



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Saulius Austynas

**AZOTO RŪGŠTIES GAMYBOS AGREGATO ORO – AMONIAKO
MIŠINIO PARUOŠIMO PROCESO VALDYMO SISTEMOS
TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Prof. dr. Donatas Levišauskas

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
AUTOMATIKOS KATEDRA

AZOTO RŪGŠTIES GAMYBOS AGREGATO ORO – AMONIAKO
MIŠINIO PARUOŠIMO PROCESO VALDYMO SISTEMOS
TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas
Valdymo technologijos (M3066L21)

Vadovas

Prof. dr. Donatas Levišauskas

Recenzentas

Prof. dr. Rimvydas Simutis

Projektą atliko

Saulius Austynas

KAUNAS, 2015



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Saulius Austynas

(Studento vardas, pavardė)

Valdymo technologijos (M3066L21)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Azoto rūgšties gamybos agregato oro – amoniako mišinio paruošimo proceso valdymo sistemos tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 15 m. gegužės 27 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Sauliaus Austyno** baigiamasis projektas tema „Azoto rūgšties gamybos agregato oro – amoniako mišinio paruošimo proceso valdymo sistemos tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(parašas)

Austynas Saulius. „Azoto rūgšties gamybos agregato oro – amoniako mišinio paruošimo proceso valdymo sistemos tyrimas“. *Magistro* baigiamasis projektas /vadovas prof. dr. Donatas Levišauskas; Kauno technologijos universitetas, elektros ir elektronikos fakultetas, automatikos katedra.

Kaunas, 2015. 48 psl.

SANTRAUKA

Šiame darbe tiriama oro – amoniako mišinio paruošimo proceso valdymo sistema AB „ACHEMA“ veikiančiame azoto rūgšties gamybos agregate. Pateikiama literatūros apžvalga cheminių technologinių procesų valdymui naudojamų valdymo sistemų struktūrų, reguliatorių derinimo tematika. Taip pat išanalizuojamas azoto rūgšties gamybos technologinis procesas. Valdymo požiūriu ištiriamas oro – amoniako mišinio paruošimo technologinis procesas. Tyrimo metu atliekami šuolinės reakcijos eksperimentai azoto rūgšties agregate ir identifikuojami perdavimo funkcijų modeliai, kurie naudojami oro – amoniako mišinio paruošimo metu vykstančių procesų dinamikai modeliuoti. Sudaromas oro – amoniako mišinio paruošimo technologinio proceso valdymo sistemos modelis, suderinami sistemos reguliatorių parametrai ir Matlab/Simulink aplinkoje atliekamas valdymo sistemos veikimo imitacinis modeliavimas. Darbo pabaigoje pateikiamas modeliavimo rezultatų palyginimas ir analizė.

Reikšminiai žodžiai: azoto rūgštis, valdymo sistema, reguliatoriaus derinimas, procesų identifikavimas, tiesioginio ryšio kompensatorius,

Austynas Saulius. „Investigation of Control System of the Air – Ammonia Mixture Preparation Process in the Nitric Acid Production Unit“. Final project of *master's degree* supervisor prof. Donatas Levišauskas; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Automation

Kaunas, 2015. 48 pages.

SUMMARY

In this paper control system of the air – ammonia mixture preparation process in the nitric acid production unit, which operates in SC „Achema“, is investigated. Literature review contains information about control system structures for chemical process control, controller tuning methods and analysis of nitric acid production technological process. From a control point of view air – ammonia mixture preparation process is investigated. When doing investigation, step response experiments were carried out and transfer function models of the processes were identified. In further work, identified transfer functions were used for modeling dynamics of ongoing processes during air – ammonia mixture preparation. A control system model of air – ammonia mixture preparation process was created, controller tuning is accomplished and simulation of control system behaviour is carried out. At the end of this paper an analysis and comparison of simulation results is supported.

Keywords: nitric acid, control system, controller tuning, process identification, feedforward compensator.

TURINYS

1.LITERATŪROS APŽVALGA IR ANALIZĖ	6
1.1 Cheminės technologijos procesų valdymo sistemų struktūros	6
1.1.1. Tiesioginio/grįžtamojo ryšio sistemos	6
1.1.2. Santykio reguliavimo sistemos.....	7
1.1.3. Pakopinės reguliavimo sistemos	8
1.1.4. Adaptyvaus valdymo sistemos	9
1.2 Reguliatorių derinimo metodai	11
1.2.1. Ziegler – Nichols derinimo metodika ir jos modifikacijos	11
1.2.2 Vidinio modelio valdymo derinimo taisyklės	13
1.2.3. ISE, IAE ir ITAE optimizavimo kriterijais paremtos reguliatorių derinimo taisyklės	14
1.3. Azoto rūgšties gamybos technologinio proceso analizė	16
1.3.1. Azoto rūgšties gamyba	16
1.3.2. Nekoncentruotos azoto rūgšties gamyba AB „Achema“ UKL-7 tipo agregatuose	17
1.3.3 UKL-7 agregate Nr.4 vykstančio technologinio proceso aprašymas	18
1.3.4 Oro – amoniako mišinio paruošimo valdymo sistema UKL – 7 agregate Nr.4	20
2. ORO – AMONIAKO MIŠINIO PARUOŠIMO PROCESO KAIP VALDYMO OBJEKTO TYRIMAS	23
2.1. Šuolinės reakcijos eksperimentai perdavimo funkcijų nustatymui.....	23
2.2 Proceso perdavimo funkcijų identifikavimas naudojant eksperimentinius duomenis	25
2.3 Skysto amoniako lygio kitimo amoniako išgarintuve matematinio modelio sudarymas	28
3. ORO – AMONIAKO MIŠINIO PARUOŠIMO AUTOMATINIO VALDYMO SISTEMOS MODELIS	29
3.1. Oro – amoniako mišinio paruošimo valdymo sistemą sudarančių vienkontūrių sistemų modeliavimas ir derinimas	29
3.2. Ryšių tarp valdymo kontūrų įvedimas oro – amoniako mišinio paruošimo valdymo sistemos modelyje.....	31
3.3. Patobulintos oro – amoniako mišinio paruošimo valdymo sistemos modelis	38
3.4 Oro – amoniako mišinio paruošimo valdymo sistemų modelių veikimo palyginimas naudojant realius tiekiamo oro srauto į sumaišytuvą duomenis	42
4. Valdymo sistemų modeliavimo rezultatų palyginimas ir analizė.....	45
IŠVADOS.....	46
INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS.....	47
PRIEDAS Nr.1. Programos tekstas perdavimo funkcijų parametrų identifikavimui.....	48

IVADAS

Darbe tiriama azoto rūgšties gamybos agregato, veikiančio akcinėje bendrovėje „Achema“, oro – amoniako mišinio paruošimo proceso valdymo sistema. Oro – amoniako mišinio paruošimo proceso metu pagaminamas dujų mišinys, kuriame amoniako koncentracija turi atitikti pageidaujamą užduotą vertę. Nuo amoniako koncentracijos oro – amoniako mišinyje priklauso reakcijos, kuri vyksta kontaktiniame aparate greitis ir gaunamų nitrozinių dujų (azoto oksidų, vandens garų ir azoto mišinio) išeiga, todėl labai svarbu kad oro – amoniako mišinio paruošimo proceso valdymo sistema pasižymėtų gera valdymo kokybe ir tiksliai palaikytų nustatytų technologinių parametrų vertes.

Šio tiriamojo projekto tikslai ir uždaviniai:

- Išnagrinėti informacijos šaltinius cheminių technologinių procesų valdymo ir modeliavimo tematika. Apžvelgti cheminės technologijos procesų valdyme naudojamas valdymo sistemų struktūras ir reguliatorių derinimo metodus.
- Išanalizuoti azoto rūgšties gamybos technologinį procesą.
- Išanalizuoti azoto rūgšties agregato oro – amoniako mišinio paruošimo proceso valdymo ypatumus.
- Ištirti valdymo objektą (oro – amoniako mišinio paruošimo procesą) sudaryti jo matematinį modelį.
- Valdomo procesui sudaryti valdymo sistemos modelį.
- Modeliavimo būdu ištirti valdymo sistemos veikimą ekstreminėmis sąlygomis.
- Išanalizavus tyrimų rezultatus pateikti pasiūlymus azoto rūgšties agregato oro – amoniako mišinio paruošimo proceso valdymo sistemos patobulinimui.

Proceso matematiniai modeliui parenkama perdavimo funkcijų forma. Valdymo objektas tiriamas atliekant šuolinės reakcijos eksperimentus. Proceso perdavimo funkcijų dinaminį parametrų nustatymui naudojami skaitmeniniai metodai. Valdymo sistemos imitacinis modelis kuriamas Matlab/Simulink aplinkoje.

1. LITERATŪROS APŽVALGA IR ANALIZĖ

1.1 Cheminės technologijos procesų valdymo sistemų struktūros

Šiame poskyryje glaustai apžvelgiamos pagrindinės chemijos pramonėje naudojamos sudėtingesnių struktūrų valdymo sistemos.

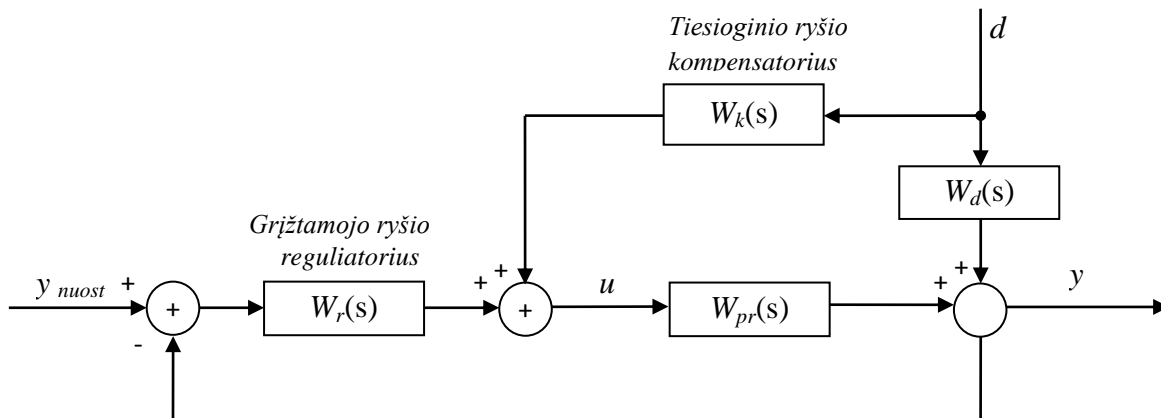
1.1.1. Tiesioginio/grįžtamojo ryšio sistemos

Valdymo sistemoje naudojant tiesioginiu ryšiu paremtą reguliavimą praktikoje sunkiai įgyvendinamas reikalavimas – naudoti labai tikslius proceso modelius. Tačiau taikant šią valdymo struktūrą trikdančiojo poveikio įtaka kompensuojama, dar prieš jam paveikiant proceso išėjimą

Grįžtamojo ryšio valdymo sistemose, nereikia labai tikslių modelių, kadangi proceso išėjimo nuokrypiai kompensuojami nepriklausomai nuo jas sukeliančių priežasčių. Didžiausias grįžtamojo ryšio sistemų trūkumas – valdantis poveikis suformuojamas tik po to kai trikdantysis poveikis sukelia sistemos išėjimo pokytį.

Derinant tiesioginio ir grįžtamojo ryšio valdymo struktūrų elementus, galima sukurti efektyvias reguliavimo sistemas, apjungiančias abiejų reguliavimo principų privalumus ir panaikinančias trūkumus. Tokiose sistemose tiesioginio ryšio regulatorius kompensuoja pagrindinius, greitai besikeičiančius trikdžius, o grįžtamojo ryšio kontūras – tiesioginio ryšio valdymo netikslumus ir nematuojamus trikdančius poveikius.[1]

Tiesioginio/grįžtamojo ryšio valdymo sistemos struktūra pavaizduota 1.1 paveiksle.



1.1 pav. Tiesioginio/grįžtamojo ryšio valdymo sistemos struktūra.

Tiesioginio/grįžtamojo ryšio sistemos uždarojo kontūro perdavimo funkcija:

$$y = \frac{W_r(s)W_{pr}(s)}{1+W_r(s)W_{pr}(s)}y_{nuost} + \frac{W_d(s)+W_k(s)W_{pr}(s)}{1+W_r(s)W_{pr}(s)}d \quad (1)$$

Norint panaikinti trikdžio d poveikį kompensavimo grandis $W_k(s)$ parenkama taip:

$$W_k(s) = -\frac{W_d(s)}{W_{pr}(s)}, \quad (2)$$

Reguliatorių derinimo metu tiesioginio ir grįžtamojo ryšio reguliatoriai derinami nepriklausomai vienas nuo kito.

1.1.2. Santykio reguliavimo sistemos

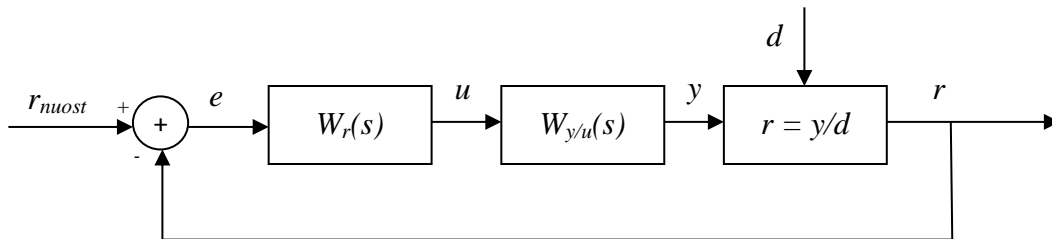
Santykio reguliavimo sistemos naudojamos ten kur reikia palaikyti pastovų dviejų ar daugiau proceso kintamųjų santykį.

Tipinis santykio reguliavimo sistemos pavyzdys yra dviejų tūrinių srautų maišymas nustatytu santykiu. Matuojamas nevaldomas srautas (d) ir manipuluojamas srautas (y). Manipuluojamo srauto vertė yra keičiama taip, kad santykis tarp dviejų srautų išliktų pastovus:

$$r = \frac{y}{d} = r_{nuost} \quad (3)$$

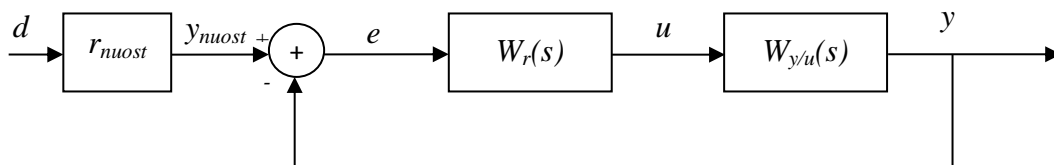
Santykio reguliavimo sistemos realizavimui gali būti naudojamos dvi schemos . [2]

Pirmojoje schemoje (1.2 pav.) naudojamas santykio skaičiavimo blokas, kuriame apskaičiuojama santykio momentinė vertė, padalinant išmatuotas kintamųjų y ir d vertes. Momentinė santykio vertė grįžtamoju ryšiu perduodama į sumavimo elementą, kur palyginama su nustatyta santykio verte r_{nuost} . Santykio reguliatorius pagal apskaičiuotą paklaidą išduoda valdantį poveikį, kuris koreguoja manipuluojamo kintamojo y vertę.



1.2 pav. Santykio reguliavimo sistema, kurioje naudojamas santykio reguliatorius lyginantis r su r_{nuost} .

Antroje schemoje (1.3 pav.) matuojamas nepriklausomas kintamasis d dauginamas iš konstantos – norimo palaikyti santykio vertės r_{nuost} . Sandaugos rezultatas $d \cdot r_{nuost}$ yra manipuluojamojo kintamojo y reguliatoriaus nuostatas y_{nuost} .



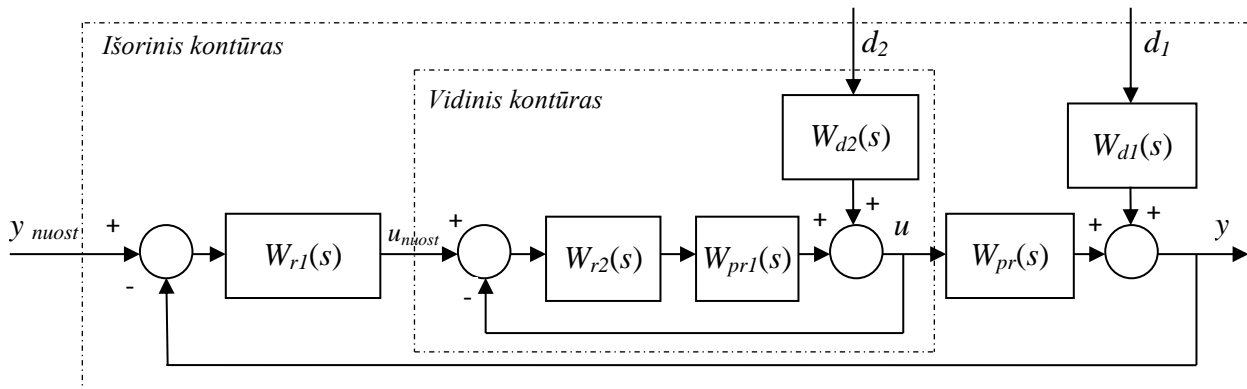
1.3 pav. Santykio reguliavimo sistemos struktūra, kai nustatoma manipuluojamo kintamojo y vertė.

Praktikoje dažniau naudojama 1.3 pav. pavaizduota santykio valdymo sistemos struktūra, nes ji projektuojant ir derinant yra paprastesnė, pasiekama geresnė reguliavimo kokybė keičiant santykio nuostatą. [1]

1.1.3. Pakopinės reguliavimo sistemos

Pakopinio valdymo sistemos gali būti naudojamos, kai turima keletas matavimų ir vienas valdomas kintamasis. Šios sistemos labai naudingos sistemose su ilgais vėlavimo laikais ar laiko pastoviosiomis tarp valdančio poveikio ir valdomo kintamojo. Geresnė valdymo kokybė gali būti pasiekama naudojant tarpinį matuojamą signalą, kuris greičiau reaguoja į valdantį poveikį. [3]

Pakopinis valdymas realizuojamas išdėstant valdymo kontūrus taip kaip 1.4 pav. pavaizduotoje blokinėje diagramoje.



1.4 pav. Pakopinio reguliavimo sistemos struktūra

Pagrindinio proceso išėjimas y , kuris aprašytas perdavimo funkcija $W_{pr}(s)$ yra valdomas regulatoriumi $W_{r1}(s)$, keičiant valdantį poveikį u . Taip veikia pirminis (išorinis) valdymo kontūras. Pirminio reguliavimo kontūro regulatoriaus išėjimo signalas yra antrinio (vidinio) reguliavimo kontūro nuostato signalas. Antrinio reguliavimo kontūro paskirtis yra palaikyti nustatytą valdantįjį poveikį ir kompensuoti trikdantį poveikį d_2 pagrindinio proceso įėjime. Ryšį tarp valdančio poveikio u ir vidinio kontūro regulatoriaus išėjimo nusako perdavimo funkcija $W_{pr1}(s)$. Naudojant vidinį valdymo kontūrą, pirminis valdymo kontūras pagrindinį procesą veikia netiesiogiai.

Pakopinio reguliavimo sistemų realizavimui keliami du pagrindiniai reikalavimai. Visų pirma trikdančiųjų poveikių kompensavimui užtikrinti reikia, kad trikdantieji poveikiai veiktų antrinio kontūro viduje. Antras reikalavimas nurodo, kad antrinio kontūro regulatorius turi būti suderintas taip, kad reakcija į trikdančius poveikius būtų daug greitesnė už pirminio kontūro, nes priešingu atveju valdantysis poveikis sureguliuojamas vėliau, negu paveikia pagrindinio proceso išėjimą. [1]

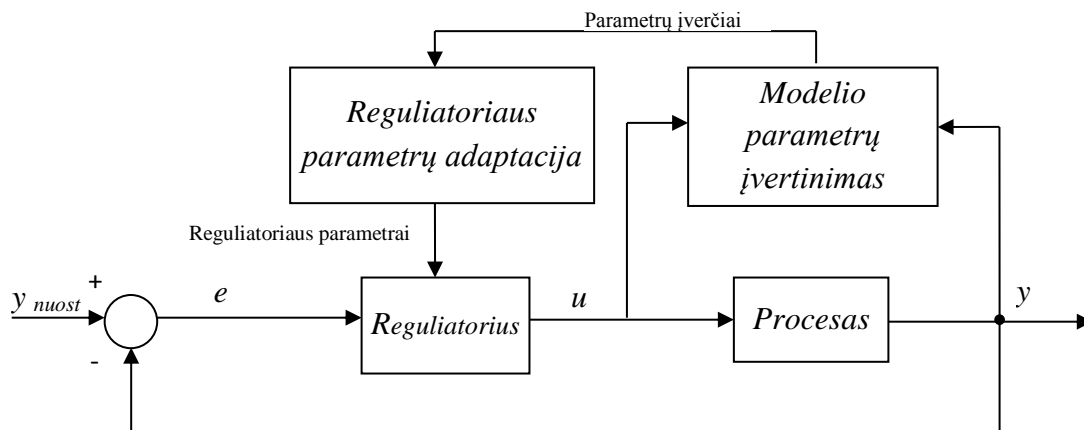
Pakopinės reguliavimo sistemos derinamos dviem etapais. Visų pirma derinamas vidinio kontūro reguliatorius, siekiant gauti kuo greitesnę vidinio kontūro reakciją. Vėliau derinamas išorinio kontūro reguliatorius ekvivalentinio proceso, sudaryto iš vidinio kontūro ir pagrindinio proceso, atžvilgiu. Išorinio kontūro derinimui galima naudoti vienkontūrių sistemų derinimo metodus.

1.1.4. Adaptyvaus valdymo sistemos

Kintančios dinamikos procesų valdymui pastovių parametru reguliatoriai negali užtikrinti geros valdymo kokybės, todėl naudojamos adaptyvaus valdymo sistemos. Naudojant terminą adaptyvus valdymas, turimas omenyje reguliatorius, kurio parametrai nuolatos keičiami atitinkamai pagal proceso ir trikdančių poveikių pokyčius. Parametru adaptacija gali vykti realiu laiku (on-line) arba gali būti numatyta iš anksto (off-line).

Egzistuoja du adaptyvių reguliatorių, kuriuose parametru adaptacija vykdoma realiu laiku, tipai – reguliatorius paremtas tiesioginiu adaptacijos metodu ir reguliatorius paremtas netiesioginiu adaptacijos metodu. Naudojant tiesioginį metodą reguliatoriaus parametrai atnaujinami tiesiogiai pagal informaciją gaunamą uždaro kontūro veikimo metu. Naudojant netiesioginius metodus vyksta nuolatinis proceso modelio parametru įvertinimas ir pagal atnaujintą proceso modelį reguliatoriaus parametrai atnaujinami, naudojant tam tikrą reguliatoriaus parametru adaptacijos algoritmą. Tiesioginio adaptyvaus valdymo tipinis pavyzdys yra valdymo sistema, kurioje naudojamas susiderinantysis (self-tuning) reguliatorius. Proceso modeliu paremta valdymo sistema yra tipinis netiesioginės adaptacijos pavyzdys. [3]

Netiesioginio derinimo adaptyvaus valdymo sistemos blokinė schema pavaizduota 1.5 pav.



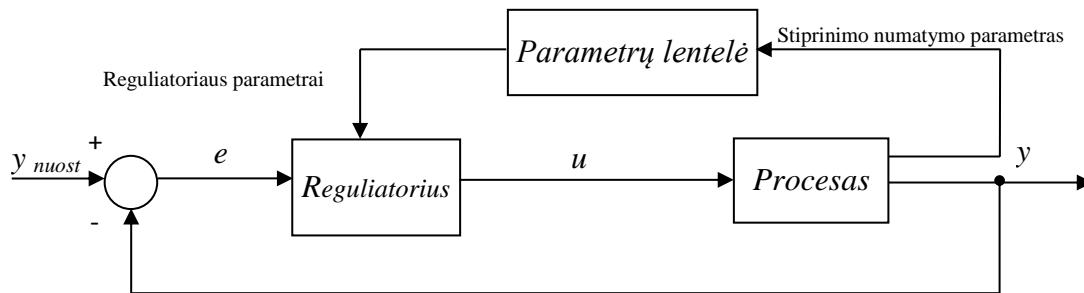
1.5 pav. Netiesioginio adaptyvaus valdymo sistemos blokinė schema

Sistemos, kurių reguliatorių parametru adaptacija vykdoma realiu laiku, plačiai naudojamos pH valdyme. [4]

Jei proceso dinamikos pokyčiai gali būti prognozuojami, realaus laiko reguliatoriaus parametru identifikavimas yra nepraktiškas. Šiuo atveju gali būti naudojamos stiprinimo numatymo (*gain scheduling*) valdymo sistemos.

Valdymo sistemose su stiprinimo numatymu reguliatoriaus derinimo parametrus galima numatyti iš anksto atliekant testus su valdomu objektu skirtinguose darbo taškuose. Proceso dinamika nustatoma esant skirtingoms veikimo sąlygoms ir kiekvienam atskiram darbo taškui numatomi atitinkami reguliatoriaus derinimo parametrai. Kai procesas pereina iš vieno darbinio taško į kitą, reguliatoriaus parametrai automatiškai pakeičiami naujais, pritaikytais atitinkamam darbo taškui. Regulatoriai, kuriuose taikomas stiprinimo numatymas dažnai vadinami atviro kontūro – adaptyviais regulatoriais (*open loop – adaptive controllers*). Stiprinimo numatymas dažnai naudojamas periodiniuose procesuose, kur darbo sąlygos kinta plačiose ribose, ir procesuose, kur gaminami skirtingų rūšių produktai naudojant tą pačią įrangą.[4]

Paprastos stiprinimo numatymo valdymo sistemos blokinė schema pateikta 1.6 paveiksle.



1.6 pav. Valdymo sistemos, kuri paremta stiprinimo numatymu struktūra

Pavaizduotoje valdymo sistemos struktūroje stiprinimo numatymo parametru parinktas vidinis proceso kintamasis, tačiau projektuojant sistemą juo gali būti pasirinktas ir proceso išėjimo signalas ar valdantysis poveikis. Automatinis reguliatorių derinimas, gali ženkliai sumažinti inžinerinio darbo sąnaudas projektuojant stiprinimo numatymo sistemas, kadangi numatymas tuomet gali būti nustatomas eksperimentiškai. Pradžioje apibrėžiamas stiprinimo numatymo kintamasis. Jo kitimo diapazonas išskaidomas į atskiriems diskretiniams darbo taškams. Po to reguliatoriaus parametrai nustatomi naudojant automatinį derinimą, kai sistema veikia viename atskirame darbo taške. Nustatyti parametrai patalpinami į stiprinimo numatymo parametru lentelę. Procedūra kartojama su visais darbo taškais. Šiuo būdu labai patogu įdiegti stiprinimo numatymą į kompiuterinę valdymo sistemą užprogramuojant lentelę reguliatoriaus parametru patalpinimui ir išėmimui, bei atitinkamas komandas šių veiksmų vykdymui. [3]

1.2 Reguliatorių derinimo metodai

Derinant sudėtingų daugiakontūrių valdymo sistemų reguliatorius įprasta sistemą išskaidyti į atskiras vienkontūres sistemas ir kiekvieno atskiro valdymo sistemos kontūro reguliatorių derinti atskirai. Šiame poskyryje apžvelgiami žinomiausi vienkontūrių automatinio reguliavimo sistemų derinimo metodai tolydiesiems P, PI ir PID reguliatoriams iš šių derinimo metodų savybės.

1.2.1. Ziegler – Nichols derinimo metodika ir jos modifikacijos

1942 mokslininkai *J. G. Ziegler* ir *N.B. Nichols* pateikė du klasikinius PID reguliatorių parametrų nustatymo metodus. Šie metodai bei jų modifikacijos iki šiol gana plačiai naudojami. *Ziegler – Nichols* metodai paremti proceso dinamikos savybėmis. Reguliatorių parametrai apskaičiuojami į išvestas derinimo formules įstatant valdomo objekto dinamines savybes atspindinčius parametrus. Derinimo taisyklės sudarytos taip, kad svyravimų amplitudės slopinimo santykis neviršytų 0,25. [1][3]

Pirmasis metodas paremtas sistemos atviro kontūro vienetine šuoline reakcija. Pirmiausia nustatomas taškas kuriame reakcijos nuolydis yra maksimalus. Per šį tašką brėžiama liestinė ir susikirtimo vietose su koordinatinių ašimis nustatomi parametrai a ir τ_{pr} , kurie apibūdina stiprinimą ir vėlavimą. *Ziegler – Nichols* šuolinės reakcijos metodo formulės reguliatorių derinimui pateikiamos 1.1 lentelėje:

1.1 lentelė: Reguliatorių parametrų nustatymas Ziegler – Nichols šuolinės reakcijos metodu

Regulatorius	K	Ti	Td
P	1/a		
PI	0.9/a	$3\tau_{pr}$	
PID	1.2/a	$2\tau_{pr}$	$\tau_{pr}/2$

Ziegler – Nichols dažninės reakcijos metodas paremtas proceso dažninės reakcijos parametrų K_u ir T_u nustatymu. Parametrai K_u ir T_u gali būti nustatomi PID reguliatoriaus parametrus nustatant – $T_i = \infty$, $T_d = 0$, po to pamažu didinant reguliatoriaus stiprinimo koeficientą kol procese atsiranda svyravimai. Tuomet stiprinimas lygus K_u , o svyravimų periodas T_u . [3]

Ziegler – Nichols dažninės reakcijos metodo reguliatorių parametrų nustatymo formulės pateikiamos 1.2 lentelėje.

1.2 lentelė: Reguliatorių parametrų nustatymas Ziegler – Nichols dažninės reakcijos metodu

Regulatorius	K	Ti	Td
P	$0.5K_u$		
PI	$0.4K_u$	$0.8T_u$	
PID	$0.6K_u$	$0.5T_u$	$0.125T_u$

Derinant reguliatorių parametrus *Ziegler – Nichols* metodais, reguliatorių parametrai nustatomi tik apytiksliai. Norint pasiekti geresnę valdymo kokybę reguliatorių parametrus tenka koreguoti.

Panašias į *Ziegler – Nichols* reguliatorių derinimo taisykles, paremtas dažninės reakcijos metodu PI ir PID reguliatoriams sudarė *B.D. Tyreus* ir *W.L. Luyben*. Šiuo metodu suderintos sistemos turi didesnę uždaro kontūro slopinimo koeficientą ir didesnę laiko pastoviają. *Tyreus - Luyben* metodas geriau tinka cheminės technologijos procesams valdyti. [2]

Tyreus - Luyben dažninės reakcijos metodo reguliatorių parametų nustatymo formulės pateikiamos 1.3 lentelėje.

1.3 lentelė: *Reguliatorių parametų nustatymas Tyreus - Luyben dažninės reakcijos metodu*

Reguliatorius	K	Ti	Td
PI	$K_u/3.2$	$2.2T_u$	
PID	$K_u/2.2$	$2.2T_u$	$T_u/6.3$

Modifikuotas *Ziegler – Nichols* šuolinės reakcijos metodu paremtas derinimo taisykles taip pat sudarė *K. L. Chien, J.A. Hrones* ir *J.B. Reswick*. Jie pasiūlė naudoti „greičiausią reakciją, be perreguliuavimo“ arba „greičiausią reakciją, su 20% perreguliuavimu“ kaip projektavimo kriterijų. Taip pat *Chien, Hrones* ir *Reswick* pastebėjo, kad derinant reguliatorių nuostato sekimui ir trikdžio kompensavimui reikia naudoti skirtingus parametrus. [3]

Chien, Hrones, Reswick šuolinės reakcijos metodo reguliatorių parametų nustatymo formulės nuostato sekimui ir trikdančiųjų poveikių kompensavimui, reakcijai su 0% arba 20% perreguliuavimu gauti, pateikiamos 4 lentelėje.

1.4 lentelė: *Reguliatorių parametų nustatymas Chien, Hrones, Reswick metodu*

Perreguliuavimas	0%			20%		
	K	Ti	Td	K	Ti	Td
Nuostato sekimas						
P	0.3a			0.7/a		
PI	0.35/a	$1.2\tau_{pr}$		0.6/a	τ_{pr}	
PID	0.6/a	τ_{pr}	$0.5\tau_{pr}$	0.95/a	$1.4\tau_{pr}$	$0.47\tau_{pr}$
Trikdžių kompensavimas						
P	0.3/a			0.7/a		
PI	0.6/a	$4\tau_{pr}$		0.7/a	$2.3\tau_{pr}$	
PID	0.95/a	$2.4\tau_{pr}$	$0.42\tau_{pr}$	1.2/a	$2\tau_{pr}$	$0.42\tau_{pr}$

42% PI ir 37% PID reguliatorių derinimo taisyklių sudaryta pirmos eilės su vėlavimu modeliams [5]. Šiam modeliui transformuotos ir *Ziegler – Nichols* derinimo taisyklės, tačiau tikslesnes derinimo taisykles su 0.25 slopinimo laipsniu sudarė *G.H. Cohen* ir *G. A. Coon*. Šias

derinimo taisyklės rekomenduojama taikyti tada kai vėlavimo trukmės ir laiko pastoviosios santykis yra diapazone $0.1 < (\tau_{pr}/T_{pr}) < 1$.

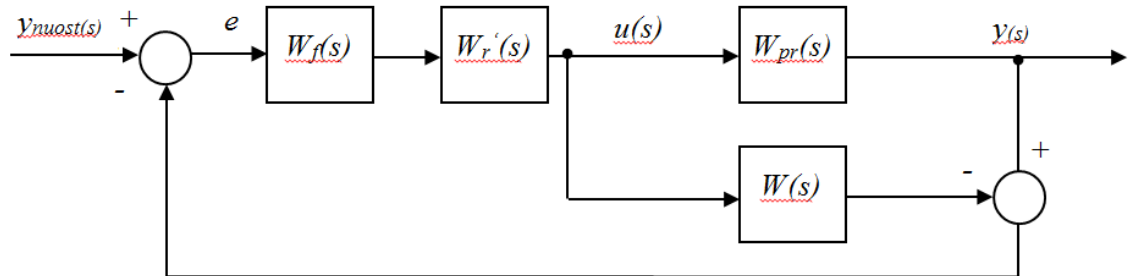
Cohen ir Coon derinimo taisyklės pateikiamos 1.5 lentelėje:

1.5 lentelė: Reguliatorių parametrų nustatymas Cohen ir Coon metodu

Regulatorius	K	Ti	Td
P	$\frac{T_{pr}}{K_{pr}\tau_{pr}} \left(1 + \frac{\tau_{pr}}{3T_{pr}}\right)$		
PI	$\frac{T_{pr}}{K_{pr}\tau_{pr}} \left(0.91 + \frac{\tau_{pr}}{12T_{pr}}\right)$	$\frac{30 + 3\tau_{pr}/T_{pr}}{9 + 20\tau_{pr}/T_{pr}} \tau_{pr}$	
PID	$\frac{T_{pr}}{K_{pr}\tau_{pr}} \left(1.33 + \frac{\tau_{pr}}{4T_{pr}}\right)$	$\frac{32 + 6\tau_{pr}/T_{pr}}{13 + 8\tau_{pr}/T_{pr}} \tau_{pr}$	$\frac{4}{11 + 2\tau_{pr}/T_{pr}} \tau_{pr}$

1.2.2 Vidinio modelio valdymo derinimo taisyklės

Vidinio modelio valdymo derinimo taisyklės yra populiarus ir paplitęs reguliatorių derinimo metodas. Mokslininkas *D. E. Rivera* 1986 metais parodė, kaip grįžtamojo ryšio reguliatoriams gali būti sudarytos naudojant vidinio modelio valdymą. Vidinio modelio valdymo blokinė schema pateikiama 1.7 paveiksle.



1.7 pav. Vidinio modelio valdymo sistemos blokinė schema

Blokinėje schemoje $W(s)$ yra proceso perdavimo funkcijos $W_{pr}(s)$ modelio perdavimo funkcija. Grįžtamojo ryšio reguliatorius sudarytas iš trijų blokų – vidinio modelio $W(s)$, reguliuojamo filtro $W_f(s)$ ir dinaminio kompensatoriaus $W_r'(s)$. Filtru dažniausiai naudojama pirmos eilės grandis su koreguojama laiko pastoviąja. Vidinio modelio derinimo taisyklių tikslas yra suderinti PID reguliatoriaus veikimą su vidinio modelio reguliatoriaus veikimu. [6]

Vidinis modelis ir kompensatorius kuriami atsižvelgiant į valdomo proceso pobūdį. Iš blokinės diagramos (1.7 pav.) reguliatoriaus išėjimas yra:

$$u(s) = W_r'(s)W_f(s)[y_{nuost}(s) - y(s) + W(s)u(s)] \quad (4)$$

Išspręsdus pagal $u(s)$ ir pertvarkius gaunama reguliatoriaus perdavimo funkcija:

$$W_r(s) = \frac{W_r'(s)W_f(s)}{1 - W_r'(s)W(s)W_f(s)} \quad (5)$$

Naudojamo eksponentinio filtro perdavimo funkcija:

$$W_f(s) = \frac{1}{T_f s + 1} \quad (6)$$

Vidinis modelis $W(s)$ parenkamas toks, kad atitiktų realaus proceso perdavimo funkciją $W_{pr}(s)$, dinaminis kompensatorius $W_r'(s)$ parenkamas atitinkamai pagal proceso modelį (apytikslė modelio inversija), nenaudojant elementų kurie yra sunkiai realizuojami arba gali sukelti nestabilumą pvz. vėlavimai. Svarbus reikalavimas yra kad $W_r'(s)$ stiprinimas tiksliai atitiktų proceso modelį. [7]

Paprastai reguliatoriaus (5) perdavimo funkcija yra aukštos eilės, bet naudojant paprastus modelius galima gauti PI ar PID reguliatorius. Pakeitus vidinio modelio reguliatorių PI arba PID reguliatoriumi ir nustačius reguliatorių parametrus atitinkančius vidinio modelio reguliatoriaus perdavimo funkcijos parametrus galima pasiekti reguliavimo kokybę panašią į vidinio modelio valdymo sistemos kokybę. [1]

Įvairiems procesų modeliams yra išvestos atskiros reguliatorių parametrų nustatymo formulės. Pirmos eilės su vėlavimu modeliui sudarytos derinimo taisyklės pavaizduotos 1.6 lentelėje.

1.6 lentelė: Vidinio modelio valdymo derinimo taisyklės 1-os eilės su vėlavimu modeliui

Regulatorius	K	T_i	T_d	T_f ($T_f > 0.2T_{pr}$)
PI	$\frac{T_{pr}}{K_{pr}T_f}$	T_{pr}		$\frac{T_f}{\tau_{pr}} > 1.7$
PI (patikslintas)	$\frac{2T_{pr} + \tau_{pr}}{2K_{pr}T_f}$	$T_{pr} + \frac{\tau_{pr}}{2}$		$\frac{T_f}{\tau_{pr}} > 1.7$
PID	$\frac{2T_{pr} + \tau_{pr}}{2K_{pr}(T_f + \tau_{pr})}$	$T_{pr} + \frac{\tau_{pr}}{2}$	$\frac{T_{pr}\tau_{pr}}{2T_{pr} + \tau_{pr}}$	$\frac{T_f}{\tau_{pr}} > 0.25$

Valdymo sistemos, kuriose reguliatoriai suderinti taikant vidinio modelio valdymo metodą, labai gerai reaguoja į nuostato pokyčius ir prasčiau į trikdančių poveikių pokyčius. Šiose sistemose, koreguojant derinimo parametą T_f galima pasiekti kompromisą tarp sistemos nejautrumo ir greitaveikiškumo.

1.2.3. ISE, IAE ir ITAE optimizavimo kriterijais paremtos reguliatorių derinimo taisyklės

PID reguliatoriai, kurių struktūra ir parametrai yra nekintantys, sėkmingai projektuojami naudojant optimizavimo metodus. Suformuluotam optimizavimo kriterijui sudaroma tikslo funkcija, kuri sieja optimizavimo kriterijų su optimizuojamais reguliatoriaus parametrais ir įvedami

apribojimai. Sudarytas optimizavimo uždavinys sprendžiamas naudojant žinomus optimizavimo metodus.

Daug reguliatorių derinimo metodų sudaryta integraliniams optimizavimo kriterijams, kurie minimizuoja paklaidą tarp nuostato ir sistemos išėjimo. Pagrindiniai integraliniai kriterijai yra absoliutinės paklaidos integralas (IAE), kvadratinės paklaidos integralas (ISE) ir absoliutinės paklaidos su laiko svoriniu koeficientu integralas (ITAE). Reguliatorių parametų nustatymo formulės nuostato sekimui, taikant ISE, IAE ir ITAE kriterijus, pirmos eilės su vėlavimu valdomam objektui pateikiamos 1.7 lentelėje.

1.7 lentelė: ISE, IAE ir ITAE kriterijų derinimo taisyklės 1-os eilės su vėlavimu modeliui

Regulatorius	K	Ti	Td
ISE kriterijus			
PI	$\frac{1.279}{K_{pr}} \left(\frac{T_{pr}}{\tau_{pr}} \right)^{0.945}$	$\frac{T_{pr}}{0.535} \left(\frac{\tau_{pr}}{T_{pr}} \right)^{0.586}$	
PID	$\frac{1.473}{K_{pr}} \left(\frac{T_{pr}}{\tau_{pr}} \right)^{0.970}$	$\frac{T_{pr}}{1.115} \left(\frac{\tau_{pr}}{T_{pr}} \right)^{0.753}$	$0.55T_{pr} \left(\frac{\tau_{pr}}{T_{pr}} \right)^{0.948}$
IAE kriterijus			
PI	$\frac{0.758}{K_{pr}} \left(\frac{T_{pr}}{\tau_{pr}} \right)^{0.861}$	$\frac{T_{pr}}{\left(1.02 - 0.323 \left(\frac{\tau_{pr}}{T_{pr}} \right) \right)}$	
PID	$\frac{1.086}{K_{pr}} \left(\frac{T_{pr}}{\tau_{pr}} \right)^{0.869}$	$\frac{T_{pr}}{\left(0.74 - 0.13 \left(\frac{\tau_{pr}}{T_{pr}} \right) \right)}$	$0.348T_{pr} \left(\frac{\tau_{pr}}{T_{pr}} \right)^{0.914}$
ITAE kriterijus			
PI	$\frac{0.586}{K_{pr}} \left(\frac{T_{pr}}{\tau_{pr}} \right)^{0.916}$	$\frac{T_{pr}}{\left(1.03 - 0.165 \left(\frac{\tau_{pr}}{T_{pr}} \right) \right)}$	
PID	$\frac{0.965}{K_{pr}} \left(\frac{T_{pr}}{\tau_{pr}} \right)^{0.855}$	$\frac{T_{pr}}{\left(0.796 - 0.147 \left(\frac{\tau_{pr}}{T_{pr}} \right) \right)}$	$0.308T_{pr} \left(\frac{\tau_{pr}}{T_{pr}} \right)^{0.929}$

Daug autorių yra pateikę skirtingas reguliatorių derinimo formules pagal IAE, ISE ir ITAE optimizavimo kriterijus. Įvairios derinimo formulės išvestos atliekant didelės apimties skaičiavimus ir pritaikytos įvairiems proceso dinaminų parametų įverčių diapazonams. Taip pat skirtingai apskaičiuojami regulatoriaus derinimo parametrai nuostato sekimo ir trikdžio kompensavimo sistemoms. Integraliniais kriterijais paremtos derinimo taisyklės yra geras reguliatorių derinimo pasirinkimas, kai turimas tikslus procesą aproksimuojantis modelis.

1.3. Azoto rūgšties gamybos technologinio proceso analizė

Darbe tiriama oro – amoniako mišinio paruošimo sistema, kuri yra viena iš azoto rūgšties gamybos technologinio proceso stadijų AB „Achema“ eksploatuojamuose UKL-7 azoto rūgšties gamybos agregatuose. Šiame poskyryje glaustai pateikiama bendra informacija apie azoto rūgšties gamybos raidą pasaulyje bei jos gamybos metodus. Plačiau išnagrinėjamas azoto rūgšties gamybos technologinis procesas, kuris vyksta UKL – 7 agregatuose bei tiriamoji oro – amoniako mišinio paruošimo sistema.

1.3.1. Azoto rūgšties gamyba

Azoto rūgštis yra viena iš svarbiausių rūgščių, pagal gamybos apimtį pasaulyje užimanti antrą vietą po sieros rūgšties. Pagrindiniai azoto rūgšties vartotojai yra žemės ūkio, sintetinių dažų ir sprogstamųjų medžiagų pramonė. 75 – 85 % visos pagaminamos azoto rūgšties sunaudojama mineralinių trąšų gamyboje. Žemės ūkyje naudojamos azoto rūgšties druskos, daugiausia kaip amonio nitratas - amonio salietra, pagaminama neutralizuojant azoto rūgštį amoniaku. Taip pat azoto rūgštis naudojama kompleksinių trąšų gamyboje, kur gamtiniai fosfatai skaidomi azoto rūgštimi, ir kai kurioms kitoms ūkinėms reikmėms. ([8],[9], [10])

Iki I pasaulinio karo azoto rūgštis buvo gaminama iš Čilės salietros (NaNO_3) veikiant ją sieros rūgštimi. Šis gamybos būdas šiuo metu visiškai nebepraktikuojamas, nes atrasti būdai kaip gauti azoto junginius, taip pat azoto rūgštį iš oro azoto.[9]

XX a. pradžioje pavyko suoksidinti oro azotą elektros lanko liepsnoje 3500-4000 °C temperatūroje, tačiau dėl didelių elektros sąnaudų šis būdas nepaplito.

1838 m. *F. Kuhlman* įrodė, kad leidžiant amoniako ir oro mišinį pro įkaitintos platinos plėvelę gaunamas azoto oksidas.

XX a. pradžioje *W. Ostwald* technologiniu būdu iš kokso dujų amoniako gavo azoto rūgštį. Azoto rūgšties gamyba iš sintetinio amoniako pradėjo intensyviau vystytis nuo 1915 metų. Ostvaldo metodas yra šiuo metu labiausiai pasaulyje paplitęs pramoninės azoto rūgšties gamybos būdas. [8]

Naudojami du pagrindiniai azoto rūgšties gamybos iš amoniako būdai:

- 1) praskiestos azoto rūgšties gamyba ir jos koncentravimas.
- 2) koncentruotos azoto rūgšties gamyba.

Koncentruota azoto rūgštis gaminama tiesiogiai iš suskystintų azoto oksidų, vandens ir deguonies, esant dideliame slėgiui ir 80 °C temperatūrai.

Pasaulyje labiau paplitusi praskiestos azoto rūgšties gamyba ir po jos sekantis azoto rūgšties koncentravimas (jeigu reikia). Koncentruota azoto rūgštis gaunama distiliuojant nekoncentruotos azoto rūgšties ir koncentruotos sieros rūgšties mišinį, esant apie 5 MPa slėgiui. [8]

Praskiesta azoto rūgštis gaminama atmosferos arba didesniame slėgyje. Atmosferos slėgio sistemose gaunama tik 45 – 50 % koncentracijos azoto rūgštis, be to reikia daug gremėzdiškos aparatūros. Didesnio slėgio sistemose gaunama stipresnė azoto rūgštis (~55 %) sumažėja aparatų matmenys ir kapitalinės investicijos, tačiau dideli platinos katalizatoriaus nuostoliai. [9]

1.3.2. Nekoncentruotos azoto rūgšties gamyba AB „Achema“ UKL-7 tipo agregatuose

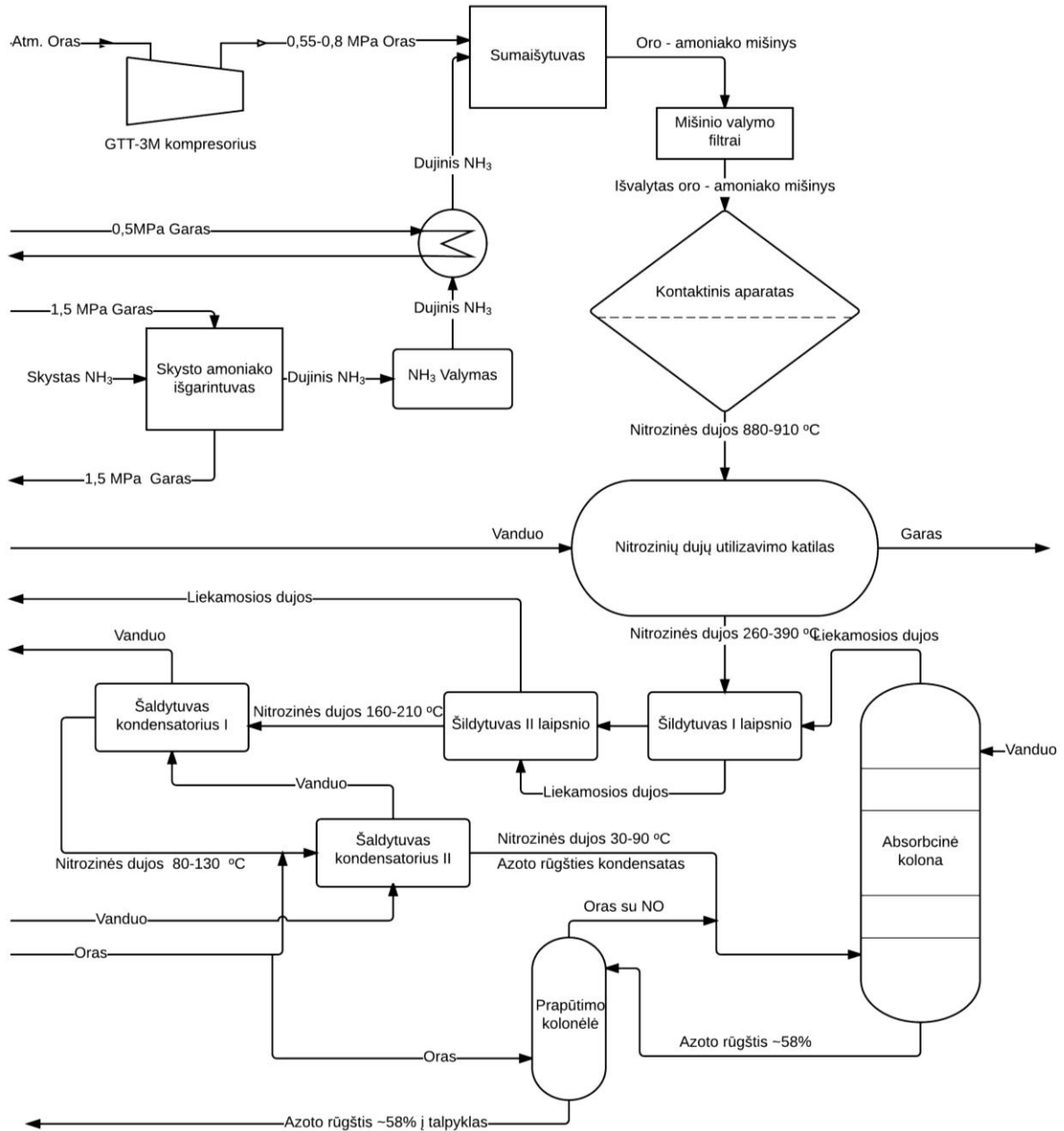
AB „Achema“ veikia devyni UKL-7 tipo azoto rūgšties gamybos agregatai. Pirmieji trys pradėti eksploatuoti 1972 m., ketvirtas agregatas – 1975 m., penktas – 1977 m., šeštas - 1985 m., septintas ir aštuntas – 2003 m., devintas – 2008 m. Vieno agregato gamybinis pajėgumas yra 120 tūkstančių tonų azoto rūgšties per metus, perskaičius į šimtaprocentinę azoto rūgštį. Vidutiniškai per valandą vienas agregatas pagamina 14,8 tonų azoto rūgšties.

Azoto rūgšties gamybos metodo esmę sudaro dujinio amoniako katalitinis oksidavimas oro deguonimi, esant 0,55 - 0,8 MPa slėgiui, azoto oksidų absorbcija chemiškai valytu vandeniu, katalitinis nuo azoto oksidų valymas iš liekamųjų dujų ir išvalytų liekamųjų dujų energijos utilizacija GTT-3M turbinoje.

Nekoncentruotos azoto rūgšties gamybos technologinį procesą sudaro tokios pagrindinės stadijos:

- Oro paruošimas ir suslėgimas.
- Dujinio amoniako paruošimas.
- Oro - amoniako mišinio paruošimas.
- Amoniako oksidavimas, selektyvus azoto suboksido išvalymas iš nitrozinių dujų ir nitrozinių dujų atšaldymas.
- Azoto oksidų absorbcija.
- Selektvus azoto oksidų išvalymas iš liekamųjų dujų ir išvalytų liekamųjų dujų šilumos ir slėgio rekuperacija.
- Azoto rūgšties sandėliavimas. Tiekimas vartotojams. [10]

Supaprastinta azoto rūgšties gamybos technologinė schema pateikiama 1.8 paveiksle.



1.8 pav. Azoto rūgšties gamybos agregato UKL – 7 technologinė schema

1.3.3 UKL-7 agregate Nr.4 vykstančio technologinio proceso aprašymas

Šiame poskyryje aprašoma 1.8 pav. pavaizduota technologinė schema.

Atmosferos oras, ašiniu dujų turbinos GTT-3M kompresoriumi, siurbiamas per oro valymo aparato įsiurbimo vamzdį vykstant dviejų laipsnių valymui. Iš oro valymo aparato oras patenka į agregato GTT-3M ašinio kompresoriaus įsiurbimą. Kompresoriuje oras suslegiamas ir toliau

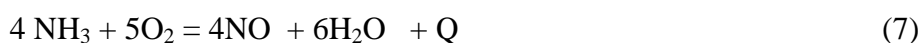
atšaldomas grįžtamo ciklo vandeniu oro šaldytuve. Atšaldytas oras papildomai suslegiamas slėgtuve. Po slėgtuvo didžioji dalis oro nukreipiama į technologinį ciklą, likusi dalis panaudojama saviems GTT-3M poreikiams. Į technologijos ciklą nukreiptas oras išskaidomas į kelis srautus: į maišytuvą, į prapūtimo kolonėlę ir į liniją po šaldytuvo – kondensatoriaus. Esant pastoviai aplinkos oro temperatūrai ir barometriniam slėgiui, nepriklausomai nuo rūgšties gamybos technologijos apkrovimo pokyčių, oro kompresorius veikia pastoviu našumu. [10]

Dujinis amoniakas gaunamas išgarinant skystą amoniaką garintuve ir ruošiant dujinio amoniako paruošimo mazge. Skystas amoniakas tiekiamas į garintuvą iš bendrojo cecho kolektoriaus. Garintuve palaikomas pastovus skysto amoniako lygis. Lygio valdymo mechanizmas sumontuotas skysto amoniako vamzdyje, įėjimo į garintuvą vietoje. Amoniakas garinamas, šildant garintuvo gyvatuką garu. Garintuve palaikomas pastovus slėgis, keičiant tiekiamo garo kiekį į garintuvą. Iš garintuvo dujinis amoniakas nukreipiamas į filtrą, kuriame išvalomas nuo tepalo ir mechaninių priemaišų stiklo pluošto filtruose. Išvalytas dujinis amoniakas nukreipiamas į šildytuvą, kuriame pašildomas garu. Pastovi temperatūra palaikoma, keičiant paduodamo garo kiekį į šildytuvą. Pašildytas šildytuve dujinis amoniakas per reguliuojantį vožtuvą nukreipiamas į maišytuvą. [10]

Slėgtuve suslėgtas oras paduodamas į maišytuvą. Maišytuve oras ir dujinis amoniakas sumaišomi sumaišymo grotelėse. Amoniako tūrio procentinė dalis amoniako-oro mišinyje palaikoma pastovi - 9,5 – 10,6.

Gautas oro – amoniako mišinys filtruojamas filtravimo elementuose, kuriuose filtruojančiu elementu naudojama ultra smulki stiklo vata. [10]

Po filtravimo oro – amoniako mišinys nukreipiamas į kontaktinį aparatą, kuriame platinos – paladžio – rodžio lydinio katalizatoriaus tinkluose (ant pirminio katalizatoriaus) vyksta amoniako oksidavimas oro deguonimi iki azoto oksido. Kontaktiniame aparate, degant amoniakui su oru, galimos įvairios reakcijos:



Šios reakcijos yra egzoterminės (išskiriančios šilumą) ir praktiškai negrįžtamos. Reakcijos (7) greitis didžiausias ir azoto oksido išėiga didžiausia naudojant platinos-paladžio arba platinos-paladžio-rodžio katalizatorius. Reakcijos (7) azoto oksidų išėigai turi įtakos keletas faktorių:

- Temperatūra – kylant reakcijos temperatūrai iki 910 °C, oksidų išeiga didėja, didėja reakcijos greitis ir sureagavusio amoniako kiekis;
- Slėgis – pakilus slėgiui azoto oksidų išeiga mažėja, tačiau padidėja agregato galingumas;
- Amoniako koncentracija – koncentracijai mišinyje pakilus iki 12 %, azoto oksidų išeiga sumažėja;
- Amoniako-oro mišinio užterštumas tepalu ir mechaninėmis priemaišomis – priemaišos užteršia katalizatorių, konversijos laipsnis žemėja. [8]

Oksidacijos metu azoto oksidų išeiga, skaičiuojant nuo oksiduojamo amoniako kiekio, turi būti 91 – 94 %. Kontaktiniame aparate po pirminio katalizatoriaus susidaręs azoto oksidų, vandens garų ir azoto mišinys vadinamas nitrozinėmis dujomis. Pagal (8) reakciją susidaręs azoto suboksidas (N₂O) priskiriamas šiltnamio efektą sukeliančioms dujoms ir išvalomas nitrozinėms dujoms praeinant per antrinę selektyvų N₂O mažinimo katalizatorių. Po išvalymo nuo N₂O, nitrozinės dujos nukreipiamos į katilą – utilizatorių.

Dviejų priešingų dujinio srauto krypčių nitrozinių dujų utilizavimo katile, nitrozinėms dujoms vėstant, išgarinamas vanduo ir pagaminamas perkaitintas garas. Utilizavimo katile, pagal (7) reakciją susidaręs azoto oksidas (NO) toliau oksiduojasi į NO₂, išskirdamas šilumą.

Išėjusios iš utilizatoriaus nitrozinės dujos šaldomos dvejais laipsniais liekamųjų dujų šildytuvuose. Po šildytuvo nitrozinės dujos patenka į šaldytuvą - kondensatorių, kuriame atšaldomos grįžtamo ciklo vandeniu. Vėliau nitrozinės dujos sumaišomos su papildomu oru paduodamu į vamzdį po šaldytuvo ir šaldomos antrame šaldytuve-kondensatoriuje. Krintant temperatūrai, nitrozinėse dujose pradeda kondensuotis vandens garai ir susidaro 40-50 % koncentracijos azoto rūgštis. Kondensatoriai šaldomi grįžtamojo ciklo vandeniu. Išėjusios iš šaldytuvo – kondensatoriaus nitrozinės dujos, nukreipiamos į absorbcinės kolonos apačią.

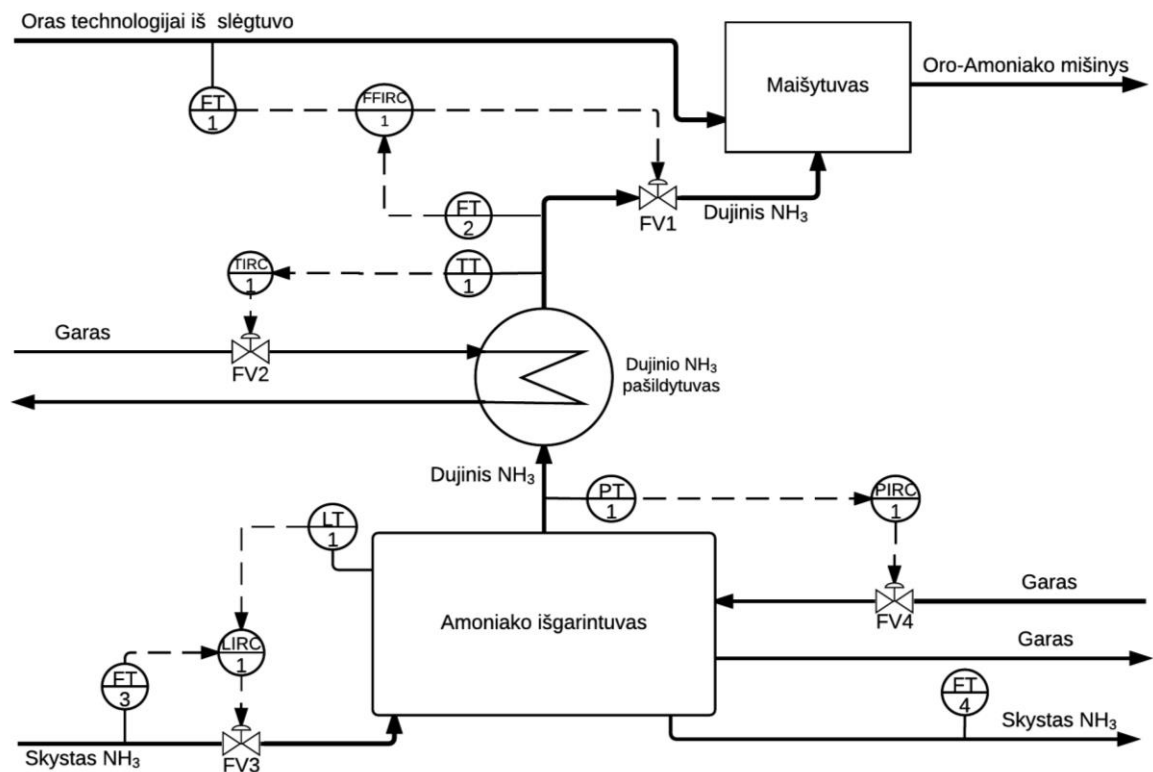
Absorbcijos kolonos viršuje susidariusi rūgštis ir vanduo teka į žemiau esančias lėkštes priešpriešais kylančioms nitrozinėms dujoms. Rūgščiai tekant žemyn, jos koncentracija palaipsniui didėja ir išeinant iš kolonos, turi būti ne mažesnė kaip 56 %. Išėjusi iš kolonos azoto rūgštis nukreipiamą į prapūtimo kolonėlę, kurioje karštu oru išpučiami azoto rūgštyje ištirpę azoto oksidai.

Iš prapūtimo kolonėlės išėjusi azoto rūgštis tiekiami į azoto rūgšties talpyklas. [10]

1.3.4 Oro – amoniako mišinio paruošimo valdymo sistema UKL – 7 agregate Nr.4

Oro – amoniako mišinio paruošimo sistemos automatizavimo schema pateikiama 1.9 paveiksle.

Oro – amoniako mišinys paruošiamas maišytuve į kurį tiekiamas oras ir dujinis amoniakas. Būtina palaikyti nustatytą oro – amoniako santykį. Amoniako dujų kiekis mišinyje cechui dirbant normaliu režimu yra palaikomas 9,5 – 10,6%. Cechas stabdomas kai amoniako koncentracija pasiekia 11,7 %. Oro srautas palaikomas pastovus. Priklausomai nuo agregato apkrovimo oro srauto kitimo ribos – 42000÷63000 m³/h. Nustatytas santykis palaikomas keičiant tiekiamo į sumaišytuvą dujinio amoniako srautą. Dujinio amoniako srautas į sumaišytuvą palaikomas diapazone 4500-7500 m³/h, atsižvelgiant į užduotą oro – amoniako mišinio santykį ir oro srautą. Oro srautas į sumaišytuvą matuojamas diafragma su skirtuminio slėgio keitikliais FT1. Dujinio amoniako srautas matuojamas diafragma su skirtuminio slėgio keitikliu FT2. Dujinio amoniako srautas reguliuojamas keičiant reguliuojančiojo vožtuvo FV1 padėtį pagal reguliatoriaus FFIRC1 komandas.



1.9 pav. Azoto rūgšties agregato oro – amoniako mišinio paruošimo automatizavimo schema

Norint kokybiškai valdyti dujinio amoniako srautą į sumaišytuvą, būtina amoniako išgarintuve automatiškai palaikyti pastovų užduotą slėgį ir skysto amoniako lygį.

Lygis matuojamas plūdiniu lygmačiu su lygio keitikliu LT1. Amoniako lygis išgarintuve negali būti žemesnis kaip 770 mm ir aukštesnis kaip 930 mm nuo išnešamos kameros apatinio vamzdžio ašies. Lygis valdomas keičiant skysto amoniako srautą į išgarintuvą, kuris matuojamas diafragma su skirtuminio slėgio keitikliu FT3. Amoniako išgarintuve palaikomas pastovus skysto amoniako drevažas tam, kad talpoje neprisikauptų nešvarumų. Drenuojamo skysto amoniako srautas

matuojamas diafragma su skirtuminio slėgio keitikliu FT4. Lygį reguliuoja lygio reguliatorius LIRC1, keisdamas skysto amoniako reguliuojančio vožtuvo FV3 padėtį.

Dujinio amoniako išgarintuve slėgis turi būti palaikomas $1.05 \div 1.15$ MPa ribose. Slėgis matuojamas dujinio amoniako išėjime iš išgarintuvo slėgio keitikliu PT-1. Reguliatorius PIRC1 palaiko užduotą slėgį keisdamas garo srautą į amoniako išgarintuvo gyvatukus.

Išėjęs iš išgarintuvo dujinis amoniakas turi būti pašildytas iki $90 \div 120$ °C dujinio amoniako pašildytuve. Temperatūra valdoma reguliatoriumi TIRC1, kuris pagal išmatuotą temperatūrą keičia garo kiekį į šilumokaitį reguliuojančio vožtuvo FV2 padėtį.

2. ORO – AMONIAKO MIŠINIO PARUOŠIMO PROCESO KAIP VALDYMO OBJEKTO TYRIMAS

Šiame skyriuje aprašomi atlikti oro – amoniako paruošimo sistemos tyrimai azoto rūgšties agregate. Taip pat pateikiami eksperimentinių tyrimų rezultatai bei duomenų aproksimavimas tipinėmis perdavimo funkcijomis. Skysto amoniako lygio kitimo dinamika amoniako išgarintuve aprašoma teoriškai pasitelkiant sudarytą masės balanso lygtį.

2.1. Šuolinės reakcijos eksperimentai perdavimo funkcijų nustatymui

Veikiančiame azoto rūgšties agregate atlikti šuolinės reakcijos nustatymo testus yra labai pavojinga, nes net nedideli dujinio amoniako reguliuojančio vožtuvo padėties pokyčiai lemia didelius srauto pokyčius ir dėl to gali pavojingai pasikeisti oro – amoniako santykis ir tuo pačiu temperatūra kontaktiniame aparate. Šiems dydžiams pasiekus ribines vertes cechas būtų stabdomas suveikus blokuotėms. Bandymai atlikti sustabdytame agregate, paleidus dujinio amoniako paruošimo mazgą, kai dujinis amoniakas išduodamas į gamyklos tinklą. Iš viso atlikti du eksperimentai.

Pirmojo eksperimento metu buvo pakeista dujinio amoniako reguliuojančio vožtuvo padėtis ir stebėta kaip į šį pokytį reaguoja dujinio amoniako srautas. Reguluojančio vožtuvo padėtis pakeista iš 36.25% į 40%. Kadangi kuriant proceso modelį modeliavimo laikas (angl. *simulation time*) priimamas sekundėmis, matavimo vienetai perverčiami iš kubinių metrų per valandą į kubinius metrus per sekundę. Eksperimento metu išmatuotos dujinio amoniako srauto vertės pateikiamos 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė: Dujinio NH₃ srauto kitimas eksperimento metu

Laikas, (s)	Vožtuvo padėtis, ΔU (%)		Dujinio NH ₃ tūrinis srautas (m ³ /s)	ΔY
0	36.25→40	0	0.889	0
0.1	40	3.75	0.889	0
0.5	40	3.75	0.900	0.001
4	40	3.75	0.978	0.089
8	40	3.75	1.033	0.144
12	40	3.75	1.047	0.161
16	40	3.75	1.053	0.166
17	40	3.75	1.056	0.167

To paties bandymo metu taip pat stebėta kaip kinta slėgis amoniako išgarintuve. Dujinio amoniako reguliuojančio vožtuvo padėties įtakotas srauto pokytis nusistovėjusią vertę pasiekia per trumpą laiką, palyginus su slėgio vertės kitimu, todėl priimta, kad dujinio amoniako srautas

pakeistas šuoliškai. Eksperimentiniai duomenys gauti matuojant slėgį išgarintuve, šuoliškai pakeitus dujinio amoniako srautą pavaizduoti 2.2 lentelėje. Slėgio matavimo prietaiso rodmenys yra kg/cm^2 , o modeliavimui naudojami SI sistemos matavimo vienetai todėl atliktas pavertimas iš kg/cm^2 į Pa.

2.2 lentelė: Slėgio amoniako išgarintuve kitimas eksperimento metu

Laikas, (s)	Dujinio NH_3 tūrinis srautas, (m^3/s)	ΔU	Slėgis amoniako išgarintuve, (Pa)	Y
0	0.889 → 1.056	0	931646	0
17	1.056	0.167	931646	0
45	1.056	0.167	931646	0
60	1.056	0.167	931156	-490
400	1.056	0.167	862998	-68648
583	1.056	0.167	833578	-98068
707	1.056	0.167	818868	-112778
960	1.056	0.167	794351	-137295
1350	1.056	0.167	785525	-146121
1500	1.056	0.167	784544	-147102

Antrojo eksperimento metu šuoliškai pakeista garo srautą į išgarintuvą reguliuojančio vožtuvo padėtis ir stebėta kaip kinta slėgis amoniako išgarintuve. Garo srautą reguliuojančio vožtuvo atidarymas pakeistas nuo 35% iki 39%. Stebėjimo rezultatai pateikiami 2.3 lentelėje.

2.3 lentelė: Slėgio amoniako išgarintuve kitimas, šuoliškai pakeitus į išgarintuvą tiekiamo garo srautą.

Laikas, (s)	Garo vožtuvo padėtis, (%)	ΔU	Slėgis amoniako išgarintuve, (Pa)	Y
0	43.75 → 48.75	0	784544	0
60	39	5	823770	39226
90	39	5	833578	49034
282	39	5	882612	98068
411	39	5	907129	122585
478	39	5	921839	137295
578	39	5	931646	147102
780	39	5	951259	166715
840	39	5	956163	171619
960	39	5	970873	186329
1140	39	5	980680	196136
1380	39	5	990486	205942
1920	39	5	991467	206923
2500	39	5	992448	207904

2.2 Proceso perdavimo funkcijų identifikavimas naudojant eksperimentinius duomenis

Pagrindinė šuolinės reakcijos identifikavimo strategija yra pritaikyti teorines šuolinės reakcijos funkcijas prie eksperimentiškai išmatuotos šuolinės reakcijos duomenų. [11]

Azoto rūgšties agregato oro – amoniako mišinio paruošimo valdymo sistemos struktūrinėje schemoje pavaizduotoms perdavimo funkcijoms W_1 , W_2 ir W_4 parenkami modeliai – kandidatai, kuriais aprašomos reakcijų kreivės.

Išnagrinėjus 2.1 lentelėje pateiktus eksperimentinius duomenis ir pastebėjus, kad reakcijos kreivėje dominuoja pirmos eilės dinamika nuspręsta dujinio amoniako srauto kitimą, keičiantis dujinio amoniako reguliuojančio vožtuvo padėčiai aprašyti pirmos eilės su vėlavimu perdavimo funkcija:

$$W_1(s) = \frac{K_1}{T_1s+1} e^{-\tau_1s} \quad (10)$$

Identiškos struktūros modelis parenkamas ir slėgio išgarintuve kitimui (2.3 lentelė), keičiantis į išgarintuvą tiekiamam garo srautui, aprašyti:

$$W_2(s) = \frac{K_2}{T_2s+1} e^{-\tau_2s} \quad (11)$$

Reakcijos kreivę, kurios eksperimentiniai duomenys pateikti 2.2 lentelėje, nuspręsta aprašyti antros eilės perdavimo funkcija su vėlavimu, nes slėgio kitimo išgarintuve, keičiantis dujinio amoniako srautui reakcijos kreivė panaši į kreivę, kurioje dominuoja aukštesnės nei pirmos eilės dinamika. Naudojama tokia perdavimo funkcija:

$$W_4(s) = \frac{K_4}{(T_{41}s+1)(T_{42}s+1)} e^{-\tau_4s} \quad (12)$$

Pasirinktiems modeliams nustatomi modelių parametrų įverčiai, su kuriais modeliai atitinka eksperimentinius duomenis.

Remiantis eksperimentiniais duomenimis perdavimo funkcijoms W_1 , W_2 ir W_4 nustatomi stiprinimo koeficientai K_1 , K_2 ir K_4 :

$$K = \frac{y(\infty)}{\Delta U}; \quad (14)$$

$$K_1 = \frac{0.167}{3.75} = 0.045;$$

$$K_2 = \frac{207904}{5} = 41581;$$

$$K_4 = \frac{-147102}{0.167} = -882612.$$

Modelių laiko pastoviosios T_1, T_2, T_{41}, T_{42} ir vėlinimo laikai τ_1, τ_2 ir τ_4 nustatomi skaitmeniniu metodu, kuris paremtas modeliuojamų reakcijos kreivių priderinimu prie eksperimentinių taškų. Modelio parametrų optimizavimo uždavinys formuluojamas kaip optimizavimo uždavinys, kuriuo svarbiausia minimizuoti nuokrypių kvadratų sumą. [1]

$$S = \sum_{i=1}^n (y_e(t_i) - y(t_i))^2 \rightarrow \min \quad (15)$$

Sprendžiant šį uždavinį naudojami modelių sprendiniai, kai proceso įėjime veikia vienetinis trikdys. Perdavimo funkcijoms W_1 ir W_2 modelio sprendinio bendra forma atrodo taip:

$$y(t) = \begin{cases} 0, & \text{kai } 0 \leq t < \tau \\ K \cdot \left(1 - e^{-\frac{t-\tau}{T}}\right), & \text{kai } t \geq \tau \end{cases} \quad (16)$$

Perdavimo funkcijai W_4 :

$$y(t) = \begin{cases} 0, & \text{kai } 0 \leq t < \tau \\ K_4 \cdot \left(1 - \frac{T_{41}}{T_{41}-T_{42}} e^{-\frac{t-\tau_4}{T_{41}}} + \frac{T_{42}}{T_{41}-T_{42}} e^{-\frac{t-\tau_4}{T_{42}}}\right), & \text{kai } t \geq \tau \end{cases} \quad (17)$$

Nežinomi perdavimo funkcijų parametrai surandami naudojant chemotaksinės paieškos algoritmus. Priede Nr.1 pateikiami MATLAB[®] aplinkoje parašyti programų tekstai su komentarais.

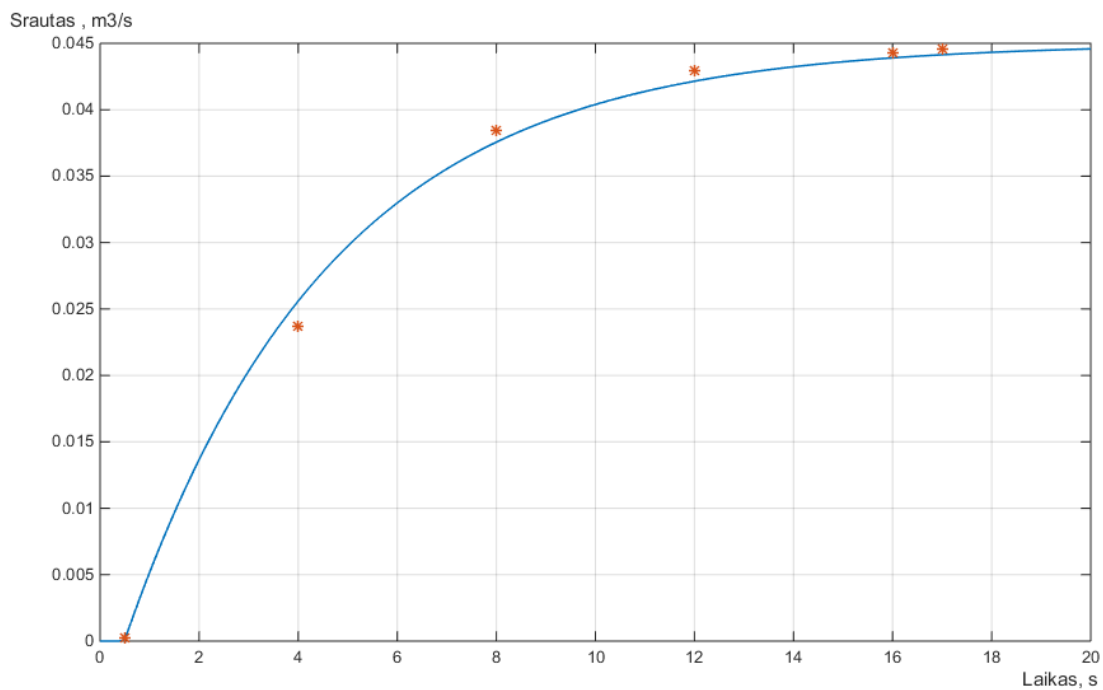
Atlikus parametrų identifikavimą gaunamos tokios perdavimo funkcijos:

$$W_1(s) = \frac{0.045}{4.17s+1} e^{-0.49s} \quad (18)$$

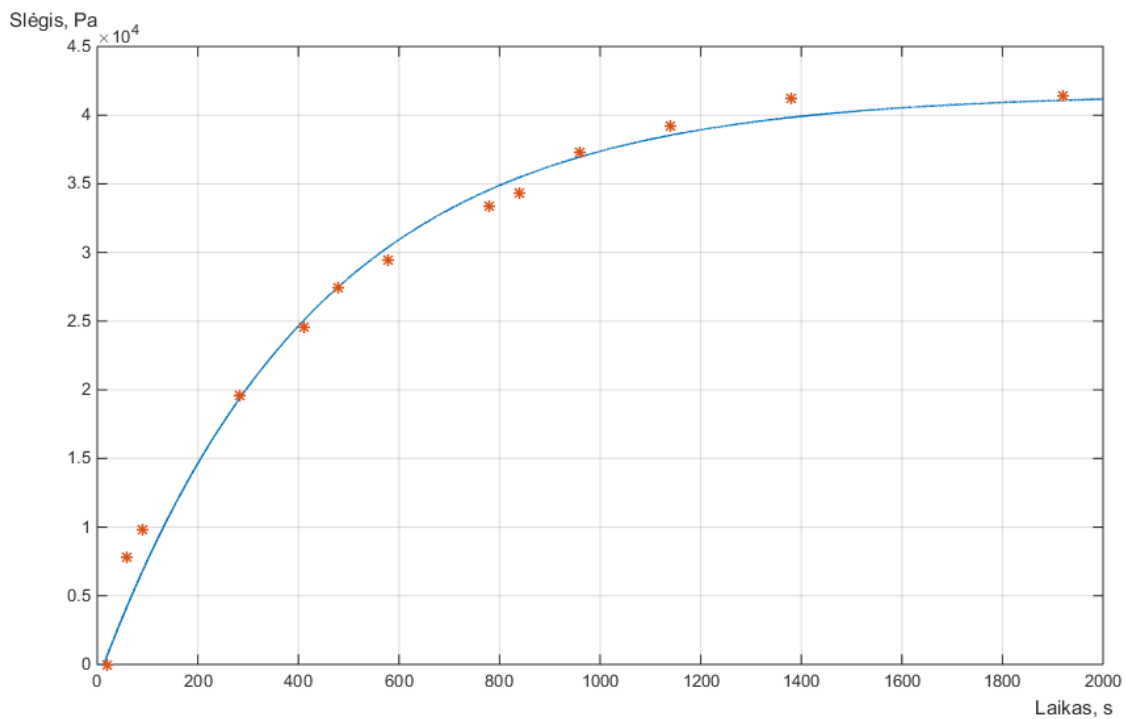
$$W_2(s) = \frac{41581}{430.2s+1} e^{-13s} \quad (19)$$

$$W_4(s) = -\frac{882612}{(230.5s+1)(230.6s+1)} e^{-44.3s} \quad (20)$$

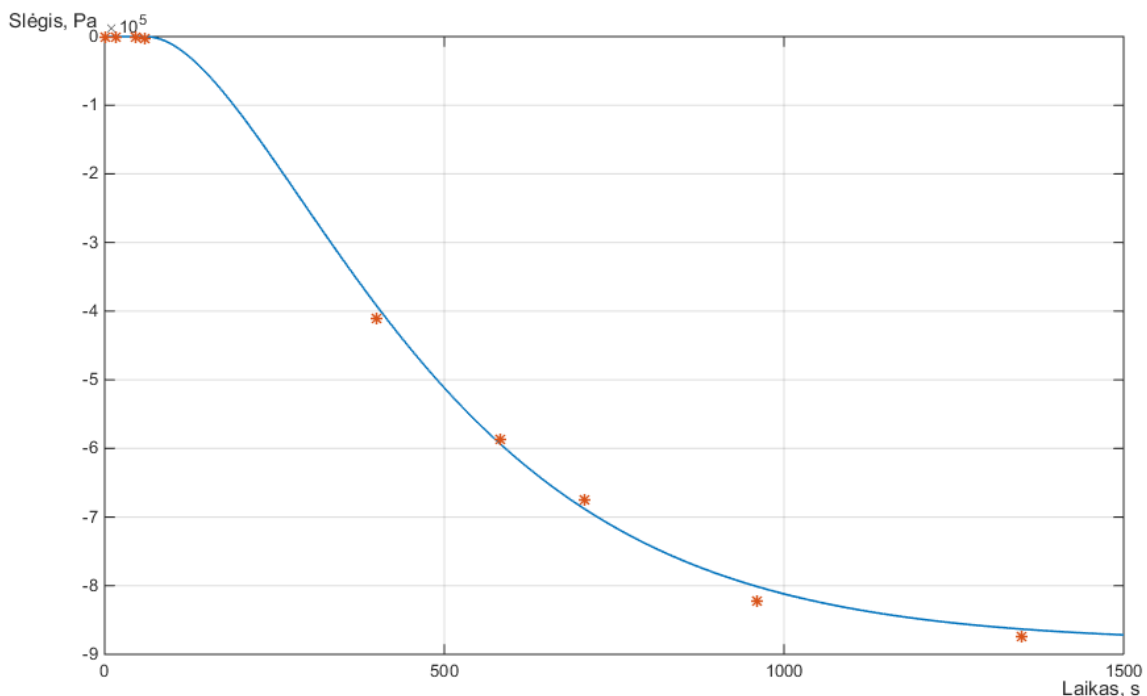
Atliekamas modelio patikrinimas. Paveiksluose 2.1, 2.2 ir 2.3 pateikiamos identifikuotos reakcijų kreivės palygintos su eksperimentiniais duomenimis. Identifikuotų modelių kreivės pavaizduotos ištisinėmis linijomis, o eksperimentiniai duomenys žvaigždutėmis.



2.1 pav. Srauto kitimo aprašyto perdavimo funkcija W_1 , reakcijos į vienetinį šuolį palyginimas su eksperimentiniais duomenimis



2.2 pav. Slėgio kitimo išgarintuve, aprašyto perdavimo funkcija W_2 , reakcijos į vienetinį šuolį palyginimas su eksperimentiniais duomenimis



2.3 pav. Slėgio kitimo išgarintuve, aprašyto perdavimo funkcija W_4 , reakcijos į vienetinį šuolį palyginimas su eksperimentiniais duomenimis

2.3 Skysto amoniako lygio kitimo amoniako išgarintuve matematinio modelio sudarymas

Skysto amoniako tūrio kitimas amoniako išgarintuve gali būti užrašomas:

$$\frac{dV(t)}{dt} = Q_{sk.NH_3}(t) \quad (21)$$

Čia $Q_{sk.NH_3}(t)$ skysto amoniako srautas.

Tūrį galima pakeisti nekintančio amoniako išgarintuvo skerspjūvio ploto ir skysto amoniako lygio išgarintuve sandauga:

$$S \frac{dH(t)}{dt} = Q_{sk.NH_3}(t) \quad (22)$$

Atlikus Laplaso transformaciją gaunama:

$$SH(s)s = Q(s) \quad (23)$$

Gaunama skysto amoniako lygio kitimo priklausomybę nuo skysto amoniako srauto aprašanti perdavimo funkcija $W_3(s)$:

$$W_3(s) = \frac{H(s)}{Q(s)} = \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{s} = K_3 \cdot \frac{1}{s} \quad (24)$$

Čia $K_3 = \frac{1}{s} = \frac{1}{dl}$, skysto amoniako išgarintuvo skersmuo $d = 1,2$ [m], ilgis $l = 5,365$ [m]

Įstačius šias vertes gaunama:

$$W_3(s) = \frac{0.154}{s} \quad (25)$$

3. ORO – AMONIAKO MIŠINIO PARUOŠIMO AUTOMATINIO VALDYMO SISTEMOS MODELIS

Šiame skyriuje pateikiamas oro – amoniako mišinio paruošimo valdymo sistemos modelis, taikomas valdomo objekto matematiniam modeliui, kuris identifikuotas antrame skyriuje. Valdymo sistemos reguliatorių parametrai nustatomi naudojant įvairius derinimo metodus. Įvertinus ryšius tarp vienkontūrių valdymo sistemų ir siekiant pagerinti sistemos valdymo kokybę pasiūloma nauja oro – amoniako mišinio paruošimo sistemos valdymo struktūra. Atliekamas originalios ir patobulintos valdymo sistemos modelių veikimo palyginimas.

3.1. Oro – amoniako mišinio paruošimo valdymo sistemą sudarančių vienkontūrių sistemų modeliavimas ir derinimas

Kuriant oro - amoniako mišinio paruošimo valdymo sistemos modelį MATLAB Simulink[®] aplinkoje, modeliuojami trys atskiri valdymo kontūrai – dujinio amoniako srauto palaikymo, slėgio palaikymo amoniako išgarintuve ir skysto amoniako lygio palaikymo amoniako išgarintuve.

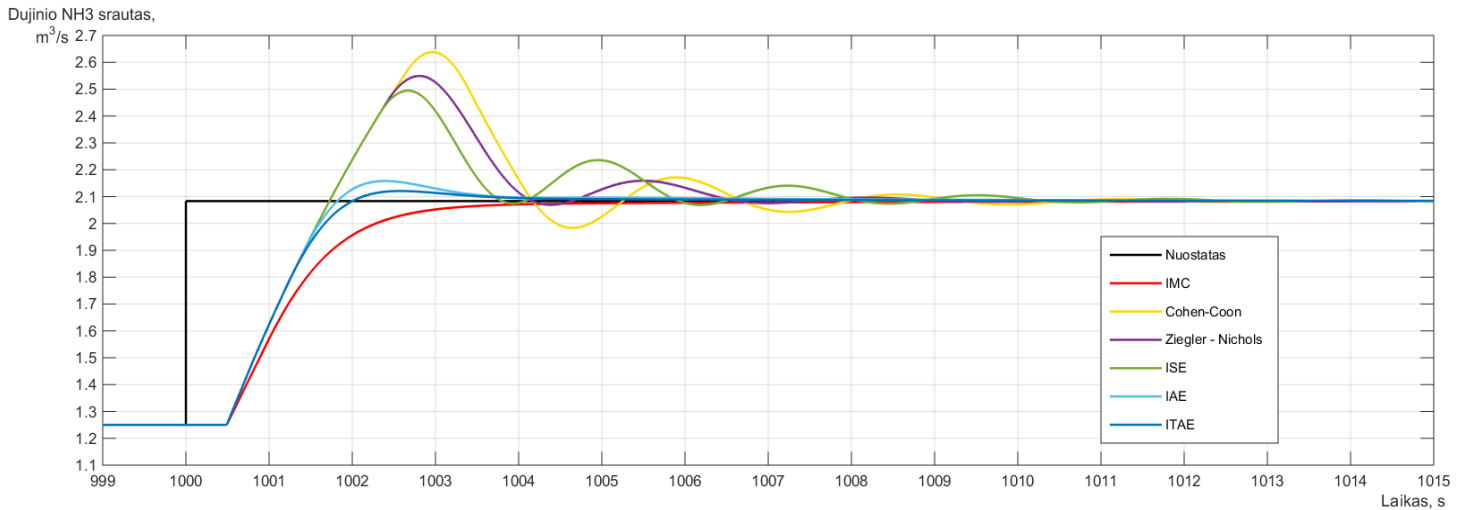
Amoniako koncentracijos oro – amoniako mišinyje valdymo sistema modeliuojama kaip santykio valdymo sistema, kurioje oro srautas yra nevaldomas parametras, o dujinio amoniako srauto nuostatas nustatomas oro srauto vertę padauginus iš konstantos, kuri nustatoma pagal užduotą dujinio amoniako koncentraciją.

Dujinio amoniako srauto valdymo sistema modeliuojama naudojant eksperimentiškai nustatytą srauto perdavimo funkciją $W_1(s)$. Dujinio amoniako srauto valdymo sistemos reguliatoriui pasirinktas pramonėje labiausiai paplitęs „PI“ reguliavimo dėsnis.

Dujinio amoniako srauto perdavimo funkcijos $W_1(s)$ vėlinimo ir laiko pastoviosios santykis $\tau_1/T_1 = 0.117$, todėl reguliatoriaus derinimui galima naudoti pirmos eilės su vėlavimu modeliui transformuotas *Ziegler – Nichols* derinimo taisyklės, *Cohen – Coon*, vidinio modelio valdymo ir integralinių kriterijų (ISE, IAE ir ITAE) optimizavimu paremtas derinimo taisyklės. 3.1 pav. pavaizduotos srauto reguliavimo sistemos uždaro kontūro reakcijos į šuolinį nuostato pokytį kreivės, kai reguliatorius suderintas skirtingais derinimo metodais.

Labai svarbus reikalavimas oro – amoniako mišinio paruošimo valdymo sistemai yra tai, kad amoniako koncentracija mišinyje nė akimirksniui negali viršyti maksimalios vertės (11,7%), kadangi pasiekus šią ribą pavojingai pakyla temperatūra kontaktiniame aparate ir iškart suveikia apsaugos sistema – cechas stabdomas avariniu būdu. Įvertinant šį reikalavimą ir išanalizavus 3.1 pav. pavaizduotas reakcijų kreives, PI reguliatoriui parenkami vidinio modelio valdymo (IMC) derinimo

metodu suderinti parametrai, nes keičiant filtro laiko pastoviąją gaunama uždaro kontūro reakcija kurioje nėra perreguliavimo ir reakcija nusistovi beveik taip pat greitai kaip, kad nuodojant IAE ar ITAE optimizavimo kriterijais paremtomis derinimo taisyklėmis suderintus reguliatorius.



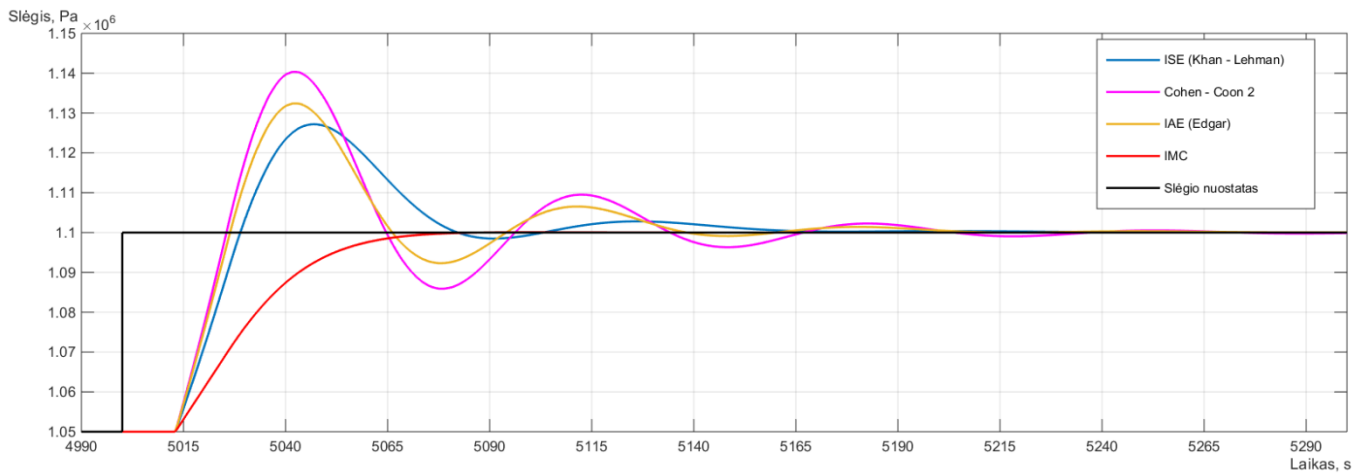
3.1 pav. Dujinio amoniako srauto reguliavimo sistemos reakcijų kreivės, naudojant skirtingais derinimo metodais suderintus reguliatorius

Pagal IMC derinimo taisyklės pirmos eilės su vėlavimu proceso modeliui, naudojant PI reguliatorių apskaičiuoti reguliatoriaus parametrai.

$$K_r = \frac{2T_{pr} + \tau_{pr}}{2K_{pr}T_f} = \frac{2 \cdot 4.17 + 0.49}{2 \cdot 0.045 \cdot 1.4} = 70.07 \quad (26)$$

$$T_i = T_{pr} + \frac{\tau_{pr}}{2} = 4.17 + \frac{0.49}{2} = 4.415 \quad (27)$$

Slėgio amoniako išgarintuve palaikymui taip pat pasirinktas PI reguliavimo dėsnis. Perdavimo funkcijos $W_2(s)$ vėlinimo ir laiko pastoviosios santykis daug mažesnis nei dujinio amoniako srauto palaikymo sistemoje $\tau_2/T_2 = 0.03$. Šio valdomo objekto reguliatoriaus derinimui išbandytos *Cohen – Coon II* [5] derinimo formulės, IAE (*Edgar, 1997*) ir ISE (*Khan ir Lehman, 1996*) optimizavimo kriterijais paremtos taisyklės bei vidinio modelio derinimo taisyklės. Slėgio amoniako išgarintuve reguliavimo sistemos reakcijų kreivės, šuoliškai pakeitus slėgio nuostatą, kai naudojamas skirtingais metodais suderintas reguliatorius pavaizduotos 3.2 pav.



3.2 pav. Slėgio amoniako išgarintuve reguliavimo sistemos reakcijų kreivės, suderinus reguliatorių skirtingais derinimo metodais

Kaip ir dujinio amoniako srauto palaikymo sistemoje geriausi rezultatai gaunami, kai reguliatorius suderinamas naudojant vidinio modelio valdymo (IMC) derinimo metodą. Naudojant kitais išvardintais derinimo metodais suderintus reguliatorius, gautos reakcijos į šuolinį slėgio nuostato pokytį su mažesniais pakilimo laikais, tačiau dideliais perreguliavimais ir reakcijų nusistovėjimo laikais. Tam, kad gauti geresnes reakcijas į šuolinį pokytį reiktų reguliatorių parametrus atitinkamai koreguoti naudojant „bandymų ir klaidų“ metodą. IMC derinimo taisyklėmis nustatyti slėgio reguliatoriaus parametrai:

$$K_r = \frac{T_{pr}}{K_{pr}T_f} = \frac{430.2}{41581 \cdot 32} = 3.2 \cdot 10^{-4} \quad (28)$$

$$T_i = T_{pr} = 430 \quad (29)$$

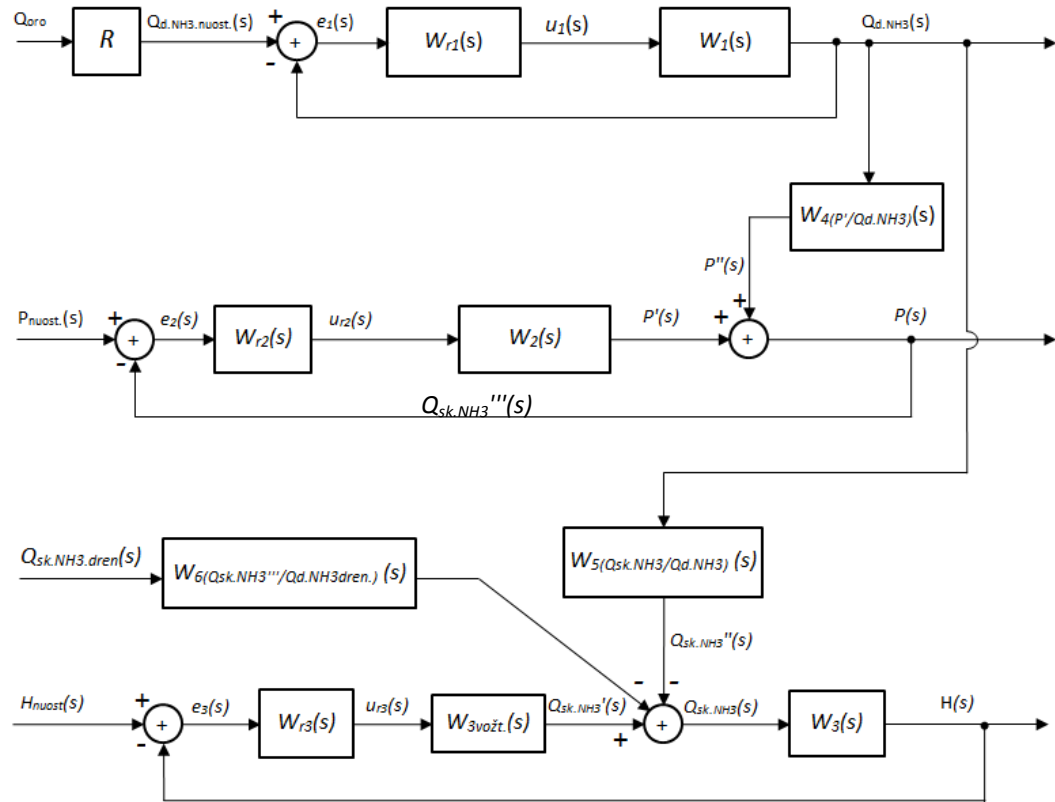
Skysto amoniako lygio išgarintuve reguliavimo kontūrai parinktas P reguliatorius kadangi valdomas objektas turi integruojančią grandį. Regulatorius suderintas naudojant vidinio modelio valdymo derinimo taisykles skirtas integruojančiam procesui.

3.2. Ryšių tarp valdymo kontūrų įvedimas oro – amoniako mišinio paruošimo valdymo sistemos modelyje

Keičiant azoto rūgšties agregato apkrovimą, keičiamas technologijai tiekiamo oro kiekis, atitinkamai oro – amoniako mišinio santykio palaikymo sistema, pakeičia dujinio amoniako kiekio nuostatą. Kintant išduodamo dujinio amoniako srautui, kinta slėgis išgarintuve. Slėgio išgarintuve trikdžio perdavimo funkcija $W_4(s)$ nustatyta atliekant šuolinės reakcijos eksperimentą, šuoliškai pakeitus dujinio amoniako srauto vertę ir stebint kaip keičiasi slėgis amoniako išgarintuve.

Keičiantis dujinio amoniako srautui taip pat keičiasi amoniako lygis išgarintuve. Priimama, kad išgarinant 1 m^3 skysto amoniako susidaro 947 m^3 dujinio amoniako. Taip pat norint, kad

amoniako išgarintuve nesikaupų nešvarumai ir nuosėdos yra palaikomas pastovaus dydžio skysto amoniako drenažas. Oro – amoniako mišinio paruošimo sistemos struktūrinė schema įvertinus ryšius tarp valdymo kontūrų pavaizduota 3.3 pav.



3.3 pav. Oro - amoniako mišinio paruošimo valdymo sistemos struktūra, įvertinus ryšius tarp valdymo kontūrų.

Pavaizduotoje oro – amoniako mišinio valdymo sistemos struktūrinėje schemoje reguliatorių, kurių derinimas aprašytas 3.1. poskyryje, perdavimo funkcijos žymimos: $W_{r1}(s)$ – srauto reguliatoriaus, $W_{r2}(s)$ – slėgio reguliatoriaus, $W_{r3}(s)$ – lygio reguliatoriaus. 2.2 skyriuje identifikuotos perdavimo funkcijos ir jų išėjimo signalai struktūrinėje schemoje žymimi $W_1(s)$, $W_2(s)$, $W_3(s)$ ir $W_4(s)$.

Perdavimo funkcijos $W_4(s)$ išėjimo signalas $p''(s)$ yra trikdantis poveikis, kuris veikia slėgio amoniako išgarintuve sistemą, keičiantis dujinio amoniako srauto vertei.

Perdavimo funkcija $W_5(s)$ yra stiprinimo koeficientas lygus $1/947$, kadangi priimama, kad išgaravus 1 tūrio vienetui skysto amoniako susidaro 947 tūrio vienetai dujinio amoniako [12]. Didėjant dujinio amoniako srautui, pastovaus lygio amoniako išgarintuve palaikymui reikia padidinti skysto amoniako vožtuvo atidarymą. $W_6(s)$ yra drenavimo srauto perdavimo funkcija lygi

vienetiniam stiprinimo koeficientui. Tiekiamo į išgarintuvą skysto amoniako atstojamasis srautas yra lygus $Q_{sk.NH3}(s) = Q_{sk.NH3}'(s) - Q_{sk.NH3}''(s) - Q_{sk.NH3}'''(s)$.

Schemoje R raide pažymėtas, koeficientas kuris apskaičiuojamas naudojant norimo palaikyti dujinio amoniako koncentracijos vertę. Dujinio amoniako koncentracija oro – amoniako mišinyje apskaičiuojama pagal formulę:

$$C_{NH3} = \frac{Q_{d.NH3.nuost.}}{Q_{d.NH3.nuost.} + Q_{oro}} \cdot 100\% \quad (30)$$

Čia C_{NH3} – dujinio amoniako koncentracija oro – amoniako mišinyje procentais;

$Q_{d.NH3.nuost.}$ – dujinio amoniako srauto nuostatas

Q_{oro} – oro tiekiamo į sumaišytuvą srautas.

Pertvarkius formulę (29) gaunama:
$$Q_{d.NH3.nuost.} = \frac{C_{NH3} \cdot Q_{oro}}{(100 - C_{NH3})} \quad (31)$$

Atlikus pakeitimą:

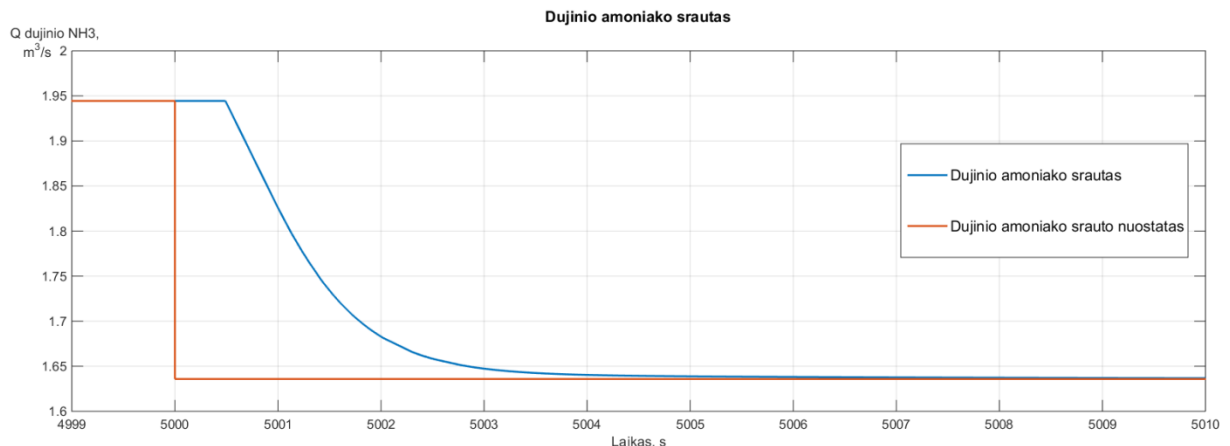
$$\frac{C_{NH3}}{(100 - C_{NH3})} = R \quad (32)$$

Dujinio amoniako nuostatas apskaičiuojamas:

$$Q_{d.NH3.nuost.} = R \cdot Q_{oro} \quad (33)$$

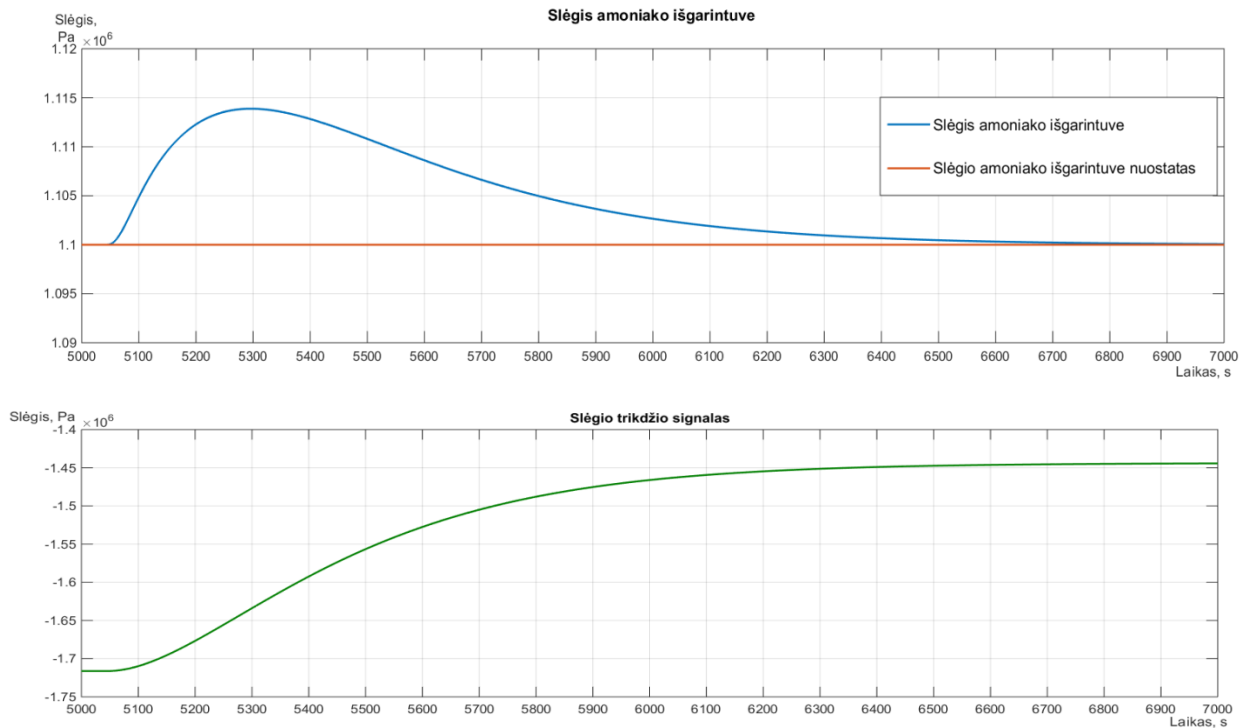
Valdymo sistemos pavaizduotos 3.3 pav. modelis sukurtas naudojantis Matlab/Simulink programiniu paketu. Stebėtas sistemos veikimas imituojant tiekiamo į sumaišytuvą oro srauto pokyčius ir užduotos dujinio amoniako koncentracijos oro – amoniako mišinyje pokyčius.

Esant nusistovėjusiam procesui, 5000 – ają modeliavimo sekundę oro srautas į sumaišytuvą šuoliškai pakeičiamas iš 63000 m³/h iki 53000 m³/h, o dujinio amoniako koncentracija mišinyje palaikoma pastovi 10%. Dujinio amoniako srauto nuostatas, esant šiam oro srauto pokyčiui, pasikeičia nuo 7000 m³/h iki 5889 m³/h. Dujinio amoniako srauto reakcija į šį pokytį (3.4 pav) yra labai greita ir nusistovi per ~5 sekundes.



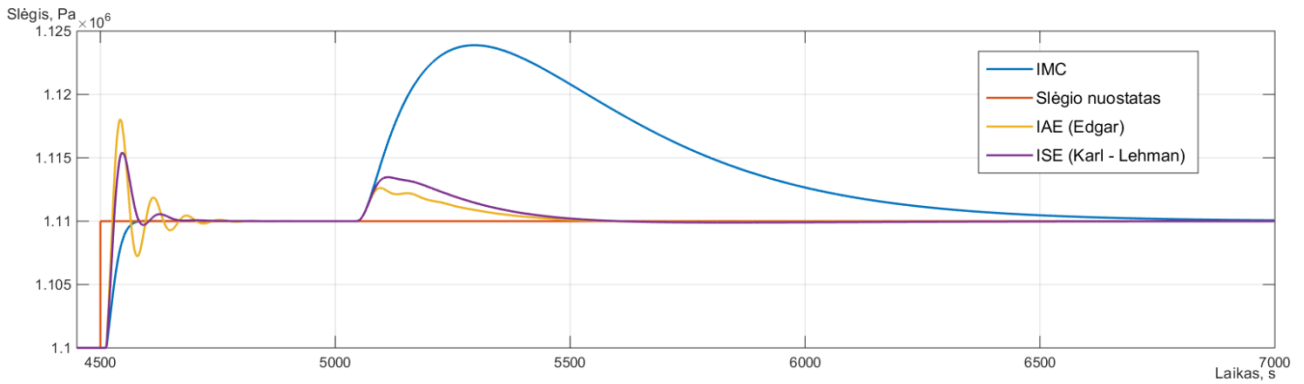
3.4 pav. Dujinio amoniako srauto reakcija į šuolinį oro srauto pokytį.

Slėgio dujinio amoniako išgarintuve reakcijos kreivė pasikeitus oro srautui ir dujinio amoniako srauto nuostatui bei slėgio amoniako išgarintuve sistemą veikiančio trikdančio poveikio signalo kitimo grafikas pateikiami 3.5 paveiksle. Veikiant trikdžiui slėgio išgarintuve vertė nukrypsta nuo nustatytos, nes reguliatorius nespėja kompensuoti trikdančio poveikio. Nusistovėjęs trikdančiam poveikiui, slėgio amoniako išgarintuve vertė vėl pasiekia nuostato vertę.



3.5 pav. Slėgio amoniako išgarintuve reakcija į trikdantį poveikį, kai pakeičiamas į sumaišytuvą tiekiamo oro srautas ir valdymo kontūrą veikiančio trikdančio poveikio grafikas.

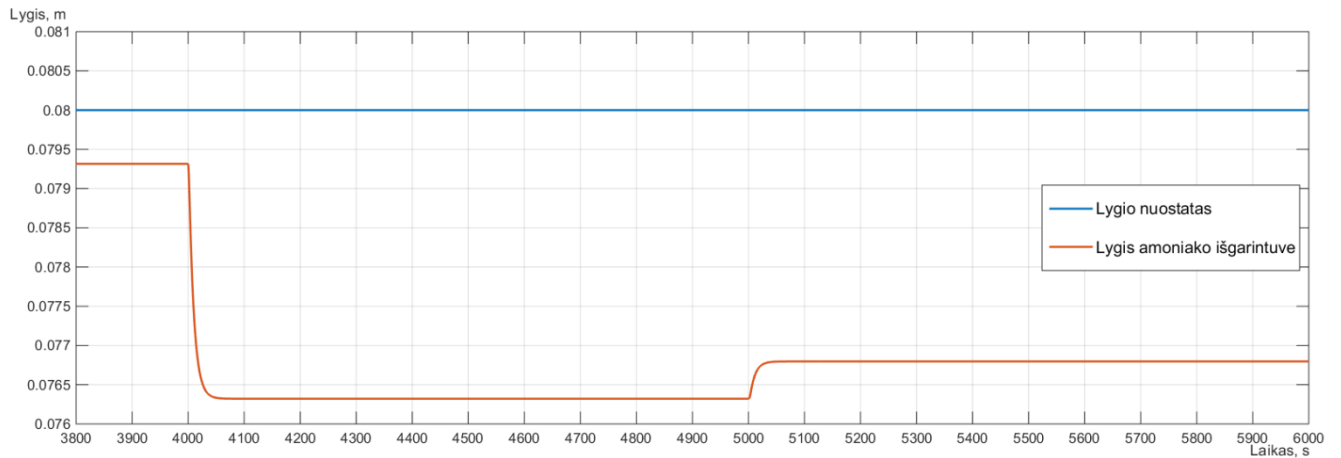
Pastebėjus, kad sistema prastai reaguoja į trikdančio poveikio pokyčius ir įvertinus tai, kad skirtingai nei dujinio amoniako srauto palaikymo sistemai, slėgio amoniako išgarintuve palaikymo sistemai reikalavimas, kad uždaro kontūro reakcija būtų be perreguliavimo nėra kritinis, nuspręsta išbandyti kaip sistema reaguoja į trikdantį poveikį, kai reguliatorius suderintas naudojant IAE (*Edgar*) ir ISE(*Karl-Lehman*) optimizavimo kriterijais paremtas derinimo taisyklės. Kad būtų galima palyginti, kaip reguliatoriai reaguoja į nuostato pokyčius, laiko momentu $t = 4500$ [s] įvedamas slėgio nuostato pokytis lygus 0.01 [MPa]. Gautų reakcijų kreivių palyginimas pateikiamas 3.6 paveiksle.



3.6 pav. Slėgio amoniako išgarintuve reakcijų kreivės pakeitus slėgio nuostato vertę ir pakitus valdymo kontūrą veikiančiam trikdančiam poveikiui, kai reguliatorius suderintas skirtingais metodais.

Pateiktame grafike pastebima, kad reguliatoriaus derinimui naudojant vidinio modelio (IMC) derinimo taisyklės gaunama prasčiausia sistemos uždaro kontūro reakcija į trikdantį poveikį ir pasiekama geriausia valdymo kokybė sekant nuostato pokytį. Suderinus reguliatorių IAE (Edgar) optimizavimo kriterijaus derinimo taisyklėmis, gaunama prasčiausia reakcija į nuostato pokytį, bet geriausiai kompensuojamas trikdantis poveikis.

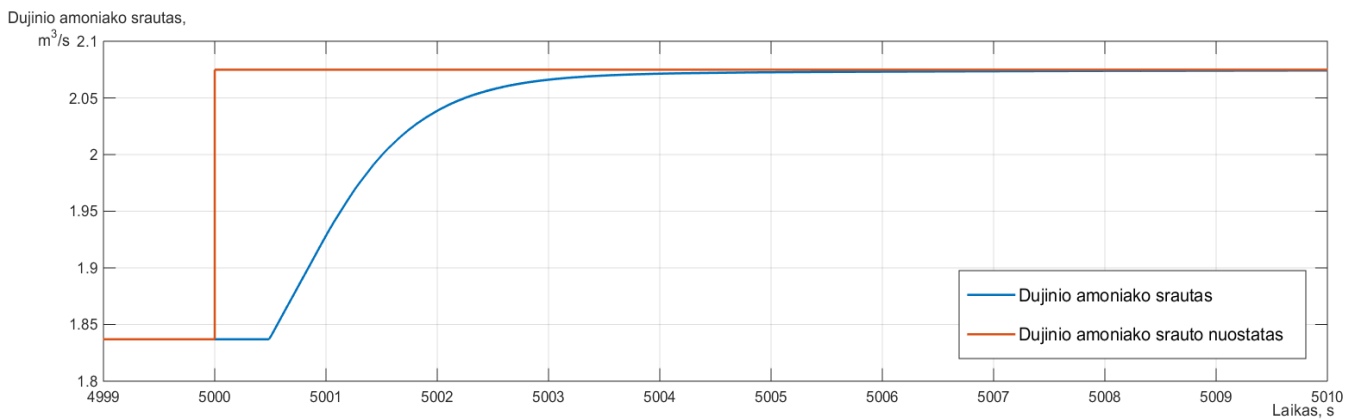
Paleidžiant UKL – 7 agregatą, amoniako išgarintuvus pripildomas skystu amoniaku iki reikiamo lygio ir norint išvengti įvairių teršalų kaupimosi amoniako išgarintuve, rankiniu būdu atsukama drenažo sklendė. Drenavimo srautas įprastai būna lygus 1,6 m³/h. Pripildžius išgarintuvą iki tokio lygio, kad būtų apsemiami išgarintuvo šilumokaičio vamzdeliai, į išgarintuvą pradedamas tiekti garas ir ima kilti slėgis amoniako išgarintuve. Pasiekus užduotą slėgį pradedamas išduoti dujinis amoniakas oro – amoniako mišinio paruošimui. Matlab/Simulink imitaciniame modelyje, dujinio amoniako išdavimas gamybai imituojamas laiko momentu $t = 4000$. Lygio amoniako išgarintuve reakcija į trikdantį poveikį pateikiama 3.7 paveiksle. Grafike pastebima, kad skysto amoniako lygio palaikymo sistemoje yra statinė paklaida. P reguliatorius išduoda lygio nuostato ir esamo lygio skirtumui proporcingą valdantįjį poveikį reguliuojančiam vožtuvui ir pakeičia skysto amoniako srautą į išgarintuvą, tačiau srauto tiekiamo į išgarintuvą atstojamoji vertė yra mažesnė dėl iš išgarintuvo išeinančio skysto amoniako srauto. Kai susilygina įtekančio ir ištekančio srautų vertės valdantis poveikis nebedaro įtakos lygio vertei.



3.7 pav. Lygio amoniako išgarintuve reakcija į trikdančius poveikius, kai pakeičiamas tiekiamas į sumaišytuvą oro srautas

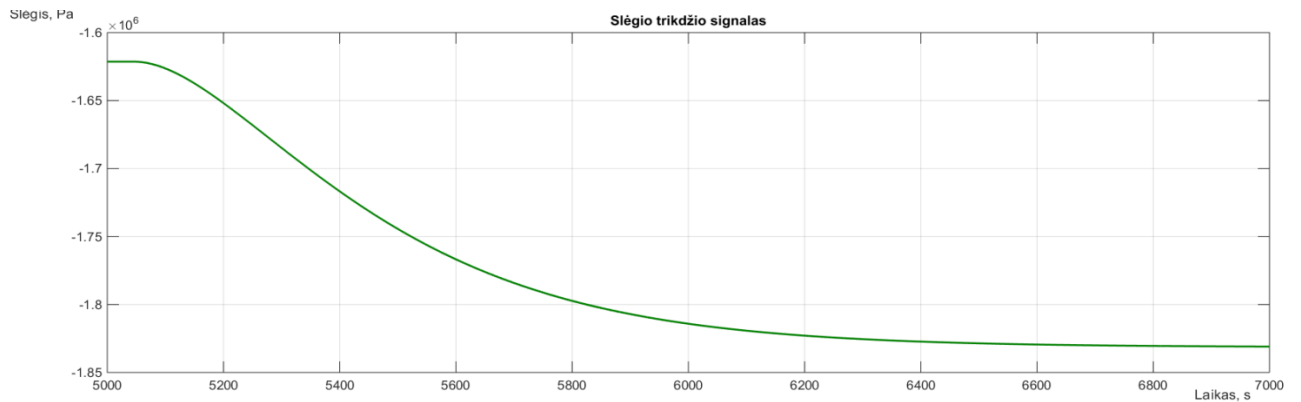
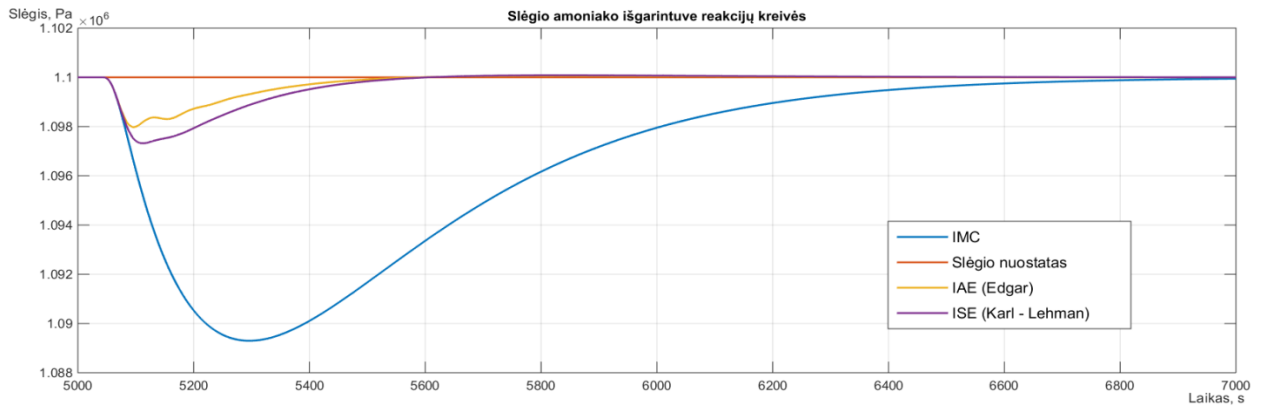
Toliau nagrinėjamas sistemos veikimas, kai į sumaišytuvą tiekiamo oro srautas yra maksimalus $Q_{\text{oro}} = 63000 \text{ m}^3/\text{h}$, o amoniako koncentracijos oro – amoniako mišinyje užduotis pakeičiama iš 9,5% į 10,6%.

Šiuo atveju dujinio amoniako srauto nuostatas šuoliškai pakinta nuo 6613 m³/h iki 7470 m³/h. Dujinio amoniako srauto reakcijos grafikas, šuoliškai pakeitus užduotą amoniako koncentracijos oro – amoniako mišinyje vertę, pateikiamas 3.8 pav.



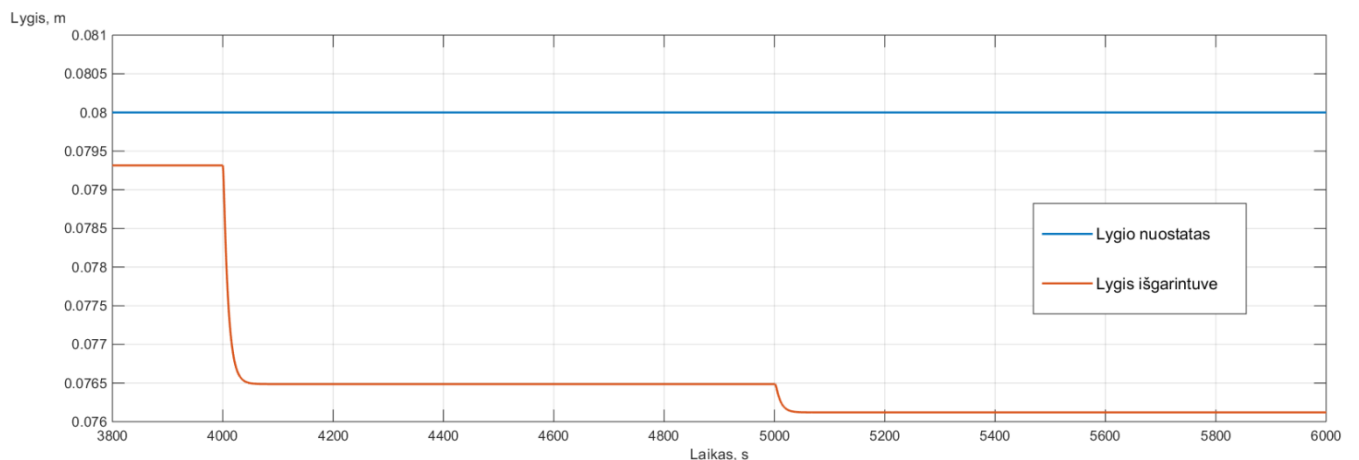
3.8 pav. Dujinio amoniako srauto kitimo grafikas, pakeitus norimą palaikyti amoniako koncentraciją

Dėl amoniako koncentracijos pokyčio atsiradusio dujinio amoniako srauto pokyčio, slėgio vertė nukrypsta nuo užduotos slėgio vertės. Slėgio amoniako išgarintuve reakcijų kreivės naudojant skirtingais derinimo metodais (IMC, IAE ir ISE) suderintus reguliatorius ir trikdančio poveikio kitimo grafikas pateikiami 3.9 pav.



3.9 Slėgio amoniako išgarintuve ir trikdančio poveikio atsiradusio dėl amoniako koncentracijos oro – amoniako mišinyje kitimo grafikai

Padidinus amoniako koncentraciją oro – amoniako mišinyje, padidėja lygio amoniako išgarintuve reguliavimo kontūrą veikiantis trikdantis signalas ir kartu padidėja statinė paklaida. Lygio amoniako išgarintuve reakcijos kreivė pateikiama 3.10 paveiksle.



3.10 pav. Lygio amoniako išgarintuve reakcija į trikdančius poveikius, pakeitus palaikomą dujinio amoniako koncentraciją oro – amoniako mišinyje

Įvedus ryšius tarp oro – amoniako mišinio valdymo sistemą sudarančių valdymo kontūrų pastebėta, kad trikdantys poveikiai stipriai įtakoja slėgio amoniako išgarintuve valdymo kokybę. IMC derinimo taisyklėmis suderintas slėgio reguliatorius puikiai reaguoja į slėgio nuostato pokyčius, tačiau į trikdančius poveikius reaguoja prasčiau nei kitomis derinimo taisyklėmis (IAE ir ISE) suderinti reguliatoriai.

Lygio amoniako išgarintuve valdymo kokybė taip pat suprastėja kai yra įvertinami trikdantys poveikiai - drenavimo ir dujinio amoniako srautai. Atsiranda statinė paklaida, kurios dydis tiesiogiai priklauso trikdančių poveikių suminės vertės.

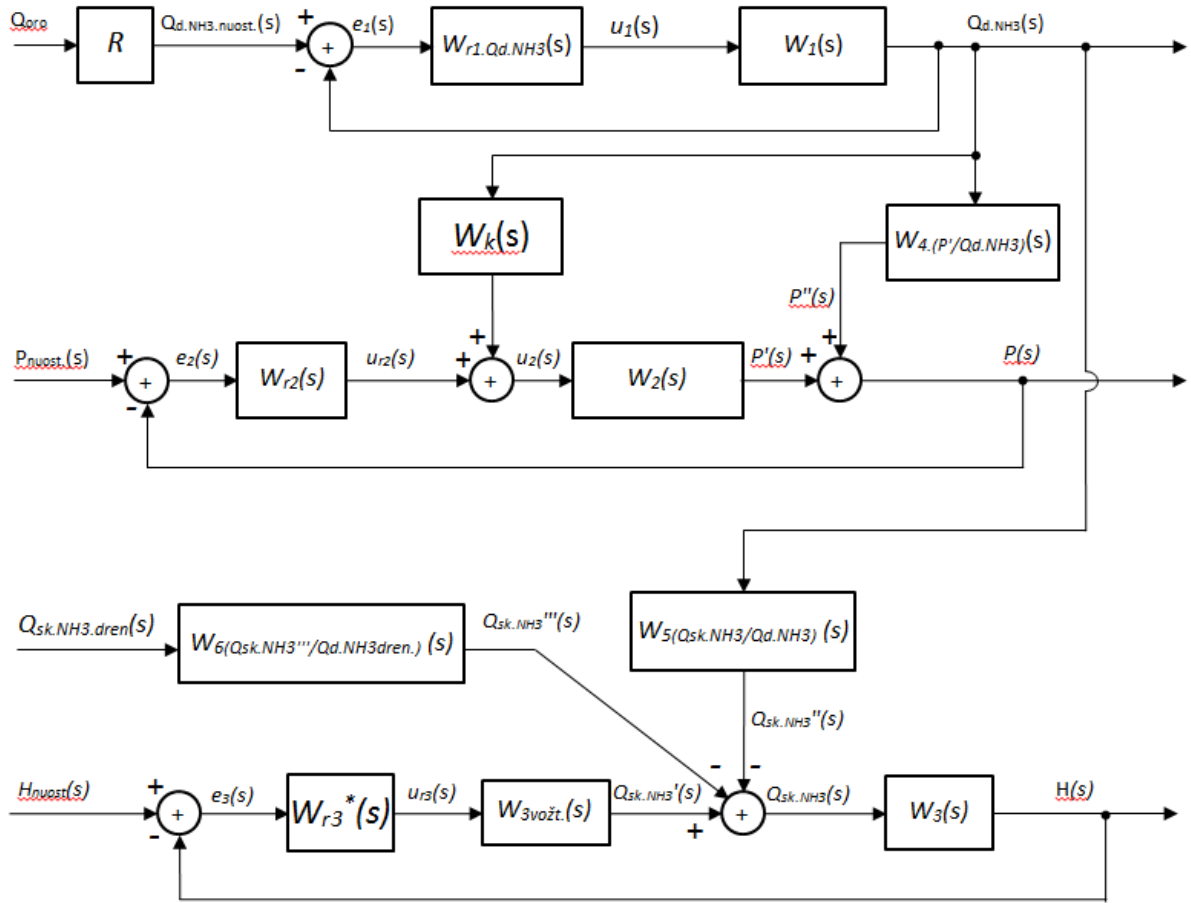
3.3. Patobulintos oro – amoniako mišinio paruošimo valdymo sistemos modelis

Įvertinus ryšius tarp atskirų valdymo kontūrų pastebėta, kad jie daro neigiamą įtaką oro – amoniako mišinio paruošimo sistemos darbui.

Dujinio amoniako srauto sukeliama neigiamą įtaką slėgio amoniako išgarintuve valdymo kontūrai galima kompensuoti, naudojant tiesioginio ryšio reguliatorių. Tiesioginio ryšio reguliatorius išduoda valdantį poveikį, trikdančiam poveikiui dar nespėjus paveikti valdomo objekto.

Lygio išgarintuve valdymo kontūro veikimą, kai atsiranda trikdantys poveikiai, galima pagerinti pakeitus sistemos reguliatoriaus valdymo dėsnį iš P į PI. Kadangi valdomam objektui nėra sudaryta specialių reguliatoriaus derinimo taisyklių, reguliatoriaus derinimas atliekamas bandymų ir klaidų metodu.

Oro – amoniako mišinio paruošimo sistemos struktūrinė schema įvedus trikdančio poveikio kompensavimo grandį $W_k(s)$ slėgio amoniako išgarintuve valdymo kontūrai ir pakeitus lygio reguliatorių $W_{r3}^*(s)$ pateikiama 3.11 pav.



3.11 pav. Oro - amoniako mišinio paruošimo valdymo sistemos struktūrinė schema, įvertinus ryšius tarp valdymo kontūrų ir papildyta slėgio kompensatoriumi.

Pateikiamoje blokinėje schemeje $W_k(s)$ yra tiesioginio ryšio regulatoriaus perdavimo funkcija. Regulatoriaus paskirtis yra kompensuoti dujinio amoniako srauto sukeltą trikdančią poveikį slėgiui amoniako išgarintuve. Kompensavimo grandis parenkama taip:

$$W_k(s) = -\frac{W_4(s)}{W_2(s)} = -\left(\frac{K_4 e^{-\tau_4 s}}{(T_{41}s+1)(T_{41}s+1)}\right) \left(\frac{T_2 s+1}{K_2 e^{-\tau_2 s}}\right) = -K_k \left(\frac{T_2 s+1}{(T_{41}s+1)(T_{41}s+1)}\right) e^{-\gamma s} \quad (34)$$

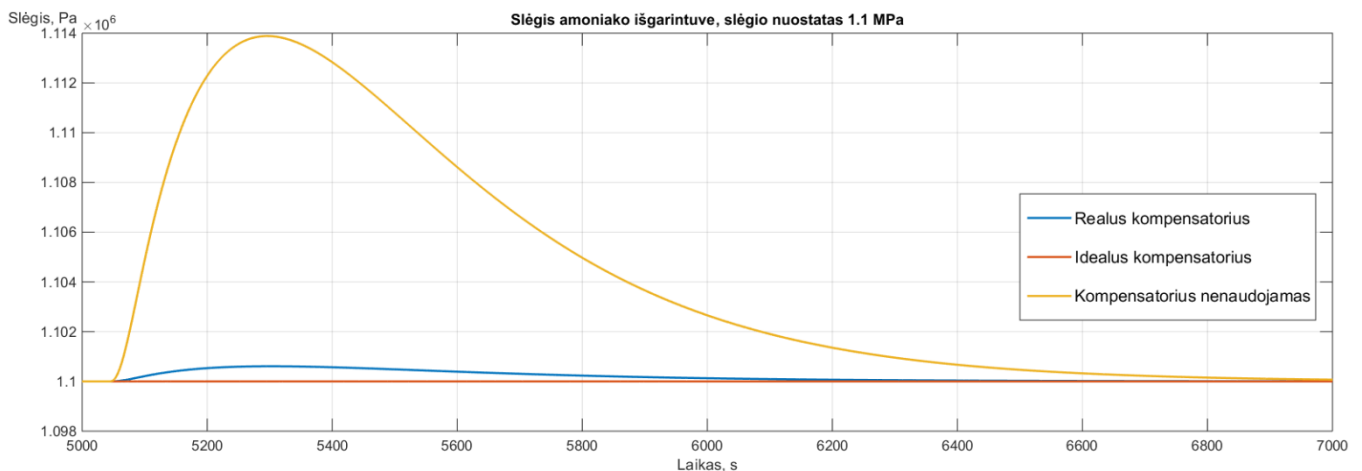
Čia $W_4(s)$ yra slėgio reguliavimo sistemą veikiančio trikdančio poveikio perdavimo funkcija, $W_2(s)$ – slėgio amoniako išgarintuve perdavimo funkcija. Šių perdavimo funkcijų parametrai identifikuoti 2.2 skyriuje. K_k – yra kompensatoriaus stiprinimo koeficientas lygus trikdančio poveikio ir proceso perdavimo funkcijų stiprinimo koeficientų santykiui $K_k = K_4/K_2$. Kompensatoriaus perdavimo funkcijoje vėlinimo laikas $\gamma = \tau_4 - \tau_2$.

Į (33) išraišką įstačius perdavimo funkcijų $W_4(s)$ ir $W_2(s)$ parametrus gaunama slėgio kompensatoriaus perdavimo funkcija:

$$W_{k1}(s) = 21.23 \left(\frac{882612}{(226s+1)(224.8s+1)} \right) e^{-31.3s} \quad (34)$$

Matlab/Simulink oro – amoniako mišinio paruošimo valdymo sistemos modelį papildžius kompensatoriumi $W_k(s)$ stebėta, kaip sistema reaguoja į dujinio amoniako srauto sukeltą trikdantį poveikį ir jo pokyčius. Analogiškai kaip ir 3.2 skyriuje esant nusistovėjusiam procesui, 5000 – ają modeliavimo sekundę oro srautas į sumaišytuvą šuoliškai pakeičiamas iš 63000 m³/h iki 53000 m³/h, dujinio amoniako koncentracija mišinyje palaikoma pastovi 10%. Dujinio amoniako srauto nuostatas, esant šiam oro srauto pokyčiui, pasikeičia nuo 7000 m³/h iki 5889 m³/h.

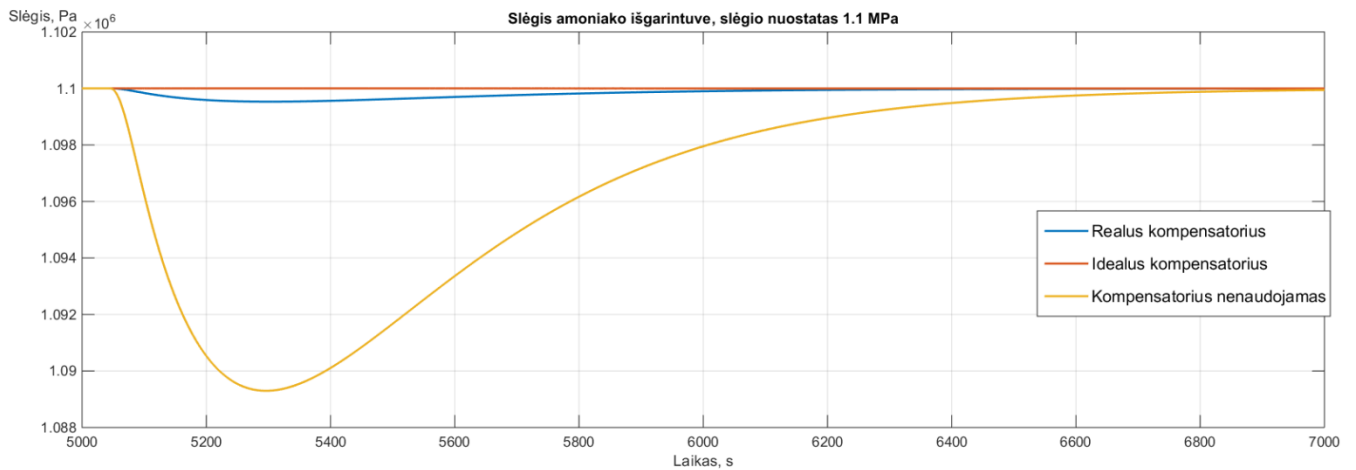
Slėgio kompensatoriaus perdavimo funkcijoje naudojami identiški parametrai kaip ir valdomo objekto bei trikdančio poveikio perdavimo funkcijose, todėl gaunamas idealus kompensavimas. Realiose sistemose neįmanoma visiškai tiksliai aproksimuoti trikdančio poveikio ir valdomo proceso perdavimo funkcijų, todėl imituojant realaus kompensatoriaus veikimą, kompensatoriaus parametrai šiek tiek pakoreguojami. Slėgio amoniako išgarintuve reakcijų į trikdančio poveikio pokytį palyginimas, kai naudojamas idealus kompensatorius, realus kompensatorius ir kai kompensatorius nenaudojamas, pateikiamas 3.12 paveiksle.



3.12 pav. Slėgio amoniako išgarintuve reakcijų į trikdančio poveikio pokytį palyginimas nenaudojant kompensuojančios grandies ir naudojant idealų bei realų trikdžio kompensatorių, kai šuoliškai pakeičiamas oro srautas.

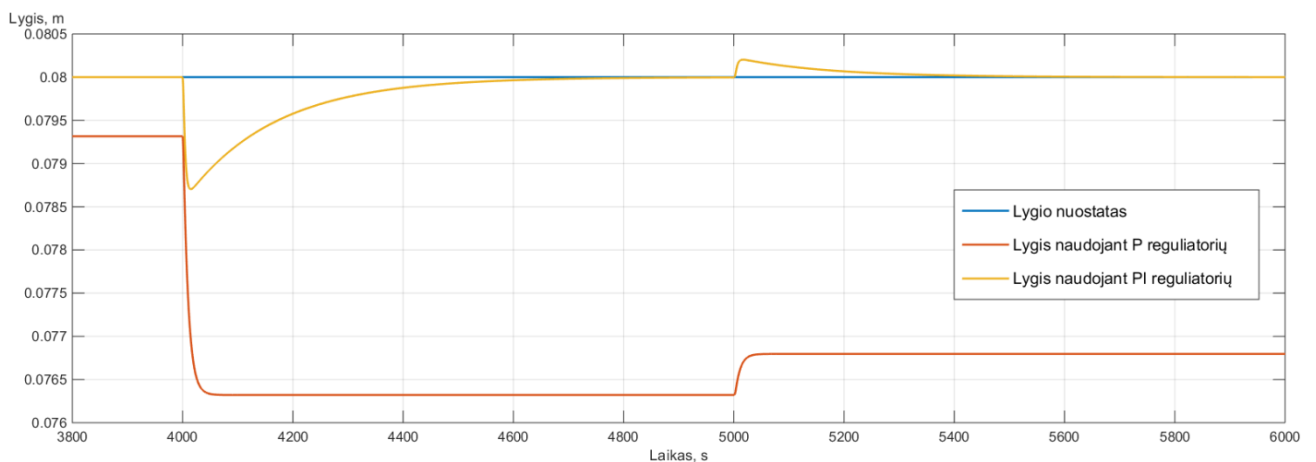
Slėgio amoniako išgarintuve reakcijų į trikdančio poveikio pokytį, atsirandantį pakeitus dujinio amoniako koncentracijos oro – amoniako mišinyje nuostatą iš 9.5% į 10.6%, o tiekiamo oro

į sumaišytuvą palaikant maksimaliu $63000 \text{ m}^3/\text{h}$, palyginimas naudojant idealų kompensatorių, realų kompensatorių ir kai kompensatorius nenaudojamas, pateikiamas 3.13 paveiksle.



3.13 pav. Slėgio amoniako išgarintuve reakcijų į trikdančio poveikio pokytį palyginimas nenaudojant kompensuojančios grandies ir naudojant idealų bei realų trikdžio kompensatorių, kai šuoliškai pakeičiama amoniako koncentracija oro – amoniako mišinyje.

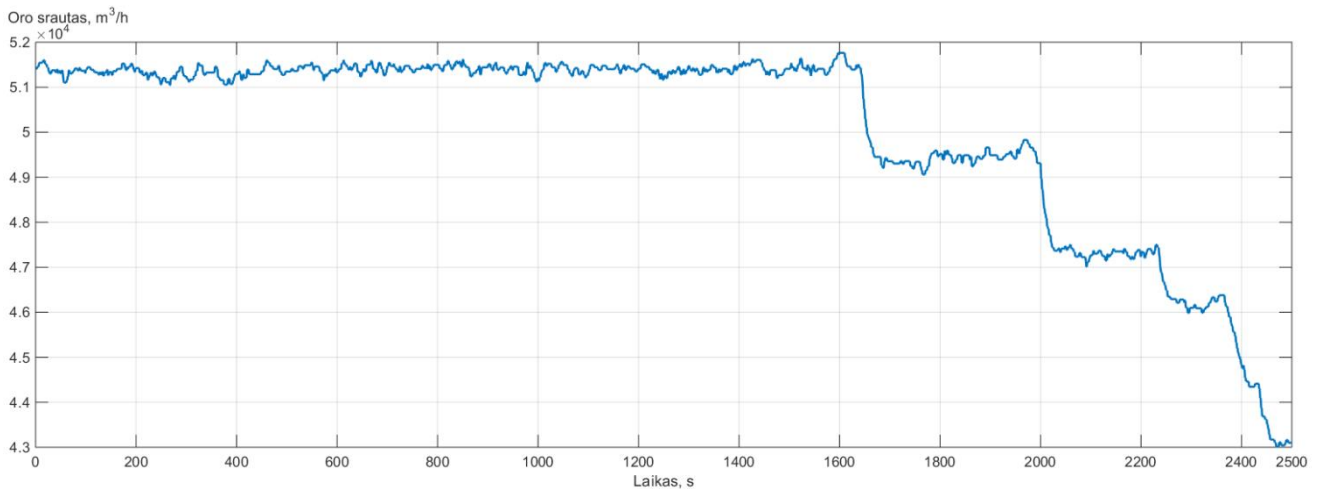
Kaip minėta anksčiau pakeisto lygio regulatoriaus parametrai suderinti naudojant bandymų ir klaidų metodą. Nustatyti PI regulatoriaus parametrai stiprinimo koeficientas $K_{r3}^*=52617$, integravimo laiko pastovioji $T_{i,r3}= 167$. Lygio valdymo sistemos reakcijų kreivių palyginimas sistemoje naudojant P ir PI regulatorius, kai šuoliškai pakeičiamas oro srautas (nuo $63000 \text{ m}^3/\text{h}$ iki $53000 \text{ m}^3/\text{h}$) pateikiamas 3.14 paveiksle.



3.14 pav. Lygio amoniako išgarintuve valdymo kontūro reakcijų kreivės į trikdančius poveikius, pakeitus į išgarintuvą tiekiamo oro srautą, kai naudojamas P reguliatorius ir PI reguliatorius .

3.4 Oro – amoniako mišinio paruošimo valdymo sistemų modelių veikimo palyginimas naudojant realius tiekiamo oro srauto į sumaišytuvą duomenis

Oro – amoniako mišinio paruošimo sistemos modelio, kuris aprašytas 3.2 poskyryje ir siūlomo patobulinto sistemos modelio veikimo palyginimas atliekamas naudojant istorinius duomenis iš kito akcinėje bendrovėje „ACHEMA“ veikiančio UKL-7 agregato, kuriame veikia kompiuterizuota valdymo sistema. Oro srauto duomenys parinkti, tuo laikotarpiu, kai palaipsniui mažinamas agregato apkrovimas. Oro srauto kitimo duomenys realiame procese pavaizduoti 3.15 pav.

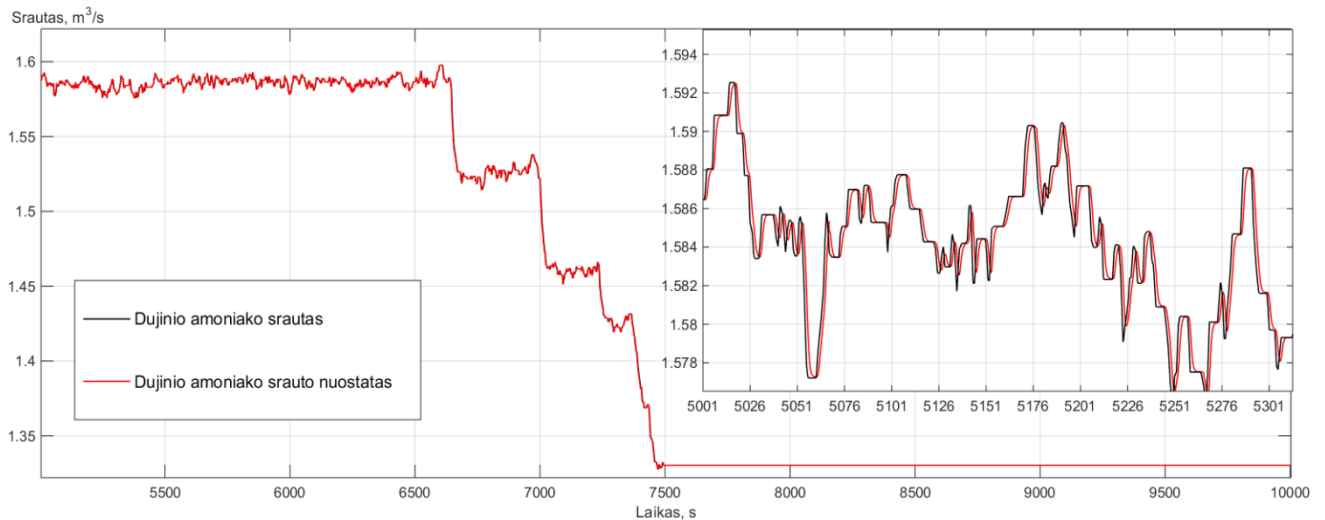


3.15 pav. Modelių veikimo palyginimui naudojami oro srauto kitimo duomenys UKL-7 agregate Nr. 6

Abiejuose valdymo sistemos modeliuose tuo pačiu laiko momentu – $t=5000s$, į dujinio amoniako srauto nuostato skaičiavimo bloką paduodami 3.15 pav. pavaizduoti oro srauto kitimo duomenys. Ir stebima kaip į šiuos pokyčius reaguoja dujinio amoniako srauto, slėgio amoniako išgarintuve ir skysto amoniako lygio valdymo kontūrai.

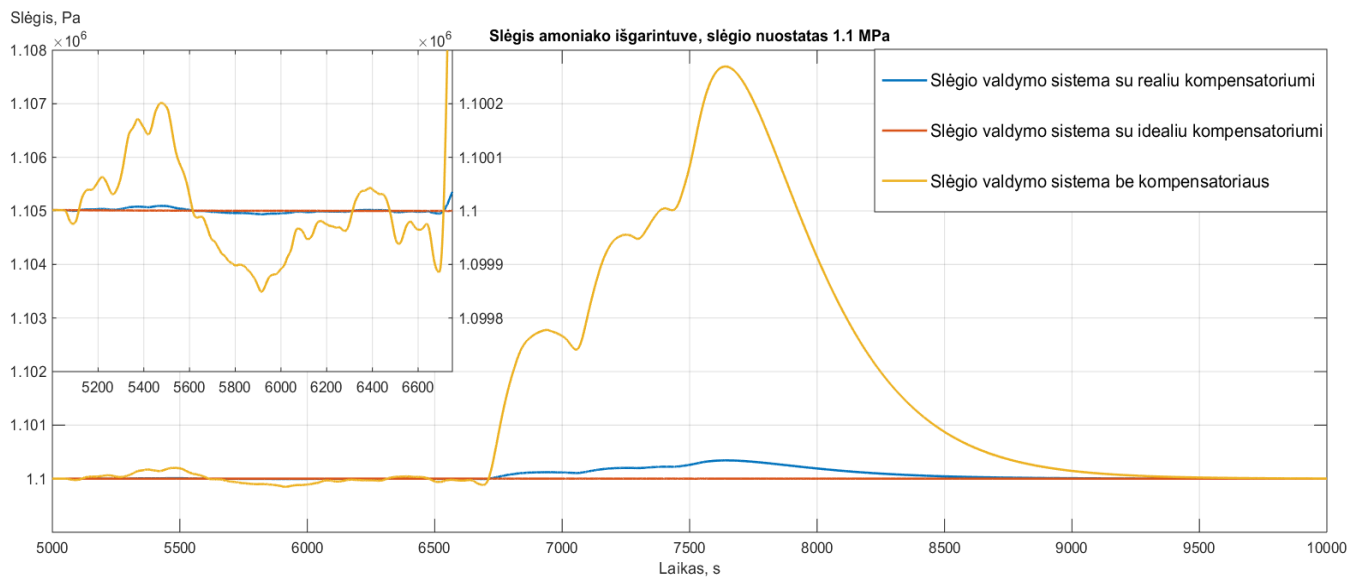
3.16 pav. pavaizduota kaip kinta dujinio amoniako srauto nuostatas ir dujinio amoniako srautas į santykio skaičiavimo bloką padavus oro srauto į išgarintuvą duomenis.

Grafike matome, kad dujinio amoniako srauto reguliatorius labai gerai seka dujinio amoniako srauto nuostato pokyčius.



3.16 pav. Dujinio amoniako srauto nuostato ir dujinio amoniako srauto kitimo grafikas

Slėgio amoniako išgarintuve kitimo grafikas, kai patobulintame oro – amoniako mišinio paruošimo valdymo sistemoje naudojamas idealus tiesioginio ryšio kompensatorius bei realus tiesioginio ryšio kompensatoriai ir kai naudojamas nepatobulintas valdymo sistemos modelis, kuriame nėra trikdančio poveikio kompensatoriaus pateikiamas 3.17 pav.

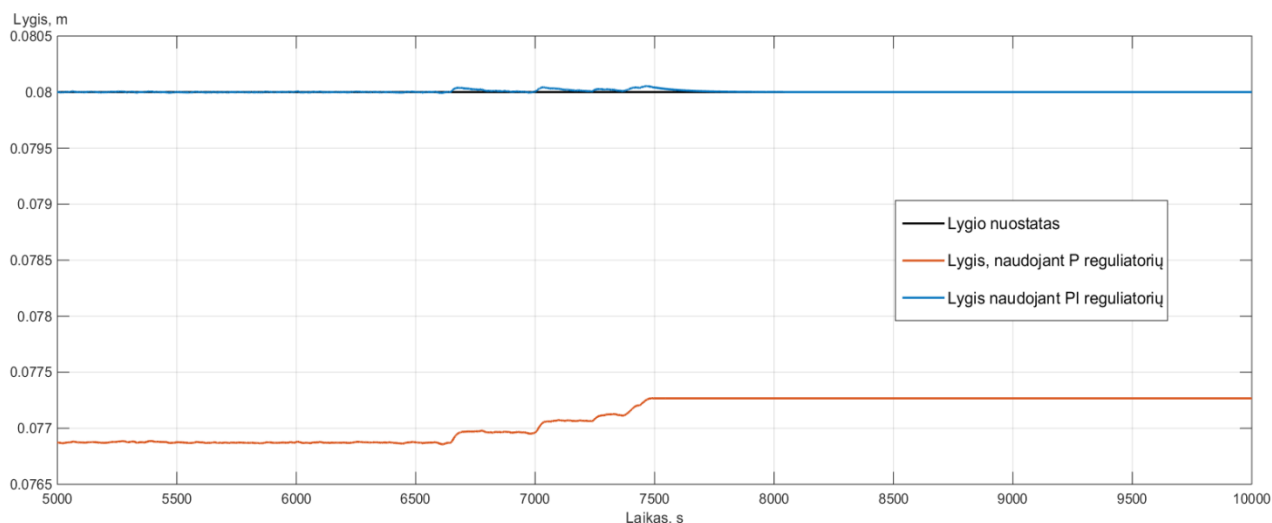


3.17 pav. Slėgio amoniako išgarintuve valdymo sistemų modelių veikimo palyginimas

Kaip matome slėgio valdymo sistema, kurios regulatorius suderintas naudojant IMC derinimo taisyklės labai prastai reaguoja stipriai pasikeitus į sumaišytuvą tiekiamo oro srautui, ir dėl šio pokyčio pasikeitus dujinio amoniako srautui. Patobulintoje sistemoje kurioje naudojamas tiesioginio ryšio kompensatorius, sistemos jautrumas trikdantiems poveikiams visiškai panaikinamas, jeigu naudojamas idealus kompensatorius. Toks kompensatorius realioje sistemoje sunkiai realizuojamas,

nes reikia turėti tikslų proceso modelį. Bet kaip matome net ir dirbtinai įvedus kompensatoriaus perdavimo funkcijoje neatitikimus proceso modeliui, žymiai pagerinama slėgio išgarintuve valdymo kokybė.

3.18 paveiksle pavaizduotas lygio kitimas naudojant P reguliatorių ir patobulintoje sistemoje naudojant PI reguliatorių.



3.18 pav. Lygio amoniako išgarintuve valdymo sistemos modelių veikimo palyginimas

Kaip matome naudojant lygio valdymo sistemą su P reguliatoriumi laiko momentu $t=5000s$, jau yra statinė paklaida. Mažėjant oro srautui ir atitinkamai dujinio amoniako srautui, statinė paklaida šiek tiek sumažėja, tačiau vis tiek išlieka. Naudojant sistemą su PI reguliatoriumi gaunama daug geresnė lygio valdymo kokybė. Dėka reguliatoriaus I dedamosios eliminuojama statinė paklaida.

4. Valdymo sistemų modeliavimo rezultatų palyginimas ir analizė

Palyginus dujinio amoniako valdymo sistemos uždaro kontūro reakcijų į šuolinį nuostato pokytį kreives, sistemoje naudojant įvairiomis derinimo taisyklėmis suderintą PI reguliatorių, geriausia valdymo kokybė pasiekta regulatoriaus parametrų nustatymui naudojant vidinio modelio (IMC) derinimo taisyklės, kadangi dujinio amoniako srauto valdymo sistemai keliamas reikalavimas tiksliai sekti nuostato pokyčius ir nepageidaujamas palaikomo parametro perreguliavimas.

Slėgio amoniako išgarintuve valdymo sistema geriausiai reaguoja į nuostato pokyčius, kai sistemos reguliatorius suderintas naudojant vidinio modelio derinimo taisyklės, tačiau sistemą veikiant trikdančiam poveikiui valdymo kokybė stipriai suprastėja. Geresnė valdymo kokybė reaguojant į trikdančio poveikio pokyčius pasiekama naudojant IAE ir ISE kriterijų optimizavimu paremtas derinimo taisyklės, tačiau tuomet nukenčia valdymo kokybė reaguojant į nuostato pokyčius. Skysto amoniako lygio valdymo sistemoje naudojant P reguliatorių ir nuolat veikiant trikdančiam poveikiui atsiranda statinė paklaida. Statinės paklaidos dydis proporcingai priklauso nuo trikdančių poveikių suminės vertės. Esant maksimaliam trikdančiam poveikiui statinės paklaidos vertė apytiksliai lygi 3,7 mm. Toks valdymo tikslumas realiame procese yra pakankamas.

Įvertinus dujinio amoniako srauto įtaką, slėgio ir lygio amoniako išgarintuve valdymo sistemoms pasiūlyta nauja valdymo struktūra, slėgio amoniako išgarintuve valdymo kontūrą papildant tiesioginio ryšio kompensatoriumi, o skysto amoniako lygio P reguliatorių pakeičiant PI reguliatoriumi. Naudojant idealų tiesioginio ryšio kompensatorių visiškai eliminuota trikdančio poveikio įtaka slėgio amoniako išgarintuve valdymui. Imituojant realų trikdžio kompensatorių gaunamas prastesnis trikdžio kompensavimas nei sistemoje naudojant idealų kompensatorių tačiau vis tiek ženkliai sumažinama dujinio amoniako srauto kitimo įtaka slėgio amoniako išgarintuve palaikymui. Dujinio amoniako slėgio amoniako išgarintuve valdymo sistemoje realizavus trikdančio poveikio kompensavimą ženkliai pagerinta valdymo kokybė. Skysto amoniako lygio valdymui naudojamą P reguliatorių pakeitus PI, sistemoje panaikinama dėl trikdančių poveikių veikimo atsirandanti statinė paklaida.

Originalios ir patobulintos struktūros oro – amoniako mišinio paruošimo valdymo sistemos modelių veikimas palygintas naudojant realaus proceso oro tiekiamo į sumaišytuvą duomenis. Įsitikinta, kad oro – amoniako mišinio paruošimo sistemoje įvedus trikdančius poveikius kompensuojančius valdymo elementus galima pasiekti geresnę dujinio amoniako slėgio ir lygio amoniako išgarintuve valdymo sistemų valdymo kokybę, todėl galima teigti, kad pagerinama oro – amoniako mišinio paruošimo valdymo sistema.

IŠVADOS IR REZULTATAI

1. Atlikta cheminės technologijos procesų valdymo sistemų struktūrų ir reguliatorių derinimo metodų apžvalga. Išanalizuotas azoto rūgšties gamybos technologinis procesas AB „ACHEMA“ veikiančiame azoto rūgšties agregate.

2. Remiantis valdomo proceso (oro – amoniako mišinio paruošimo) šuolinės reakcijos eksperimentais, atliktais azoto rūgšties agregate, identifikuoti perdavimo funkcijų modeliai procesų dinamiškai modeliuoti.

3. Sudarytas ir Matlab/Simulink aplinkoje realizuotas oro – amoniako mišinio paruošimo technologinio proceso valdymo sistemos modelis, atliktas sistemos reguliatorių derinimas ir sistemos veikimo imitacinis modeliavimas.

4. Siekiant pagerinti valdomo proceso technologinių parametrų reguliavimo tikslumą, slėgio amoniako išgarintuve valdymo sistemoje papildomai įvestas tiesioginio ryšio reguliatorius, skysto amoniako lygio reguliavimo kontūre P reguliatorius pakeistas PI reguliatoriumi, tokiu būdu kompensuojant dėl trikdančio poveikio atsirandančias statines paklaidas.

5. Originalios ir patobulintos struktūros oro – amoniako mišinio paruošimo proceso valdymo sistemų veikimo palyginimas atliktas imitacinio modeliavimo būdu, modeliavimo eksperimentuose naudojant realaus proceso metu veikiančių trikdančių poveikių duomenis. Modeliavimo rezultatai parodė, kad įvestas tiesioginio ryšio kompensatorius reikšmingai pagerina slėgio amoniako išgarintuve valdymo kokybės rodiklius. Pakeitus skysto amoniako lygio reguliatoriaus valdymo dėsnį iš P į PI, panaikinama lygio reguliavimo statinė paklaida, atsirandanti dėl įtekančio srauto trikdančių poveikių.

INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

1. Levišauskas D. „Automatinio reguliavimo sistemų derinimas“, mokomoji knyga, Vilniaus pedagoginio universiteto leidykla, Vilnius, 2008, p. – (39-43, 80-81, 85-87).
2. Luyben M.L.; Luyben W.L. „Essentials of Process Control“, MC Graw – Hill, 1997, p. – (98-99, 117).
3. Astrom. K.J.; Hagglund T. „PID Controllers: Theory, Design and Tuning“, 2nd ed., Instrument Society of America, 1995, p. – (134-137, 149-150, 233-236, 274-274).
4. Luyben W.L. „Process modeling, simulation and control for chemical engineers“ 2nd ed., MC Graw – Hill, 1996, p. – (262-263).
5. O’Dwyer „Handbook of PI and PID Controller Tuning Rules“ 2nd ed., Imperial College Press, Singapoore, 2006, p. – (24, 28).
6. Su Whan Sung, Jietae Lee „Process identification and PID control“, John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd, Singapoore, 2009, p. – (159 – 161).
7. Smith C. A., Corripio A. B. „Principles and Practice of Automatic Process Control“, 2nd ed., John Wiley & Sons Inc. 1997, p. – (350-360)
8. Mandeikytė N. M. „Bendroji cheminė technologija“, mokomoji knyga, leidykla „Technologija“, Kaunas, 2008, p. – (129-134).
9. Kaušpėdas A. „Cheminė technologija“, leidykla „Mintis“, 1971, p – (137-139).
10. AB „ACHEMA“, „Azoto rūgšties gamybos nuolatinis technologinis reglamentas“, 2008, p. – (1, 4-18, 26-31, 35, 46, 54-64, 120 – 130, 159-173).
11. Simutis R. „Sistemų modeliavimas ir identifikavimas“, mokomoji knyga, Vilniaus pedagoginio universiteto leidykla, Vilnius, 2008, p. – (89 – 94).
12. Prieiga per internetą:
Apie amoniako savybes http://www.engineeringtoolbox.com/ammonia-d_971.html.

Priedas Nr.1

Priedas Nr.1

Programos tekstas perdavimo funkcijų parametrų identifikavimui

Žemiau pateikiamas perdavimo funkcijos $W_4(s)$ parametrų nustatymo iš eksperimentinių duomenų, naudojant chemotaksinės paieškos algoritimą, programos tekstas, kuris parašytas MATLAB aplinkoje. Perdavimo funkcijų $W_1(s)$ ir $W_2(s)$ parametrai identifikuoti tokiu pačiu principu, tik buvo naudojamas pirmos eilės su vėlavimu perdavimo funkcijos sprendinys.

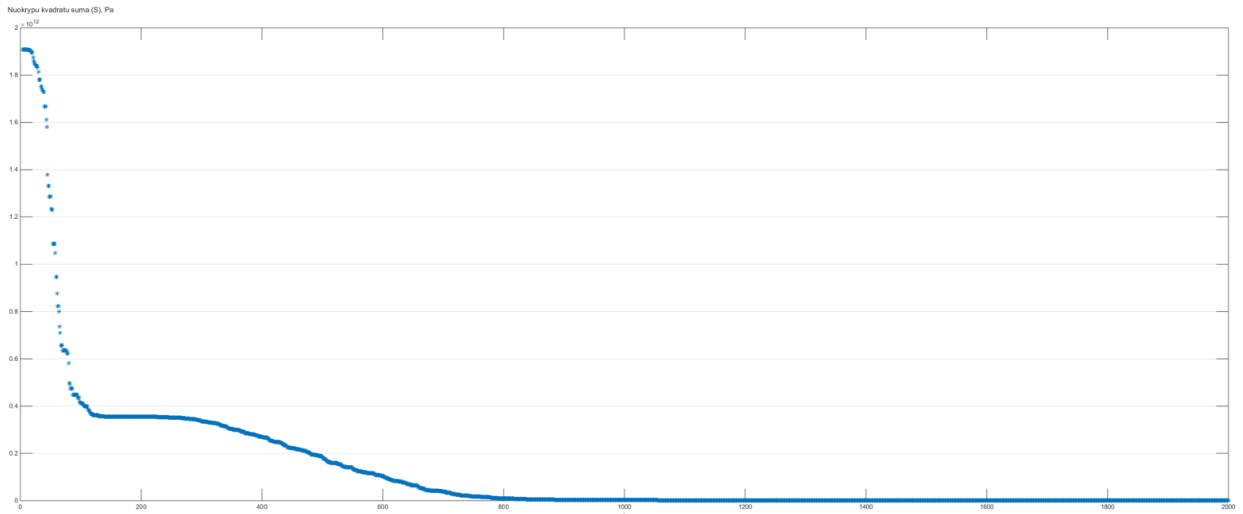
```
%Eksperimentiniai duomenys
ye=[0 0;17 0;45 0;60 0.005;400 0.7;583 1;707 1.15; 960 1.4;1350 1.49; ]
%Keitimas kgf/cm2 i Pa
ye(:,2)=(ye(:,2)*98068)/0.167;plot(ye(:,1),ye(:,2),'*')
%Antros eiles perdavimo funkcijos su vėlavimu sprendinio pradiniai parametrai
K=882612;T1=200;T2=200;Tau=20;
%Perdavimo funkcijos sprendinys su pradiniais parametrais
y=[];y(:,1)=ye(:,1);
y(:,2)=K*(1-(T1/(T1-T2))*exp(-((ye(:,1)-Tau)/T1))+(T2/(T1-T2))*exp(-((ye(:,1)-Tau)/T2)));
for i=1:9
if y(i,1)<59.9
y(i,2)=0;
end
end
%Nuokrypiu kvadratu sumos skaiciavimas
S0=sum((ye(:,2)-y(:,2)).^2);
%Perdavimo funkcijos sprendinio parametru modifikavimas atsitiktiniu dydziu turinciu normalini
pasiskirstymo desni, miu=0, std=1
deltaT=1;deltaTau=1;
Tn1=T1-(deltaT*randn);Tn2=T1-(deltaT*randn);Tau1=Tau-(deltaTau*randn);
%Naujas sprendinys
y1=[];y1(:,1)=ye(:,1);
y1(:,2)=K*(1-(Tn1/(Tn1-Tn2))*exp(-((ye(:,1)-Tau1)/Tn1))+(Tn2/(Tn1-Tn2))*exp(-((ye(:,1)-
Tau1)/Tn2)));
%Laiko momentais T<Tau y=0
for i=1:9
if y1(i,1)<59.9
y1(i,2)=0;
end
end
%Nuokrypiu kvadratu suma tarp pradinio ir modifikuoto sprendinio
S=sum((ye(:,2)-y1(:,2)).^2);
%Ciklas kuris iesko optimaliu perdavimo funkcijos parametru
for i=1:100000
SS(i)=S; SSS(i)=S0;
if S0<S
Tn1=T1-(deltaT*randn);Tn2=T2-(deltaT*randn);Tau1=Tau-(deltaTau*randn);
```

```

y=[];y(:,1)=ye(:,1);y(:,2)=K*(1-(T1/(T1-T2))*exp(-((ye(:,1)-Tau)/T1)))+(T2/(T1-T2))*exp(-
((ye(:,1)-Tau)/T2));
for i=1:9
if y(i,1)<Tau
y(i,2)=0;
end
end
y1=[];y1(:,1)=ye(:,1);y1(:,2)=K*(1-(Tn1/(Tn1-Tn2))*exp(-((ye(:,1)-Tau1)/Tn1)))+(Tn2/(Tn1-
Tn2))*exp(-((ye(:,1)-Tau1)/Tn2));
for i=1:9
if y1(i,1)<Tau1
y1(i,2)=0;
end
end
S=sum((ye(:,2)-y1(:,2)).^2);
else
S0=S; y=y1;T1=Tn1;T2=Tn2;Tau=Tau1;Tn1=T1-(deltaT*randn);Tn2=T2-(deltaT*randn);
Tau1=Tau-(deltaTau*randn);y1=[]; y1(:,1)=ye(:,1);
y1(:,2)=K*(1-(Tn1/(Tn1-Tn2))*exp(-((ye(:,1)-Tau1)/Tn1)))+(Tn2/(Tn1-Tn2))*exp(-((ye(:,1)-
Tau1)/Tn2));
for i=1:9
if y1(i,1)<Tau1
y1(i,2)=0;
end
end
S=sum((ye(:,2)-y1(:,2)).^2);
end
end
%Rezultatu atvaizdavimas
figure()
plot(SSS,'*')
ym=[];ym(:,1)=0:1:1400;
ym(:,2)=K*(1-(T1/(T1-T2))*exp(-((ym(:,1)-Tau)/T1)))+(T2/(T1-T2))*exp(-((ym(:,1)-Tau)/T2));
for i=1:1401
if ym(i,1)<Tau
ym(i,2)=0;
end
end
T1 T2 Tau
figure()
plot(ye(:,1),-ye(:,2),'*',ym(:,1),-ym(:,2))

```

Žemiau pateiktame paveiksle pavaizduota kaip veikiant algoritmui mažėja nuokrypu kvadratų suma.



P1.1 pav. Nuokrypų kvadratų sumos kitimo grafikas, abscisių ašyje atidėtas iteracijos skaičius