima analizuoti universaliosios sklendės tiesiaeigės pavaros paleidimo procesą, o gautus rezultatus pritaikyti kuriant naujas ir eksploatuojant jau pagamintas dulkių sprogimų automatinio lokalizavimo sistemas. Tačiau svarbiausia yra nustatyti laiką, per kurį universalioji sklendė visiškai užsklendžia vamzdyną, lokalizuodama sprogimą ir užkirsdama kelią

gaisrui. Iš 4.9 pav. matyti, kad vamzdis užsklendžiamas per 0,07 s. Toks greitaieigiškumas įgalina sklendes montuoti netoli nuo galimo pirminio sprogo vietos.

4.6. Sprogimų bangos veikiamos ugnį užtveriančios sklendės pavaros dinaminė charakteristikų imitacija

Universaliajai sklendei su tiesiaieigio judesio elektros pavara užsklendžiant liepsnos sklido kanalą, kinta sprogo plėtimosi uždaroje erdmėje sąlygos. Nuo jų priklauso sprogo slėgis, nuo šio slėgio ir sklendės nueito kelio – sklendės judamąjį elementą veikianti jėga, o nuo šios jėgos – kelio priklausomybė nuo laiko. Be šios sąveikos, sprogo intensyvumą dar lemia dulkių ir oro mišinio cheminė sudėtis, jo koncentracija ir drėgmė, padegimo šaltinio temperatūra bei energija ir kiti atsitiktiniai veiksniai. Be to, ugnį užtveriančios sklendės pavara turi būti taip apskaičiuota, kad sklendė suspėtų lokalizuoti sprogo židinį užkirsdamą liepsnai kelią, o kartu veikiantys slėgio iškrovikliai privalo sumažinti sprogo slėgį, kad nesuirtų technologinių įrenginių ir vamzdinių sienelės. Todėl sklendės pavaros modeliavimo ir projektavimo uždavinys turi būti sprendžiamas kompleksiškai su sprogo proceso identifikavimo uždaviniu.

Magistro darbe suprojektuotas matematinis universaliosios sklendės tiesiaieigės pavaros modelis su programiniu paketu *Matlab* pateiktas ankstesnėje dalyje. Darbe suprojektuotas ir kompiuterinis universaliosios sklendės modelis (4.13 pav.) su programiniu paketu *SolidWorks SP0.0*.



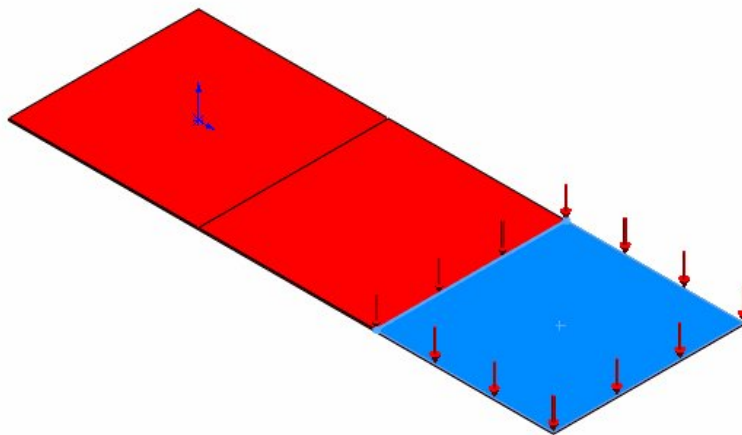
4.13 pav. U2-BZB tipo sklendė, taikoma automatinėse sprogo lokalizavimo sistemose

SolidWorks– tai trimatė kietakūnio parametrinio modeliavimo sistema (mechaninių mazgų ir kitų konstrukcijų). *SolidWorks* programiniu paketu galima sukurti norimą kompiuterinį modelį atitinkantį visus realius parametrus. Su šiuo programiniu paketu galima atlikti sudėtingus kompiuterinius bandymus, kurie patikrintų modelio ilgaamžiškumą, dinamines, termines charakteristikas. Taip pat galima patikrinti modelio atsparumą temperatūros, jėgos, slėgio ir srauto veikimui.

Su *SolidWorks* programiniu paketu sumodeliuojama specialios U2-BZB tipo sklendės, kurios skirtos 100-380 mm skersmens vamzdžiams, kuriuos turi užsklęsti per laiką, ne ilgesnį kaip 0,1s.

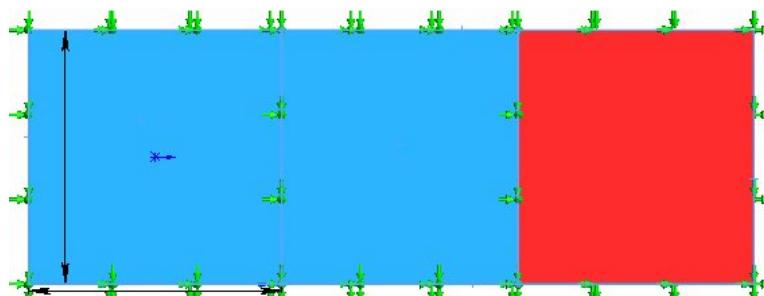
Atlikti bandymai rodo, jog sprogo metu sklendės judamasis elementas dėl didelių sprogo viršslėgių gali deformuotis ir pradės remtis į induktorių. Dėl šios priežasties buvo sumanyta išbandyti specialias sklendes, kurios turės atraminius guolius induktoriaus aktyviojoje zonoje.

Su *SolidWorks* programiniu paketu sumodeliuojame sklendės judamąjį elementą ir tiriamo jį su įtvirtintais galais ir šonais imituodami atraminius guolius induktoriaus aktyviojoje zonoje (4.14 pav.). Magistro darbe pateikiami bandymai sumodeliuoti su aliumininio ir duraliminio sklendės judamuoju elementu. Aliuminis- plačiausiai paplitęs metalas žemėje. Dėka tokių savybių kaip: lengvumas, elektros ir šilumos laidumas, atsparumas korozijai, aluminis plačiai naudojamas ir visose pramonės šakose. Šiandien aluminis keičia plieną, varį, plastiką, medį ir pan. Duraluminis – aluminio (92–95 %) lydinys su variu, manganu, geležimi, magniu ir siliciu (5–8 %). Iš jo gamina lengvus kampukus, lovius, vamzdžius, architektūrines detales ir pan. Savo tvirtumu duraluminis nenusileidžia plienui. Dėl šių savybių bandymams atlikti buvo pasirinkti šie metalai.



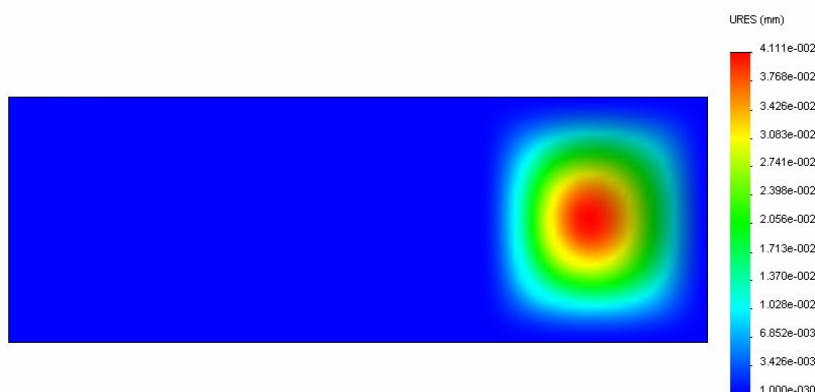
4.14 pav. Sklendės judamasis elementas ir vieta į kurią veiks sprogo banga.

Naudodami *SolidWorks* programinį paketą nustatome, kad sprogimo banga veiks tik į tą sklendės judamojo elemento vietą, kuri uždengs vamzdyną (4.14 pav.) Judamojo elemento kraštai, šonai bei ta dalis, kuri neuždengs vamzdyno bus įtvirtintos (4.15 pav.), atsižvelgiant į tai, kad sklendei uždarius vamzdyną ji remsis į konstrukcines dalis bei atraminius guolius.

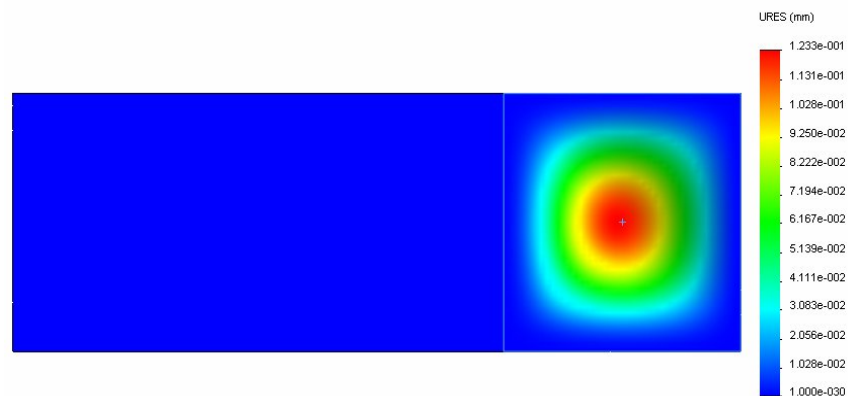


4.15 pav. Sklendės judamasis elementas su įtvirtintais galais ir šonais.

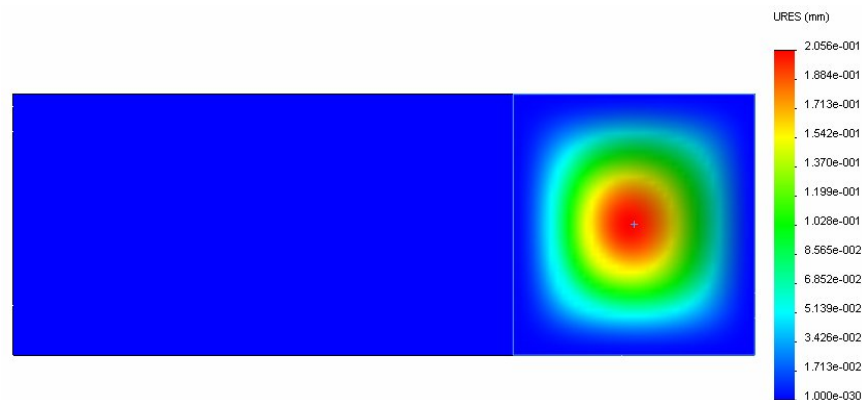
Toliau pateikti atliktų bandymų rezultatai. Matome, kokia jėga yra veikiamas sklendės judamasis elementas užtvėręs sprogimo bangos sklidimą vamzdynais. Labiausiai smūginės bangos yra veikiamas sklendės judamojo elemento dešinysis šonas, nes jis mažiausiai įtvirtintas. Kokia jėga jis bus veikiamas priklauso nuo smūginės bangos stiprumo ir iš kokios medžiagos pagamintas sklendės judamasis elementas. Atlikti bandymai, kai sprogimo banga lygi: $1000 \frac{N}{m^2}$, $3000 \frac{N}{m^2}$, $5000 \frac{N}{m^2}$, $7000 \frac{N}{m^2}$ ir $45000 \frac{N}{m^2}$. Magistro darbo priede pateikti bandymo rezultatai, kai sprogimo banga lygi: $2000 \frac{N}{m^2}$, $4000 \frac{N}{m^2}$ ir $6000 \frac{N}{m^2}$.



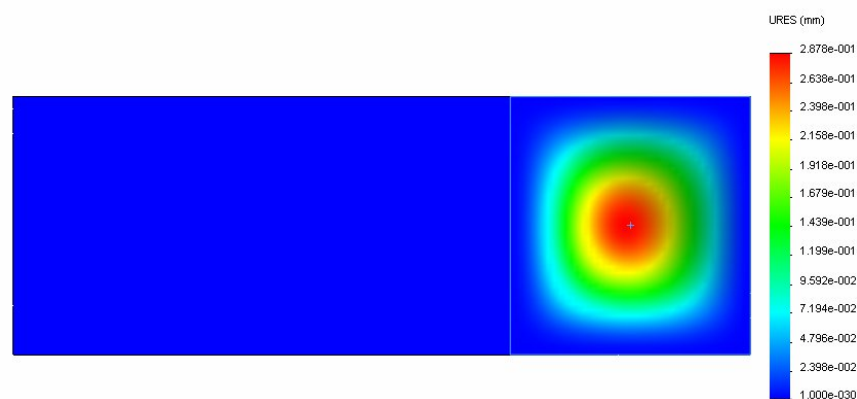
4.16 pav. $1000 \frac{N}{m^2}$ sprogimo bangos slėgio veikiamo sklendės aliumininio judamojo elemento deformacija



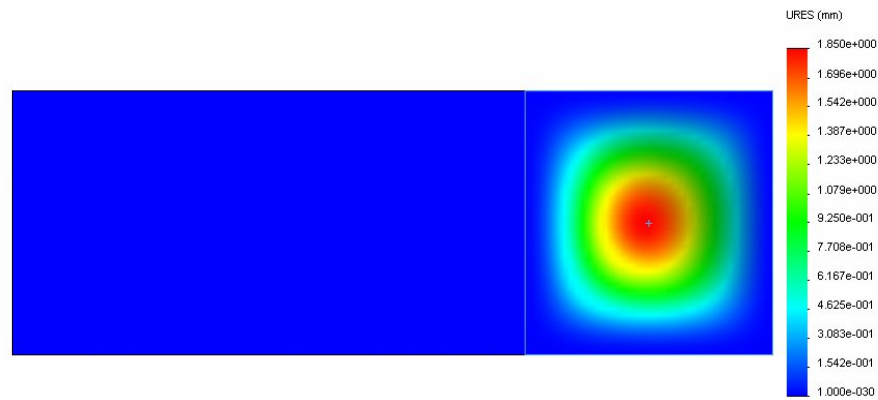
4.17 pav. $3000 \frac{N}{m^2}$ sprogimo bangos slėgio veikiamo sklendės aliumininio judamojo elemento deformacija



4.18 pav. $5000 \frac{N}{m^2}$ sprogimo bangos slėgio veikiamo sklendės aliumininio judamojo elemento deformacija



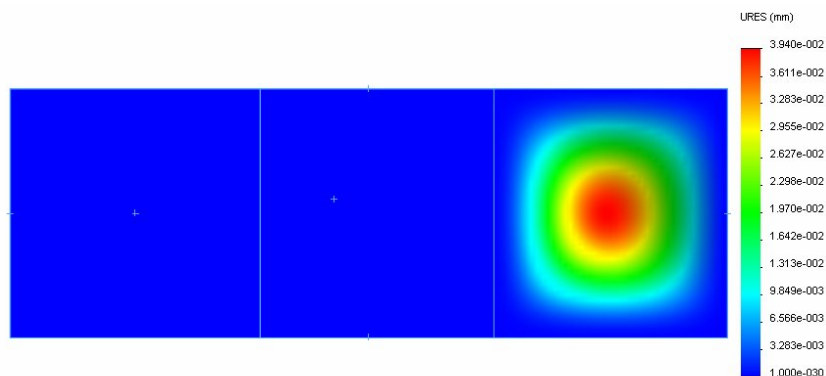
4.19 pav. $7000 \frac{N}{m^2}$ sprogimo bangos slėgio veikiamo sklendės aliumininio judamojo elemento deformacija



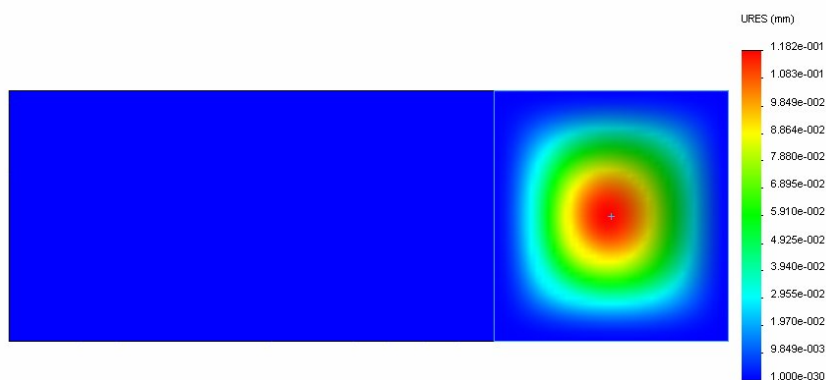
4.20 pav. $45000 \frac{N}{m^2}$ sproginimo bangos slėgio veikiamo sklendės aliumininio judamojo elemento deformacija

Iš sproginimų bangos slėgio veikiamos universaliosios aliumininio sklendės judamojo elemento deformacijų matyti, kad sklendė su papildomais guoliais (įtvirtintais galais ir šonais) deformuojasi nedaug. Esant $1000 \frac{N}{m^2}$ sproginimo bangos slėgiui – sklendės deformacija tik $0,0411 mm$., o $7000 \frac{N}{m^2}$ – $0,287 mm$. Atliekant bandymus su tokia pat sklende, bet be papildomų guolių (bandymų rezultatai pateikti magistro darbo priede), t.y. neįtvirtinant sklendės judamojo elemento šonų gauname, kad esant $7000 \frac{N}{m^2}$ sproginimo bangos slėgiui – deformacija yra net $0,510 mm$. Akivaizdu, kad įrengti papildomi atraminiai guoliai induktoriaus aktyviojoje zonoje sušvelnina sklendės judamojo elemento deformacijas. Esant stipriems sproginimams (4.20 pav.) sklendės judamojo elemento deformacija vis dar leistinose ribose iki $2,50 mm$ (tai riba ties kuria sklendės judamasis elementas pradeda remtis į induktorių). Su tokio tipo sklendėmis dulkių sproginimų automatinio lokalizavimo sistema užkirs kelią ne vienai katastrofai.

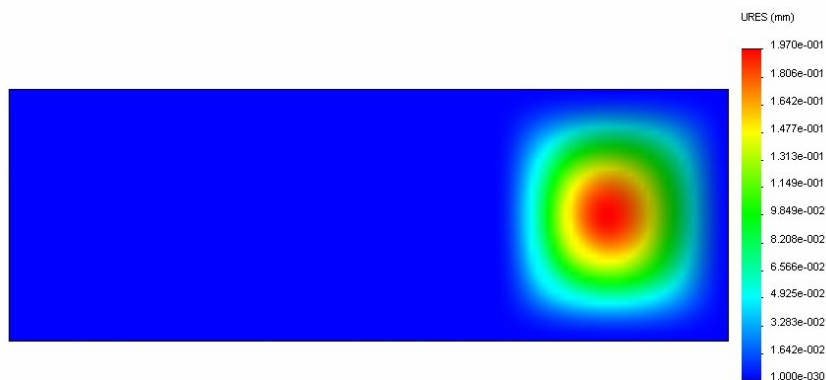
Toliau pateikti atliktų bandymų rezultatai, sumodeliuoti su duralimininiu sklendės judamuoju elementu. Duraliuminis – aliuminio (92–95 %) lydinys su variu, manganu, geležimi, magniu ir siliciu (5–8 %). Dėl savo sudėties jis yra tvirtesnis už aliuminį, o jo tvirtumas prilyginamas plienui. Atlikti bandymai, kai sproginimo banga lygi: $1000 \frac{N}{m^2}$, $3000 \frac{N}{m^2}$, $5000 \frac{N}{m^2}$, $7000 \frac{N}{m^2}$ ir $45000 \frac{N}{m^2}$. Magistro darbo priede pateikti bandymo rezultatai, kai sproginimo banga lygi: $2000 \frac{N}{m^2}$, $4000 \frac{N}{m^2}$ ir $6000 \frac{N}{m^2}$.



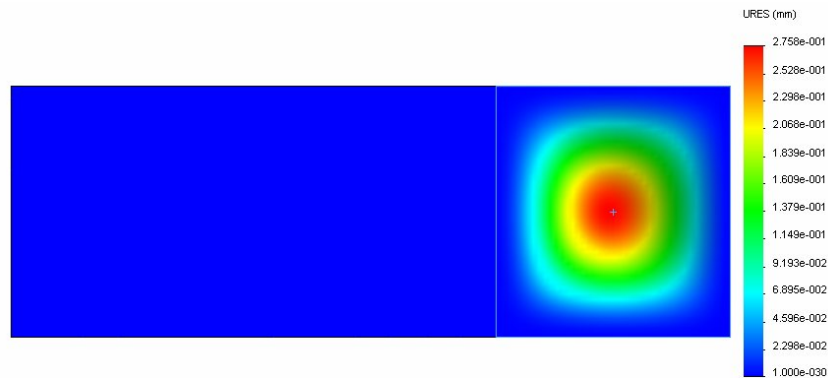
4.21 pav. $1000 \frac{N}{m^2}$ sprogimo bangos slėgio veikiamo sklendės duraliuminio judamojo elemento deformacija



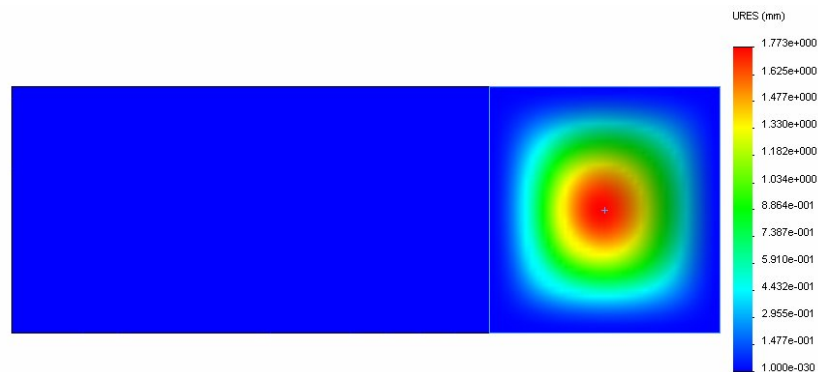
4.22 pav. $3000 \frac{N}{m^2}$ sprogimo bangos slėgio veikiamo sklendės duraliuminio judamojo elemento deformacija



4.23 pav. $5000 \frac{N}{m^2}$ sprogimo bangos slėgio veikiamo sklendės duraliuminio judamojo elemento deformacija

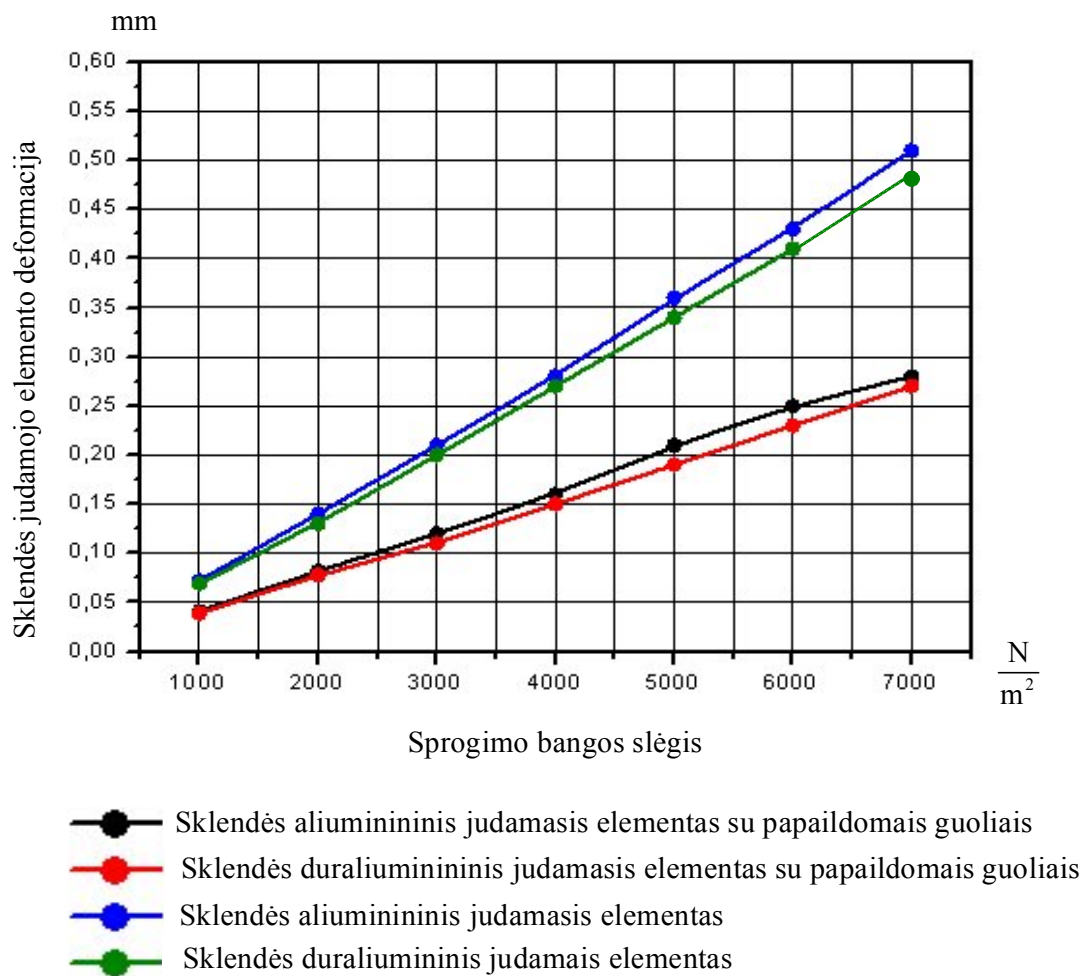


4.24 pav. $7000 \frac{N}{m^2}$ sprogimo bangos slėgio veikiamo sklendės duraliuminio judamojo elemento deformacija



4.25 pav. $45000 \frac{N}{m^2}$ sprogimo bangos slėgio veikiamo sklendės duraliuminio judamojo elemento deformacija

Iš sprogimų bangos slėgio veikiamos universaliosios sklendės duraliuminio judamojo elemento deformacijų matyti, kad deformuojasi mažiau nei sklendė su aliumininio judamuoju elementu. Esant $1000 \frac{N}{m^2}$ sprogimo bangos slėgiui – sklendės deformacija $0,0394 \text{ mm}$., o $7000 \frac{N}{m^2}$ – $0,275 \text{ mm}$. Akivaizdu, kad įrengti papildomi atraminiai guoliai induktoriaus aktyviojoje zonoje sušvelnina sklendės judamojo elemento deformacijas, o duraliuminis judamasis elementas mažiau išlinksta veikiamas sprogimo bangos slėgio nei aliumininis judamasis elementas.



4.26 pav. Sklendžių judamojo elemento deformacija

Magistro darbo priede pateikta bandymų, su *SolidWorks* programiniu paketu sumodeliuotos sklendės, rezultatai. Bandymai atlikti su sklende, kuri neturi papildomų, atraminių guolių induktoriaus aktyviojoje zonoje. Paveiksle 4.26 pateikti visi magistro darbo rezultatai. Akivaizdu, kad sklendė su papildomais guoliais mažiau išlinksta veikiamą tokio pat slėgio smūginės bangos nei sklendė be atraminių guolių. Papildomų guolių (riedėjimo, slydimo) induktoriaus aktyviojoje zonoje įrengimas naudingas, nes:

- ❖ mažiau deformuojasi sklendės judamasis elementas;
- ❖ išvengiama sklendės judamojo elemento rėmimosi į induktorių;
- ❖ efektyviau lokalizuojami dulkių sprogimai

Dulkių sprogimų automatinio lokalizavimo sistemos, kuriose įrengtos universaliosios sklendės su papildomais guoliais induktoriaus aktyviojoje zonoje – efektyvus sprendimas išvengiant katastrofų grūdų perdirbimo įmonėse.

5. APIBENDRINANČIOJI DALIS

5.1. Išvados

- ❖ Tiesiaiegių asinchroninių variklių savybės leidžia paprastomis priemonėmis sukurti daugiafunkčius įrenginius.
- ❖ Vilniaus Gedimino technikos universiteto specialistams eksperimentiškai tiriant sklendes Vievio sprogimų bandymo poligone nustatyta, kad sklendė veikiamą labai didelio sprogo momento deformuojasi. Deformuojantis sklendei jos judamasis elementas pradeda remtis į induktorių ir gali įstrigti. Todėl buvo pasiūlytas techninis sprendimas įrengti atraminius guolius sklendės pavaros TAV induktoriaus aktyviojoje zonoje.
- ❖ Nors sklendės be guolių induktoriaus aktyviojoje zonoje ir su jais trinties koeficientai skirtingi, bet sklendė užsidaro taip pat efektyviai.
- ❖ Akivaizdu, kad įrengti papildomi atraminiai guoliai induktoriaus aktyviojoje zonoje sušvelnina sklendės judamojo elemento deformacijas.
- ❖ Esant $1000 \frac{N}{m^2}$ sprogo bangos slėgiui – aliumininės sklendės deformacija tik $0,0411 mm$., o $7000 \frac{N}{m^2}$ – $0,287 mm$.
- ❖ Esant $1000 \frac{N}{m^2}$ sprogo bangos slėgiui – duraliumininės sklendės deformacija $0,0394 mm$., o $7000 \frac{N}{m^2}$ – $0,275 mm$. Duraliumininis judamasis elementas mažiau išlinksta veikiamas sprogo bangos slėgio nei aliumininis judamasis elementas.
- ❖ Atliekant bandymus su tokia pat sklende, bet be papildomų guolių gauname, kad esant $7000 \frac{N}{m^2}$ sprogo bangos slėgiui – deformacija yra net $0,510 mm$.
- ❖ Net esant stipriems sprogimams sklendės judamojo elemento deformacija vis dar leistinose ribose iki $2,50 mm$ (tai riba, ties kuria sklendės judamasis elementas pradeda remtis į induktorių).
- ❖ DSALS sistemose įrengus universalias sklendes su papildomais guoliais induktoriaus aktyviojoje zonoje bus užkirstas kelias ne vienai katastrofai.

❖ Universaliosios sklendės gali būti naudojamos sprogimams lokalizuoti ir kaip technologinės.

5.2. Rekomendacijos ir pasiūlymai

❖ Magistro darbe atlikti teoriniai tyrimai ir sudaryto kompiuterinio modelio pagrindu gautos universaliosios sklendės pavaros dinaminės charakteristikos rodo, kad sistema su papildomais atraminiais guoliais induktoriaus aktyviojoje zonoje garantuoja patikimą DSALS darbą.

❖ Todėl tikslinga organizuoti specialiųjų sklendžių TAV gamybą ir naujais varikliais su papildomais atraminiais guoliais induktoriaus aktyviojoje zonoje pakeisti šiuo metu eksploatuojamus įrenginius.

❖ Ateityje tikslinga pradėti gaminti universaliąsias sklendes su naujos konstrukcijos tiesiaėigiais asinchroniniais varikliais.

LITERATŪRA

1. BEYERSDORFER P. Staub - Explosionen, German. 1925. 125 p.
2. KOSZMAN, I. AND GAVIS J. Development of charge in low conductivity liquids flowing past surfaces: experimental verification and application of the theory developed for tube flow. Chem. Eng. Sci. 1062, 17, 1023–1040, 1962.
3. FREYTAG H. H. Handbuch der Raumexplosionen. Verlag Chemie. 1965. 664 p.
4. HAASE, H. Electrostatic Hazards: Their Evaluation and Control, Verlag Chemie. New York. 1977. 351 p.
5. PALMER K. N. Dust explosions and fires. Chapman and Hall Ltd., London. 1973. 396 p.
6. BEYERSDORFER P. Staub – Explosionen 2. German. 1978 . 245 p.
7. КУРКЛЕТИС Р., ЛУКОШЮНАС А., ПОШКА А.- Ю., ТЕЙШЕРСКАС Ч. Автоматические устройства для локализации взрывов и пожаров на предприятиях республики. – Вильнюс: Лит НИИТИ. 1988. 37 с.
8. А. с. 1248609 СССР. Устройство для автоматического перекрытия трубопровода при пожаре. Лукошюнас А. А., Радзявичюс Л. Ю., Тейшерскас Ч. Ю., Пошка А. Ю., Шлегерис Ю. Е., Йоникайтис Й. Й. Опубл. 08.08.86, Б. И. № 29. 2 с.
9. А. с. 929116 СССР. Устройство для автоматического перекрытия трубопровода при пожаре. Лукошюнас А. А., Адамонис К. А., Тейшерскас Ч. Ю., Пошка А. Ю., Габрис И. Ю., Яскелевич К.Б.. № 2872319/29-12; заявл. 23.05.82; опубл. 25.05.82, Б. И. № 19. 2 с.
10. ВАСИЛЬЕВ Я. Я., СЕМЕНОВ Л. И. Взрывобезопасность на предприятиях по хранению и переработке зерна. – Москва: Колос. 1983. 223с.
11. КОЦКИХ В. Ф., СЕМЕНОВ Л. И., РАДВИН А. А. Улучшение условий труда и повышение взрывобезопасности элеваторных на предприятиях отрасли. Повышение взрывобезопасности Норий. – Москва: Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований Министерства хлебопродуктов СССР. 1987. 40с.
12. POŠKA A.J. Specialiosios automatinės sistemos. Habilitacinis darbas. Vilnius: Technika. 1995. 255 p
13. POŠKA A. J., Savickienė Z., LISAUSKAS S. Tiesiaieigės mechatroninės sistemos. Vilnius: Vilniaus pedagoginio universiteto leidykla, 2008. - 376 p.
14. RINKEVIČIENĖ, R., LISAUSKAS, S. Tiesiaieigių mechatroninių sistemų modeliai. Elektronika ir elektrotechnika. Kaunas: Technologija, 2003, Nr. 4(46), p. 69–73.

15. POŠKA, A.; SAVICKIENĖ, Z.; ZUBAITIS, J. Daugiafunkcės tiesiaeigės asinchroninės elektros pavaros // Elektronika ir elektrotechnika. ISSN 1392-1215. Kaunas: Technologija. 2005, Nr. 5(61), p. 28 - 32.
16. SAVICKIENĖ Z.; POŠKA A. J.; ŠLEPIKAS A. Mažos galios tiesiaeigių elektros pavarų lyginamieji parametrai. Elektronika ir elektrotechnika. Kaunas : Technologija. ISSN 1392-1215. 2004, No. 5(54), p. 76.
17. TORRENT J.G., LÁZARO E. C., GONZÁLEZ O.P., Explosion risk in agricultural industry, 2001 m. (žiūrėta 2010–10–21) Prieiga per internetą: <http://138.4.183.102/>.
18. OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION, Hazard communication guidance for combustible dusts, 2009 m. (žiūrėta 2010–11–10) Prieiga per internetą: <http://www.osha.gov/Publications/3371combustible-dust.pdf>.
19. ECKHOFF R.K., Dust explosions in the process industries, Butterworth-Heinemann, 1997 m., 643 p.
20. BODURTHA, F.T., Industrial explosion prevention and protection, McGraw Hill Higher Education, 1980 m. 167 p.
21. INERIS, Rapport Accident de Blaye, 1999 m. (žiūrėta 2010–11–12) Prieiga per internetą: <http://www.ineris.fr>
22. SCHOEFF, R.W., Case Study Of Dust Explosion at DeBruce Grain Co. Terminal Elevator, Haysville, Kansas. 3rd Worldwide seminar on the explosion phenomenon and on the application of explosion protection techniques in practice. Ghent - Belgium. 1999 m. 58 p.
23. FIELD P., Dust Explosions. Elsevier. 1982 m. 245 p.
24. SCHOFIELD C. and ABBOTT J.A., Guide to dust explosion protection and protection. the institution of chemical engineers. 1988 m.,
25. POŠKA A.J.; SAVICKIENĖ Z.; ŠLEPIKAS A. Formation of force – speed characteristics of linear induction drive// ECT 2011: proceedings of the VI – th international conference on electrical and control technologies. May 5-6, 2011, Kaunas, Lithuania/ Kaunas: Technologija, 2011. ISSN 1822-5934. p. 251-254
26. POŠKA J.A., RINKEVIČIENĖ R. Tiesiaeigių elektros pavarų skaičiavimo ir valdymo algoritmai. Vilnius, Technika, 1997 m., 232 p.
27. POŠKA A. R.; RINKEVIČIENĖ, R. Tiesiaeigių elektros pavarų skaičiavimo ir valdymo algoritmai. Vilnius: Technika, 1997. 231 p.
28. RINKEVIČIENĖ, R.; POŠKA, A. Valdomos tiesiaeigės pavaros modeliavimas // Energetikos ir elektrotechnikos technologijos : konferencijos pranešimų medžiaga / Kauno technologijos universitetas. ISBN 9955-09-157-6. Kaunas: Technologija, 2002, p. 86-87.

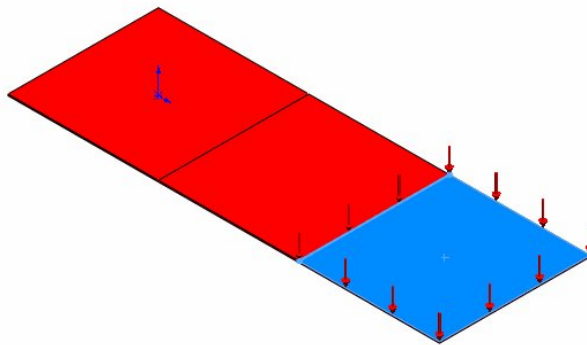
29. BARZDŽIUKIENĖ L. D., V. CELIEŠIENĖ V., A. KAULAKIENĖ A. Baigiamasis studijų darbas. Kalbininkų patarimai: teorija ir tvarkyba. 2-asis pataisytas ir papildytas leidimas. Vilnius: Technika, 2005. 148 p.
30. GELEŽEVIČIUS V. A., KAULAKIENĖ A., MARCINKEVIČIUS S., POCIUS R., POŠKA A. J., RINKEVIČIENĖ R., SAVICKIENĖ Z., SLIVINSKAS K. Automatikos terminų žodynas. Vilnius: Technika, 2004. 715p.
31. MUKULYS R. J., ALEKSA V., BALSYS R. IR KT. Moksl. red. Smilgevičius A., Žebrauskas S. Elektrotechnikos terminų žodynas. KTU. – Kaunas: Technologija, 1999. – 872 p.

PRIEDAI

Sprogimų bangos veikiamos ugnį užtveriančios sklendės pavaros dinaminių charakteristikų imitacija

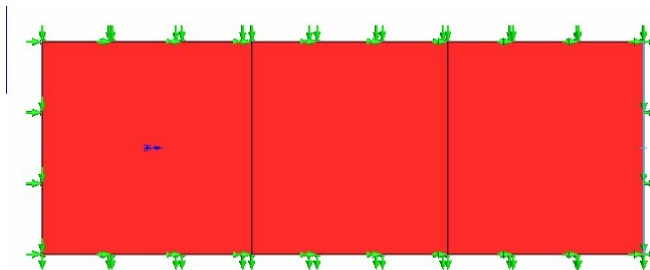
Magistro darbe suprojektuotas matematinis universaliosios sklendės tiesiaieigės pavaros modelis su programiniu paketu *Matlab* pateiktas ankstesnėje dalyje. Darbe suprojektuotas ir kompiuterinis universaliosios sklendės su programiniu paketu *SolidWorks SP0.0*.

Su *SolidWorks* programiniu paketu sumodeliuojama specialios U2-BZB tipo sklendės, kurios skirtos 100-380 mm skersmens vamzdžiams, kuriuos turi užsklęsti per laiką, ne ilgesnį kaip 0,1s. Atlikti bandymai rodo, jog sprogo metu sklendės judamasis elementas gali deformuotis ir pradės remtis į induktorių, dėl didelių sprogo viršslėgių. Su *SolidWorks* programiniu paketu sumodeliuojame sklendės judamąjį elementą ir tiriamo jį su įtvirtintais galais ir šonais.



1 pav. Sklendės judamasis elementas ir vieta į kurią veiks sprogo banga.

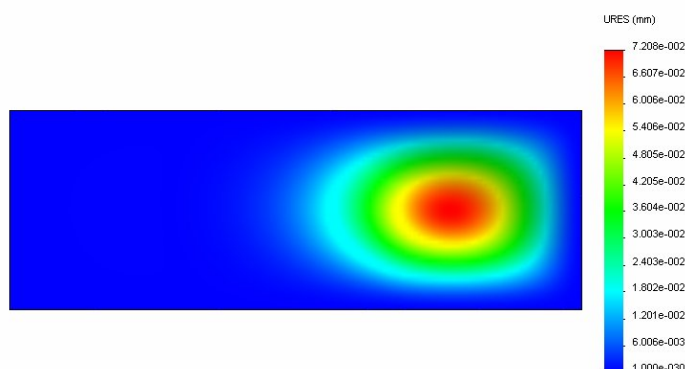
Naudodami *SolidWorks* programinį paketą nustatome, kad sprogo banga veiks tik į tą sklendės judamojo elemento vietą, kuri uždengs vamzdyną (1 pav.) Judamojo elemento kraštai ir šonai bus įtvirtinti (2 pav.).



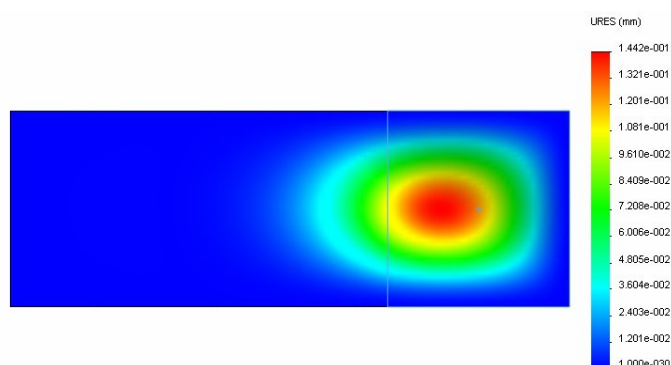
2 pav. Sklendės judamasis elementas su įtvirtintais galais ir šonais.

Toliau pateikti atliktų bandymų, su aliumininiu sklendės judamuoju elementu, rezultatai. Matome, kokia jėga yra veikiamas sklendės judamasis elementas užtvėręs sprogo bangos sklidimą vamzdynais. Labiausiai smūginės bangos yra veikiamas sklendės judamojo elemento dešinysis šonas, nes jis mažiausiai įtvirtintas. Kokia jėga jis bus veikiamas priklauso nuo smūginės

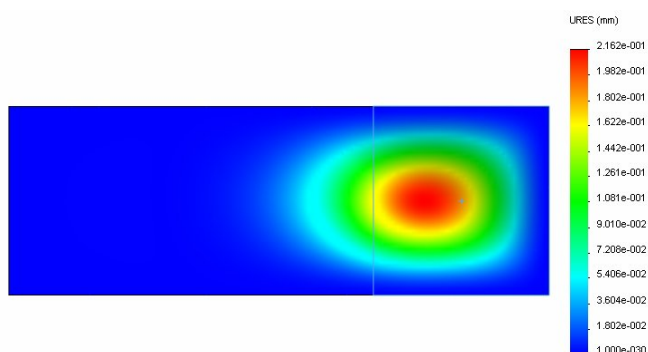
bangos stiprumo ir iš kokios medžiagos pagamintas sklendės judamasis elementas. Atlikti bandymai kai sproginimo banga lygi: $1000 \frac{N}{m^2}$, $2000 \frac{N}{m^2}$, $3000 \frac{N}{m^2}$, $4000 \frac{N}{m^2}$, $5000 \frac{N}{m^2}$, $6000 \frac{N}{m^2}$ ir $7000 \frac{N}{m^2}$



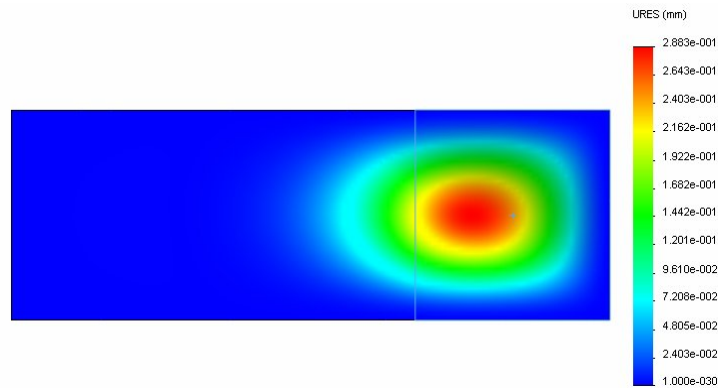
3 pav. $1000 \frac{N}{m^2}$ sproginimo bangos slėgio veikiamo sklendės aliumininio judamojo elemento deformacija



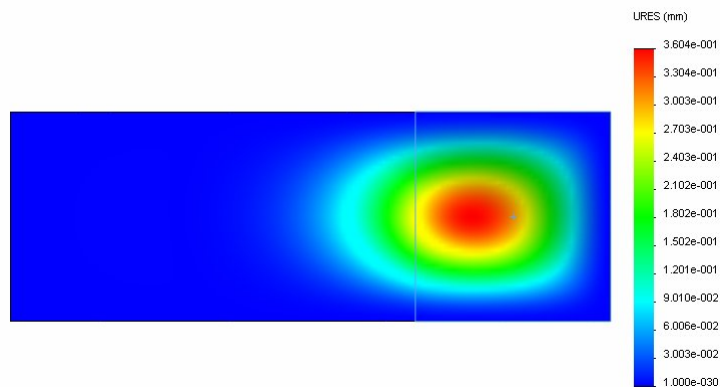
4 pav. $2000 \frac{N}{m^2}$ sproginimo bangos slėgio veikiamo sklendės aliumininio judamojo elemento deformacija



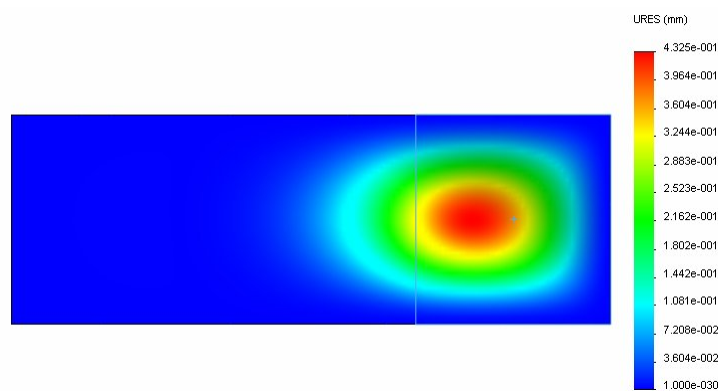
5 pav. $3000 \frac{N}{m^2}$ sproginimo bangos slėgio veikiamo sklendės aliumininio judamojo elemento deformacija



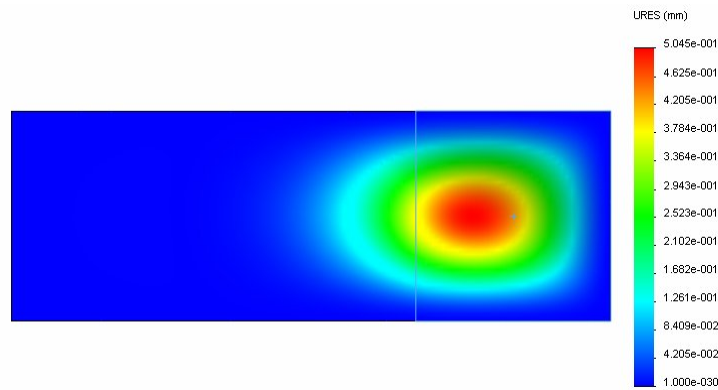
6 pav. $4000 \frac{N}{m^2}$ sprogimo bangos slėgio veikiamo sklendės aliumininio judamojo elemento deformacija



7 pav. $5000 \frac{N}{m^2}$ sprogimo bangos slėgio veikiamo sklendės aliumininio judamojo elemento deformacija



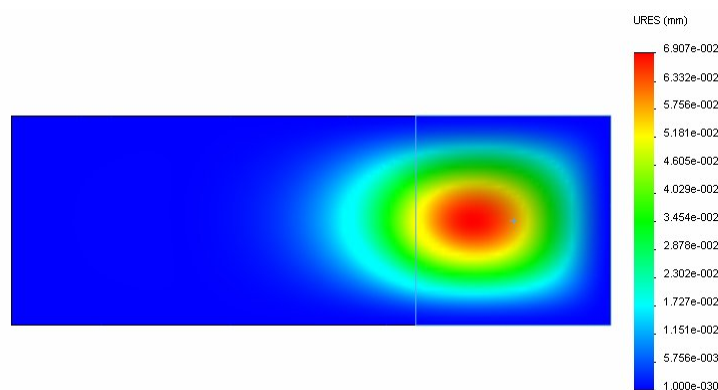
8 pav. $6000 \frac{N}{m^2}$ sprogimo bangos slėgio veikiamo sklendės aliumininio judamojo elemento deformacija



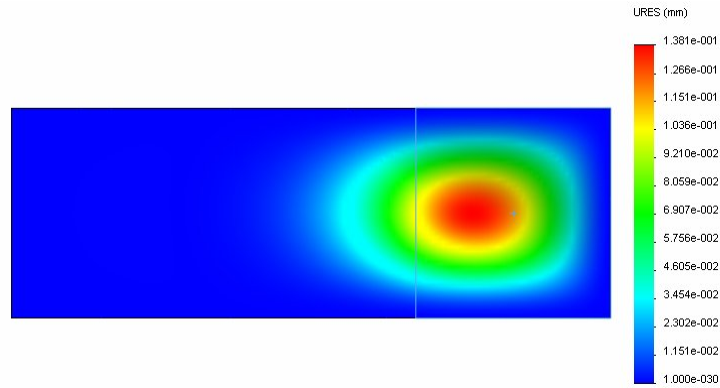
9 pav. $7000 \frac{N}{m^2}$ sprogimo bangos slėgio veikiamo sklendės aliumininio judamojo elemento deformacija

Iš sproginų bangos slėgio veikiamos universaliosios aliumininio sklendės judamojo elemento deformacijų matyti, kad esant $1000 \frac{N}{m^2}$ sprogimo bangos slėgiui – sklendės deformacija $0,072 mm$, o $7000 \frac{N}{m^2} - 0,504 mm$.

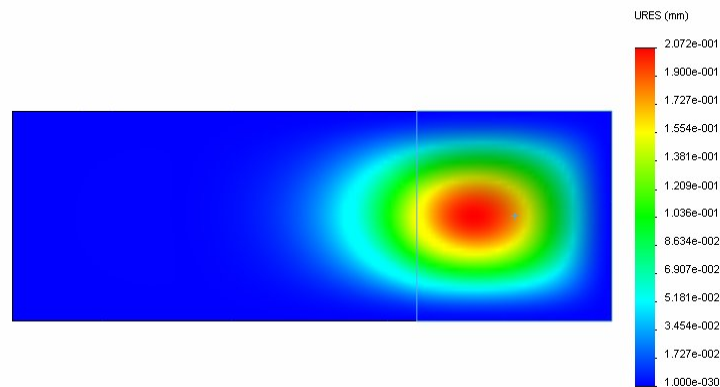
Toliau pateikti atliktų bandymų rezultatai, sumodeliuoti su duralimininiu sklendės judamuoju elementu, kai sprogimo banga lygi: $1000 \frac{N}{m^2}$, $2000 \frac{N}{m^2}$, $3000 \frac{N}{m^2}$, $4000 \frac{N}{m^2}$, $5000 \frac{N}{m^2}$, $6000 \frac{N}{m^2}$ ir $7000 \frac{N}{m^2}$.



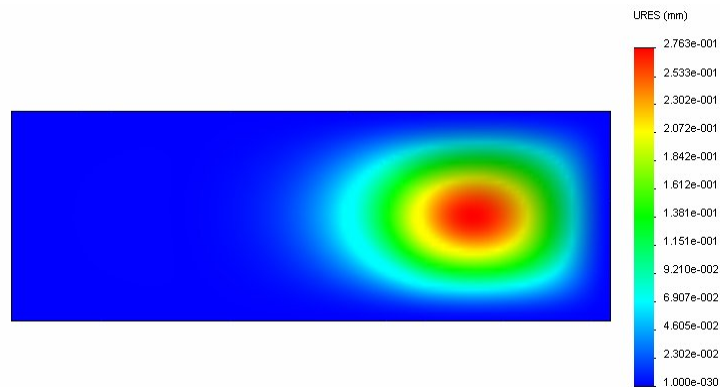
10 pav. $1000 \frac{N}{m^2}$ sprogimo bangos slėgio veikiamo sklendės duraliumininio judamojo elemento deformacija



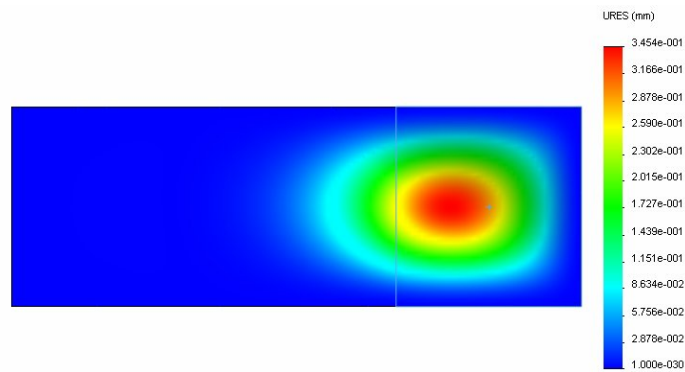
11 pav. $2000 \frac{N}{m^2}$ sprogimo bangos slėgio veikiamo sklendės duraliuminio judamojo elemento deformacija



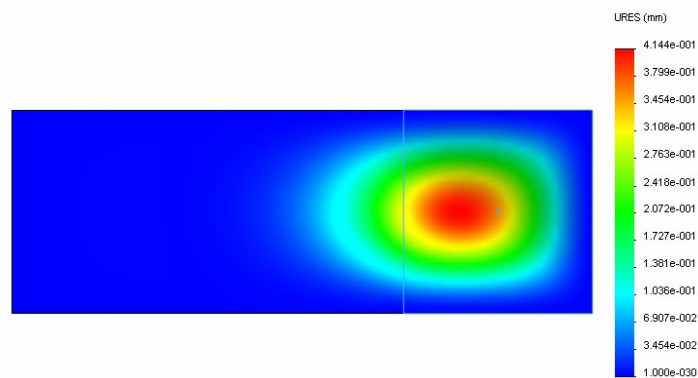
12 pav. $3000 \frac{N}{m^2}$ sprogimo bangos slėgio veikiamo sklendės duraliuminio judamojo elemento deformacija



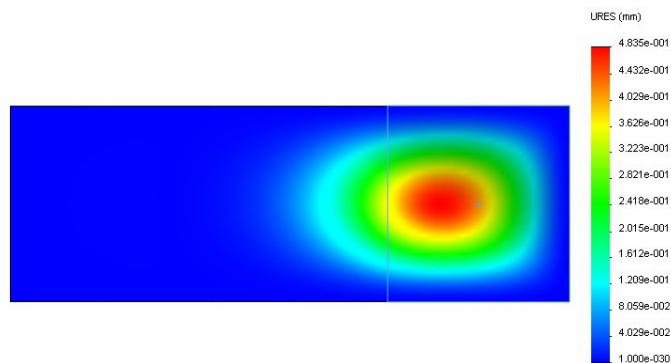
13 pav. $4000 \frac{N}{m^2}$ sprogimo bangos slėgio veikiamo sklendės duraliuminio judamojo elemento deformacija



14 pav. $5000 \frac{N}{m^2}$ sprogimo bangos slėgio veikiamo sklendės duraliuminio judamojo elemento deformacija



15 pav. $6000 \frac{N}{m^2}$ sprogimo bangos slėgio veikiamo sklendės duraliuminio judamojo elemento deformacija



16 pav. $7000 \frac{N}{m^2}$ sprogimo bangos slėgio veikiamo sklendės duraliuminio judamojo elemento deformacija

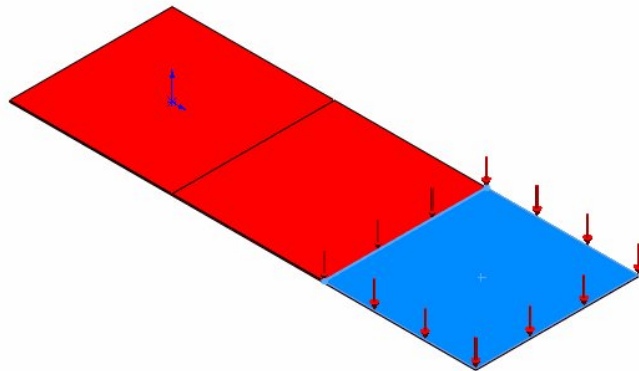
Iš sprogimų bangos slėgio veikiamos universaliosios aliumininio sklendės judamojo elemento deformacijų matyti, kad esant $1000 \frac{N}{m^2}$ sprogimo bangos slėgiui – sklendės deformacija $0,069 \text{ mm}$., o $7000 \frac{N}{m^2}$ – $0,483 \text{ mm}$.

Sprogimų bangos veikiamos ugnį užtvėriančios sklendės pavaros dinaminių charakteristikų imitacija

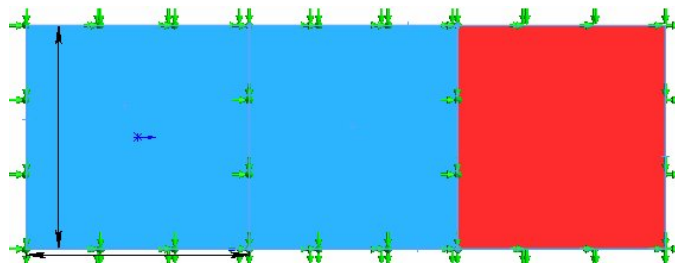
Magistro darbe suprojektuotas matematinis universaliosios sklendės tiesiaieigės pavaros modelis su programiniu paketu *Matlab*. Darbe suprojektuotas ir kompiuterinis universaliosios sklendės su programiniu paketu *SolidWorks SP0.0*.

Su SolidWorks programiniu paketu sumodeliuojame sklendės judamąjį elementą ir tiriamo jį su įtvirtintais galais ir šonais imituodami atraminius guolius induktoriaus aktyviojoje zonoje. Magistro darbe pateikiami bandymai sumodeliuoti su aliumininio ir duralimininiu sklendės judamuoju elementu.

Naudodami SolidWorks programinį paketą nustatome, kad sprogimo banga veiks tik į tą sklendės judamojo elemento vietą, kuri uždengs vamzdyną (17 pav.) Judamojo elemento kraštai, šonai bei ta dalis kuri neuždengs vamzdyno bus įtvirtintos (18 pav.), atsižvelgiant į tai, kad sklendei uždarius vamzdyną ji remsis į konstrukcines dalis bei atraminius guolius.



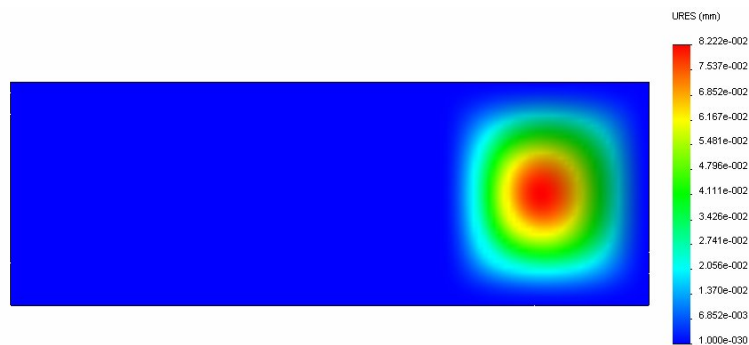
17 pav. Sklendės judamasis elementas ir vieta į kurią veiks sprogimo banga.



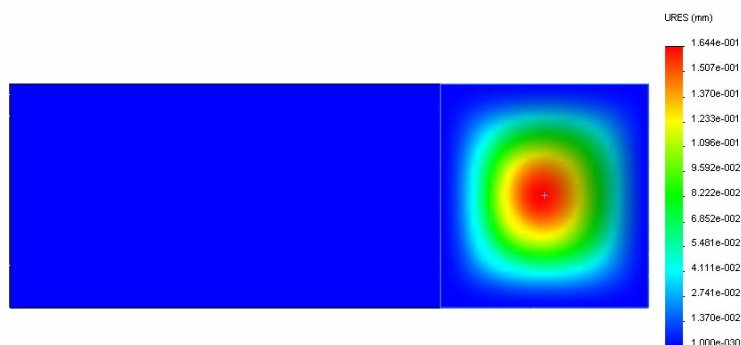
18 pav. Sklendės judamasis elementas su įtvirtintais galais ir šonais.

Toliau pateikti atliktų bandymų rezultatai. Matome, kokia jėga yra veikiamas sklendės judamasis elementas užtvėręs sprogimo bangos sklaidimą vamzdynais. Labiausiai smūginės bangos

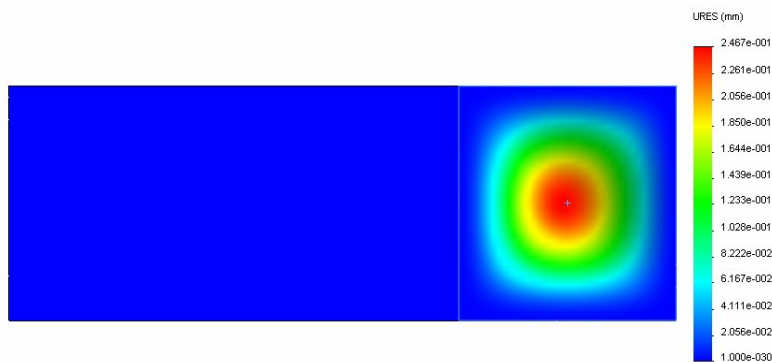
yra veikiamas sklendės judamojo elemento dešinysis šonas, nes jis mažiausiai įtvirtintas. Kokia jėga jis bus veikimas priklauso nuo smūginės bangos stiprumo ir iš kokios medžiagos pagamintas sklendės judamasis elementas. Atlikti bandymai, kai sprogo banga lygi: $2000 \frac{N}{m^2}$, $4000 \frac{N}{m^2}$, $6000 \frac{N}{m^2}$.



19 pav. $2000 \frac{N}{m^2}$ sprogo bangos slėgio veikiamo sklendės aliumininio judamojo elemento deformacija

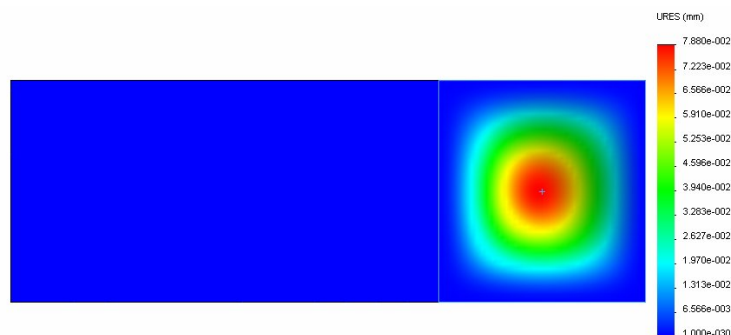


20 pav. $4000 \frac{N}{m^2}$ sprogo bangos slėgio veikiamo sklendės aliumininio judamojo elemento deformacija

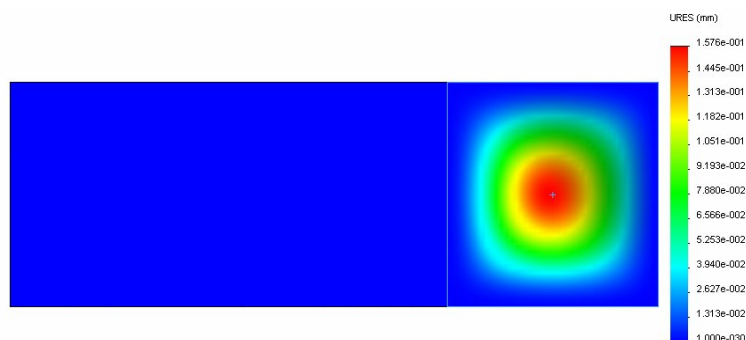


21 pav. $6000 \frac{N}{m^2}$ sprogo bangos slėgio veikiamo sklendės aliumininio judamojo elemento deformacija

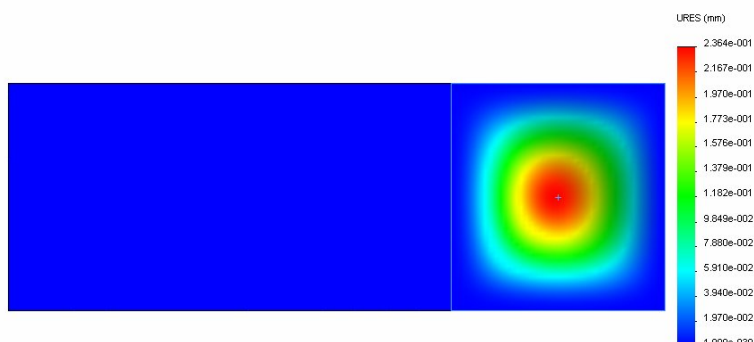
Toliau pateikti atliktų bandymų rezultatai, sumodeliuoti su duralimininiu sklendės judamuoju elementu. Atlikti bandymai kai sprogo bangos slėgio lygi: $2000 \frac{N}{m^2}$, $4000 \frac{N}{m^2}$, $6000 \frac{N}{m^2}$.



15 pav. $2000 \frac{N}{m^2}$ sprogo bangos slėgio veikiamo sklendės duraliuminio judamojo elemento deformacija



16 pav. $4000 \frac{N}{m^2}$ sprogo bangos slėgio veikiamo sklendės duraliuminio judamojo elemento deformacija



17 pav. $6000 \frac{N}{m^2}$ sprogo bangos slėgio veikiamo sklendės duraliuminio judamojo elemento deformacija



XIV-toji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencija
„MOKSLAS – LIETUVOS ATEITIS“

ELEKTRONIKA IR ELEKTROTECHNIKA

PAŽYMA

Asta Inčirauskaitė

*Elektros inžinerijos ir Automatizavimo, robotikos, valdymo
inžinerijos jungtinėje sekcijoje perskaitė pranešimą*

Universaliosios sklendės tiesiaeigės pavaros tyrimas

Mokslo komiteto pirmininkas

Sekcijos pirmininkas

Romanas prof. habil.dr. Romanas Martavičius

Saulius doc. dr. Saulius Lisauskas

2011 m. kovo mėn. 18 d.
Vilnius



CYEInternational
FINLAND ESTONIA LATVIA LITHUANIA RUSSIA

