LATVIJAS UNIVERSITĀTE
FIZIKAS UN MATEMĀTIKAS FAKULTĀTE
MATEMĀTIKAS NODAĻA

UZ NESTRIKTĀS LOĢIKAS BALSTĪTA LĒMUMU PIEŅEMŠANAS SISTĒMA NODOKĻU SAMAKSAS TERMIŅA PAGARINĀJUMA PIETEIKUMU NOVĒRTĒŠANAI

BAKALAURA DARBS

Autore: **Anna Siņukova**
Stud. apl. Nr. aj14025
Darba vadītāja: prof. Svetlana Asmuss

RĪGA 2018

ANOTĀCIJA

Darbs ir veltīts nestriktām secinājumu sistēmām un to lietojumiem ekonomiskā rakstura uzdevumu risināšanai. Bakalaura darbā tika izveidota un aprobēta uz nestriktās loģikas balstītā lēmumu pieņemšanas sistēma nodokļu samaksas termiņa pagarinājuma pieteikumu novērtēšanai. Darba gaitā tika veikta datu analīze, definēta sistēmas hierarhiskā struktūra un uzdota kārtulu bāze. Uzbūvētais modelis ļaus optimizēt Valsts ieņēmumu dienesta nodokļu samaksas termiņa pagarinājumu piešķiršanas procesu, paaugstinot pareizā lēmuma pieņemšanas precizitāti un paātrinot iesnieguma izskatīšanas procesu.

Atslēgvārdi: Nestriktā loģika, uz nestriktās loģikas balstīta lēmumu pieņemšanas sistēma, nodokļu samaksas termiņa pagarinājums, diskretizācijas algoritms.

ABSTRACT

This paper is dedicated to the fuzzy inference systems and their applications for economical tasks solution. The work contains the development and the practical use of the fuzzy logic-based decision making system for evaluation of tax deferral applications. Over the course of the paper the data analysis was performed, the hierarchical structure of the system was determined, as well as the knowledge base was established. The built model will allow to optimise the process of tax deferral application evaluation, at the same time increasing the accuracy of correct decision making, as well as accelerating the process of application review.

Keywords: Fuzzy logic, fuzzy logic based decision-making system, tax deferral, discretization algorithm.

Saturs

IEVADS 5

1. NODOKĻU SAMAKSAS TERMIŅA PAGARINĀJUMA PIEŠĶIRŠANA 6
   1.1. Jautājumu izskatīšana par nodokļu maksāšanas termiņa pagarināšanu 6
   1.2. Nodokļu maksātāja finansiālā stāvokļa novērtēšana 7

2. DATU ANALĪZE 8
   2.1. Uz χ^2 balstītais nepārtraukto mainīgo diskretizācijas algoritms 8
   2.2. Lēmumu koka konstruēšana ar automātiskās mijsakarību noteikšanas algoritma palīdzību 11

3. UZ NESTRIKTĀS LOĢIKAS BALSTĪTA LĒMUMU PIEŅEMŠANAS SISTĒMA 13
   3.1. Fazificēšanas elementi 13
   3.2. Nestriktā secinājuma elementi 18
   3.3. Defazificēšanas elementi 24

4. NESTRIKTĀ SECINĀJUMU SISTĒMA NODOKĻU MAKSĀTĀJU TERMIŅA PAGARINĀJUMA PIETEIKUMU NOVĒRTĒŠANAI 28
   4.1. Sistēmas modelēšana 28
   4.2. Sistēmas pārbaude 44

NOBEIGUMS 45

IZMANTOTĀ LITERATŪRA UN AVOTI 46

PIELIKUMI 48

IEVADS

Bakalaura darba galvenais mērķis ir izstrādāt uz nestriktās loģikas balstītu lēmumu pieņemšanas sistēmu nodokļu maksātāja (turpmāk – NM) maksātspējas prognozēšanai. Situācijā, kad nodokļu maksātājam, pēc deklarāciju iesniegšanas vai Valsts ieņēmumu dienesta (turpmāk – VID) kontroles pasākumu rezultātā ir izveidojies nodokļu parāds pastāv iespēja pieteikt parāda samaksas termiņa pagarinājumu (turpmāk – TP). TP tiek pieteikts ar NM rakstveida motivētu iesniegumu Valsts ieņēmumu dienestam. Izskatot TP iesniegumu VID vērtē nodokļu maksātāja faktisko finansiālo stāvokli, agrāk piešķirto TP izpildi, nodokļu un nodevu normatīvo aktu ievērošanu. Izstrādāta sistēma būs TP pieteikumu vērtēšanas palīgrīks.

Mērķa sasniegšanai ir izvirzīti šādi darba uzdevumi:

1. iepazīties ar nodokļu samaksas termiņa pagarinājuma piešķiršanas kārtību;
2. veikt uzņēmumu datu nepilnību labošanu, datu analīzi, uz χ^2 balstīto nepārtraukto mainīgo diskretizāciju (Chi-Merge) un izmantot automātisko mijsakarību noteikšanu pēc kritērija χ^2 (CHAID);
3. iepazīties ar nestrikto loģiku, uz nestriktās loģikas balstītu lēmumu pieņemšanas sistēmu;
4. balstoties uz datu analīzi un eksperta pieredzi definēt nestriktā secinājuma sistēmas ieejas un izejas mainīgos un kārtulu bāzi;
5. uzbūvēt nodokļu samaksas termiņa pagarinājuma pieteikuma izvērtēšanas modeli datorprogrammā MATLAB un pārbaudīt tā efektivitāti.

Dažāda lieluma uzņēmumiem finanšu rādītāju un lieluma kritēriju robežvērtības atšķiras, tāpēc bakalaura darbā ir pētītas tikai juridiskās personas, kuras atbilst mikrouzņēmuma kritērijiem: darbinieku skaits nepārsniedz 10 un apgrozījums vai uzņēmuma aktīvu vērtība nepārsniedz 10 milj. eiro.

Bakalaura darbs sastāv no ievada, četrām nodaļām, nobeiguma, izmantotās literatūras saraksta un pielikumiem. Pirmajā nodaļā ir aprakstīta nodokļu samaksas termiņa pagarināšanas iesniegumu izskatīšanas kārtība, kā arī aplūkoti rādītāji uzņēmuma maksātspējas novērtēšanai. Otrajā nodaļā ir veikta uzņēmumu datu analīze: trūkstošo vērtību aizstāšana vai dzēšana, uz χ^2 balstītā nepārtraukto mainīgo diskretizācija datorprogrammā R un lēmumu koku konstruēšana pēc automātiskās mijsakarību noteikšanas algoritma datorprogrammā SPSS Modeler. Trešā nodaļa ir veltīta uz nestriktās loģikas balstītās lēmumu pieņemšanas sistēmas teorētiskajām aprakstam. Ceturtajā nodaļā ir veikta sistēmas praktiskā pielietošana un izveidotā modeļa pārbaude.

1. NODOKĻU SAMAKSAS TERMIŅA PAGARINĀJUMA PIEŠĶIRŠANA

Nodokļu maksātājam pastāv iespēja atvieglot nodokļu parāda atmaksu, sadalot to termiņos līdz noteiktajam datumam. Pēc piešķirtā TP nokavējuma nauda tiek aprēķināta pēc samazinātās procentu likmes $0,0125\%$ apmērā no pamatparāda summas par katru nokavēto dienu. Atbilstoši likuma "Par nodokļiem un nodevām" 24. panta 1. un $1.^3$ daļu nosacījumiem TP drīkst sadalīt uz laiku līdz sešiem mēnešiem, līdz vienam gadam un līdz pieciem gadiem. TP periods ir atkarīgs no parāda rašanās iemesla. Darbā ir analizēti TP, kas ņemti aprēķināta nodokļa (pēc nodokļu deklarācijas) izmaksāšanas neiespējamības dēļ (24. pants 1. daļa 1. punkts) un pēc veiktās kontroles aprēķināta nodokļa maksājuma, nokavējuma naudas un soda naudas izmaksāšanas neiespējamības dēļ (24. pants 1. daļa 3. punkts). Lai analizētu uz TP izpildi ietekmējošos faktorus ir atlasīti uzņēmumu dati par iepriekšējo gadu, pirms TP iesnieguma iesniegšanas datuma (dati, kas bija pieejami uz izskatīšanas brīdi).

1.1. Jautājumu izskatīšana par nodokļu maksāšanas termiņa pagarināšanu

Saņemot motivētu iesniegumu, nodokļu administrācija pārbauda vai tiek izpildīti visi noteikumi, lai TP būtu tālāk vērtējams, tas ir, iesniegta visa pieprasītā informācija un iesniegums ir iesniegts savlaicīgi.

Nodokļu administrācija piešķir vai nepiešķir nodokļu samaksas termiņa pagarinājumu, balstoties uz secinājumiem par uzņēmuma faktisko finansiālo stāvokli un vai šīs stāvoklis var novest pie maksātnespējas. VID analizē uzņēmumu pēc sekojošiem kritērijiem [15]:

1. uzņēmuma faktiskais finansiālais stāvoklis pēc iesniegtās operatīvās bilances datiem, aprēķinot finanšu rādītājus un vērtējot informāciju par izsniegtiem aizdevumiem un izmaksātām dividendēm;
2. iepriekš piešķirto TP izpilde;
3. nodokļu maksāšanas disciplīna, termiņu ievērošana;
4. vai uzsākts piedziņas process;
5. konstatētie pārkāpumi.

1.2. Nodokļu maksātāja finansiālā stāvokļa novērtēšana

Finanšu analīzes pamatā ir iekļauti vairāki posmi un metodes. Sniegto informāciju vērtē ar metodēm, bāzētām uz uzticamiem loģiskiem un pieņemtiem principiem. Veic vairākas operācijas, tādas kā, koeficientu aprēķināšanu, datu transformēšanu datu ticamības novērtēšanai, kopējo uzņēmuma darbības vērtējumu, rādītāju salīdzināšanu ar citu uzņēmumu rādītājiem un citas.

Eksistē daudz izstrādāto maksātnespējas prognozēšanas modeļu, atkarībā no uzņēmumu maksātnespējas procedūru regulējošajiem normatīvajiem aktiem. Kā maksātnespējas faktorus izšķir [5]: ekonomisko faktoru nelabvēlīga ietekme, finansiālās grūtības, profesionalitātes trūkums, stihiskas nelaimes un krāpniecība un pārējos. Finanšu analīzes kvantitatīvās metodes vairākumā balstās uz finanšu koeficientu analīzi. Apskata likviditātes, rentabilitātes, efektivitātes, maksātspējas un stabilitātes rādītājus.

Sistēmas izstrādei ir izvēlēti TP izpildi ietekmējošie faktori:

1. kopējo ienākumu vidējais augšanas temps (6 mēnešus pirms TP iesnieguma izskatīšanas);
2. ienākumus saņēmušo darbinieku skaita vidējais augšanas temps (6 mēnešus pirms TP iesnieguma izskatīšanas);
3. nodokļu parāda vidējais augšanas temps (6 mēnešus pirms TP iesnieguma izskatīšanas);
4. nodokļu un informatīvo deklarāciju iesniegšanas termiņu neievērošana, kavēšanas dienu skaits (12 mēnešus pirms TP iesnieguma izskatīšanas);
5. privātpersonām, komercsabiedrības akcionāriem vai dalībniekiem un vadībai izsniegtie aizdevumi, kas nav atmaksāti un izmaksātas dividendes (12 mēnešus pirms TP iesnieguma izskatīšanas);
6. nosūtīto inkaso uzdevumu vai veikto inkaso iemaksu, vai lēmumu par nokavēto nodokļu maksājumu piedziņu (12 mēnešus pirms TP iesnieguma izskatīšanas) esamība;
7. rentabilitātes rādītājs (aprēķināts no pēdējā iesniegtā vai operatīvā gada pārskata datiem):

$$\text{Rentabilitāte} = \frac{\text{Peļņa}}{\text{Apgrozījums}};$$

8. kopējais likviditātes rādītājs (aprēķināts no pēdējā iesniegtā vai operatīvā gada pārskata datiem):

$$\text{Kopējais likviditātes rādītājs} = \frac{\text{Apgrozāmie līdzekļi}}{\text{Īstermiņa saistības}}.$$

2. DATU ANALĪZE

Viena no svarīgākajām darba daļām ir datu analīze un datu sagatavošana sistēmas izstrādāšanai. Šajā nodaļā apskatīsim, kā dati ir atlasīti, kādas ir veiktas datu transformācijas un kādas papildus metodes ir pielietotas nestriktās loģikas lēmumu pieņemšanas sistēmas attīstīšanai.

Dati ir ņemti no iesniegtajām deklarācijām un pārskatiem, ka arī pilna informācija par pabeigtiem un atteiktiem nodokļu samaksas termiņu pagarinājumu pieteikumiem. Analīzei ir izvēlēti pabeigtie TP, kuru beigu datums ir 2017. gadā un atteiktie TP, kuru iesniegumu datums ir periodā no 2016. līdz 2017. gadam. Savukārt, TP izpildi ietekmējošo faktoru vērtības ir ņemtas no iepriekšējā gada perioda pirms TP iesnieguma izskatīšanas brīža (zināmas uz to brīdi).

Sistēmas izstrādāšanai ir apvienoti TP, kuru sākuma datums ir vienā mēnesī un ir, vai visi izpildīti, vai visi neizpildīti. Ir aprēķināta to vidējā izpilde. Šī transformācija ir veikta, lai analīzē nebūtu atkārtoto datu. TP uzskata par izpildītu, ja ir izmaksāts ne mazāk, ka 80% no kopējās summas, pretējā gadījumā to uzskata par neizpildītu.

Mācību izlasei ir atlasīti 110 TP, kas ir izpildīti, un 110, kas nav izpildīti. Izlase nesatur trūkstošās vērtības.

2.1. Uz χ^2 balstītais nepārtraukto mainīgo diskretizācijas algoritms

Viens no nestriktā secinājuma sistēmas izstrādāšanas posmiem ir ieejas un izejas nestrikto kopu un lingvistisko vērtību uzdošana. Kā palīgrīks ir izmantots nepārtraukto mainīgo diskretizācijas algoritms [3]. Pēc šī algoritma var atrast optimālāko nepārtrauktā mainīga vērtību sadalījumu intervālos, pēc iespējas minimizējot to skaitu. To sauc par kopu apvienošanas procesu no lejas uz augšu, kur kādā mainīgā vērtības apvienojās intervālos līdz brīdim, kad izpildās beigu nosacījums. Ja datus sadala pēc kādas pazīmes n klasēs, tad χ^2 statistika nosaka, vai blakus mainīgā vērtību intervālu biežumi katrā klasē atšķiras vai ir pietiekami vienādi, lai tos varētu apvienot vienā intervālā.

Statistika χ^2 pārbauda hipotēzi par divu pazīmju neatkarību. Attiecinot to uz diskretizācijas problēmu, tas pārbauda, vai ir statistiski nozīmīgi, kurā no blakus intervāliem pieder klase. Ja tiek secināts, ka klase ir statistiski neatkarīga no intervāla, tad intervālus apvieno, pretējā gadījumā tos atstāj atsevišķos intervālos.

Algoritms sastāv no sekojošiem soļiem:

1. sakārto mainīgā vērtības augošā secībā;
2. definē sākotnējos intervālus, lai katra mainīgā unikālā vērtība būtu atsevišķā intervālā;
3. aprēķina χ^2 testa vērtību katram blakus intervālu pārim;
4. apvieno intervālu pārus, sākot ar tiem, kam ir minimālā χ^2 vērtība, kas, savukārt ir mazāka par kritisko χ^2.

Apvienošana turpinās līdz brīdim, kad visas aprēķināta χ^2 vērtības ir mazākas par kritisko. Hī kvadrāta kritisko robežu definē, izvēlējot nozīmības līmeni. Ar brīvības pakāpēm, kas ir par vienu mazāk, nekā klašu skaits, atrod χ^2 vērtību tabulā.

χ^2 statistiku aprēķina pēc formulas:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}},$$

kur $n = 2$ (intervālu skaits, ko salīdzina), $m =$ klašu skaits, $R_i =$ vērtību skaits i-tajā intervālā, $C_j =$ vērtību skaits j-tajā klasē, $N =$ kopējais mainīgā vērtību skaits, $O_{ij} =$ vērtību skaits i-tajā intervālā, j-tajā klasē un $E_{ij} =$ teorētiskais vērtību biežums i-tajā intervālā, j-tajā klasē, kas aprēķināts pēc formulas $E_{ij} = \frac{R_i \cdot C_j}{N}$.

Pēc šī algoritma intervālos tiek sadalīti tikai tie nepārtrauktie mainīgie, kam nav ekonomiskā rakstura ierobežojumu. Tie ir: nodokļu un informatīvo deklarāciju iesniegšanas termiņu ievērošana; ir izsniegti aizdevumi un izmaksātas dividendes; ir nosūtīts inkaso uzdevums vai ir uzsākta nokavēto nodokļu maksājumu piedziņa.

Aplūkosim mainīgā "Inkaso un piedziņa" diskretizāciju. Dati ir sadalīti pēc klases indikatora, kas ir termiņa pagarinājuma izpilde, kur 1. klase $-$ nav izpilde un 2. klase $-$ ir izpilde. Pirmkārt, vērtības tiek sakārtotas augošā secība un definēti sākotnējie intervāli. Nākamajā solī katram intervālu pārim aprēķina χ^2 statistiku. Rezultāti attēloti 2.1. tabulā. Analizējot visus blakus intervālu pārus, atrodam minimālās χ^2 vērtības.

Apskatīsim detalizētāk aprēķinus pirmajam intervālu pārim $(-\infty; 0.5]$ un $(0.5; 1.5]$, kur empīriskais sadalījums ir: $A_{11} = 0, A_{12} = 99, A_{21} = 46$ un $A_{22} = 6$. Vērtību skaits 1. un 2. intervālā ir: $R_1 = 99$, $R_2 = 52$; vērtību skaits 1. un 2. klasē ir: $C_1 = 46$, $C_2 = 105$; kopējais vērtību skaits $N = 151$. Aprēķināsim teorētisko sadalījumu: $E_{11} = \frac{R_1 \cdot C_1}{N} = \frac{99 \cdot 46}{151} = 30.16$, $E_{12} = 68.84, E_{21} = 15.84$ un $E_{22} = 36.16$. Ievietojot formulā $\chi^2 = 125.90$. Pie nozīmības līmeņa 0.90 ar $n - 1 = 2 - 1 = 1$ brīvības pakāpēm kritiskā hī-kvadrāta vērtība ir $\chi^2 = 2.7$. Tā kā $126.90 > 2.7$, var secināt, ka pastāv statistiski nozīmīga atšķirība starp klašu vērtību frekvencēm,un, ka intervālus neapvieno.

2.1. tabula

Biežumu tabula mainīgajām "Inkaso un piedziņa" ar χ^2 statistikas vērtībām

Vērtība	Intervāls	Biežums		χ^2
		1. klase	2. klase	
0	(-∞;0.5]	0	99	125.90
1	(0.5;1.5]	46	6	1.76
2	(1.5;2.5]	16	5	4.92
3	(2.5;3.5]	18	0	≈0.00
4	(3.5;4.5]	9	0	≈0.00
5	(4.5;5.5]	8	0	≈0.00
6	(5.5;6.5]	5	0	≈0.00
7	(6.5;7.5]	3	0	≈0.00
8	(7.5;8.5]	1	0	≈0.00
9	(8.5;12.5]	3	0	≈0.00
16	(12.5;+∞)	1	0	

Ar uzdoto χ^2 kritisko vērtību pēc algoritma ir noskaidrota pēdējā diskretizācija ar trim intervāliem: $(-\infty; 0.5]$, $(0.5; 2.5]$ un $(2.5; +\infty)$. Aprēķinātas χ^2 vērtības, kas visas ir lielākas par kritisko, var redzēt 2.2. tabulā.

2.2. tabula

Biežumu tabula mainīgajām "Inkaso un piedziņa" pēc pēdējās diskretizācijas ar χ^2 statistikas vērtībām

Intervāls	Biežums		χ^2
	1. klase	2. klase	
(-∞;0.5]	0	99	131.47
(0.5;2.5]	62	11	7.96
(2.5;+∞)	48	0	

Pārējo mainīgo vērtību galējos intervālus pēc diskretizācijas algoritma var redzēt 1. pielikumā. Šo algoritmu var īstenot datorprogrammā R. Darbā ir izmantota datorpakete *"dprep"*, to var uzstādīt ar komandu *install.packages("dprep")* un izsaukt ar komandu *library(dprep)*.

ChiMerge(data, varcon, alpha = 0.1,out=c("symb","num")) ir funkcija, kas realizē nepārtraukto mainīgo diskretizāciju. Funkcijas argumenti nozīmē: *data* – datu masīva nosaukums, kur pēdējā kolonna ir klases rādītājs, *varcon* – nepārtraukto mainīgo vektors, *alpha* – nozīmības līmenis un pie argumenta *out* var izvēlēties izejas datu formātu: *"symb"* – intervālu formā vai *"num"* – skaitļu formā.

2.2. Lēmumu koka konstruēšana ar automātiskās mijsakarību noteikšanas algoritma palīdzību

Uz nestriktās loģikas balstītā lēmumu pieņemšanas sistēmā pēc ieejas un izejas nestrikto kopu uzdošanas ir jānodefinē lēmumu pieņemšanas kārtulas. Kā palīgrīku izmantosim klasifikācijas koka algoritmu.

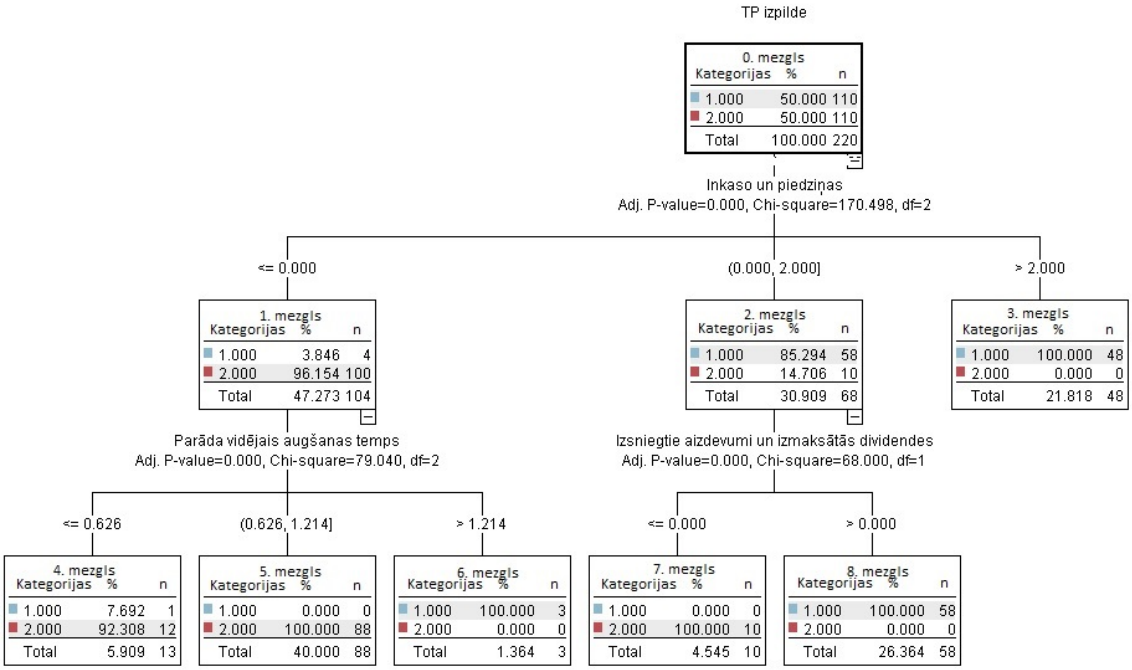
Iepriekš esam apskatījuši uz χ^2 balstīto apvienošanas algoritmu, kas ir diskretizācijas algoritms no lejas uz augšu. Šajā apakšnodaļā aplūkosim lēmumu koka konstruēšanu, kas veidojas ar diskretizācijas metodes CHAID palīdzību. CHAID (Chi-squared Automatic Interaction Detection) – automātiskā mijsakarību noteikšana pēc kritērija χ^2 (Gordon V. Kass, 1980), kas, savukārt, ir diskretizācijas tehnika no augšas uz leju.

Veidojot lēmumu koku, pirmkārt, katram prediktoram atrod labāko vērtību sadalījumu intervālos. Visi nepārtrauktie mainīgie automātiski transformējās ordinālās kategorijās (binos). Mainīgā procentīļu $0.10, 0.20, 0.30,$ utt. vērtības dala nepārtraukto mainīgo intervālos. Programmas maksimālais binu skaits ir 10. Kad visi prediktori ir ordinālajā vai nominālajā skalā, pielieto uz χ^2 balstīto apvienošanas algoritmu.

Nākamajā solī prediktorus salīdzina un izvēlas nozīmīgāko, kas kalpo par koka sakni. Dati tiek iedalīti apakšgrupās, saskaņā ar nozīmīgāko mainīgo. Katru no šīm apakšgrupām tālāk analīzē neatkarīgi (atsevišķi), lai veidotu nākamos iedalījumus. Sazarošana apstājās, kad:

1. vienā mezglā visas faktora vērtības pieder pie vienas rezultējošā mainīgā klases;
2. ir sasniegts maksimālais viena zara mezglu skaits;
3. ir sasniegts minimālais novērojumu skaits vienā mezglā;
4. tālākā mainīgā vērtību dalīšana intervālos nav statistiski nozīmīga.

Pēc šī algoritma konstruēsim vairākus lēmuma kokus, sadalot ietekmējošos faktorus grupās. Lēmumu koku konstruēšanu īstenosim datorprogrammā SPSS Modeler [12]. Vispirms tiek konstruēts lēmuma koks, iekļaujot tajā visus nozīmīgos mainīgos, to var redzēt 2.1. attēlā. Pārējie atsevišķu faktoru grupu lēmuma koki ir apkopoti 2. pielikumā.



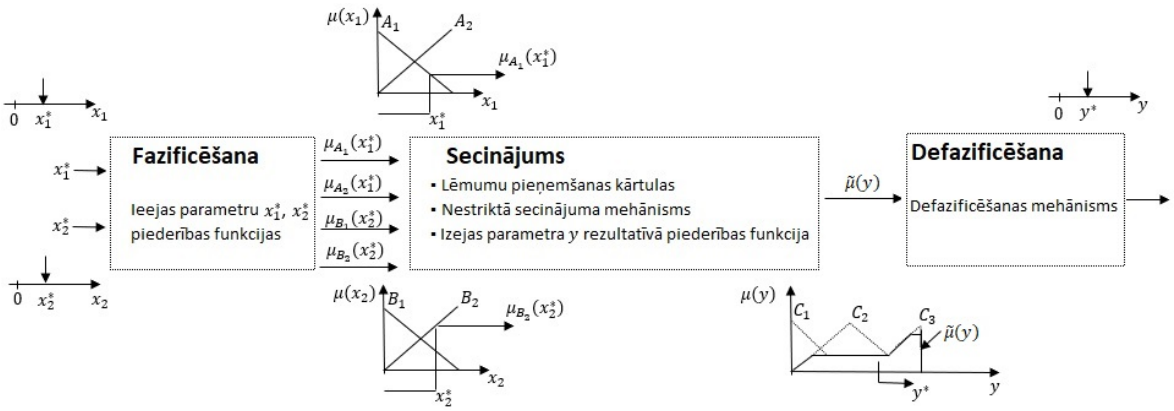
2.1. att. **Lēmumu koks, iekļaujot tajā visus nozīmīgos mainīgos**

3. UZ NESTRIKTĀS LOĢIKAS BALSTĪTA LĒMUMU PIEŅEMŠANAS SISTĒMA

Šajā sadaļā apskatīsim uz nestriktās loģikas balstītu lēmumu pieņemšanas sistēmu [9]. Ar nestriktā secinājumu sistēmas palīdzību viens vai vairāki definētie neatkarīgie ieejas mainīgie pārveidojās par izejas definēto atkarīgo mainīgo. Nestriktā modeļa struktūru sistēmai ar divām ieejām un vienu izeju var redzēt 3.1. shēmā.

Nestriktā secinājumu sistēma sastāv no trim blokiem. Fazificēšanas blokā aprēķina ieejas mainīgo x_1^*, x_2^* piederības pakāpes $\mu_{A_i}(x_1^*)$, $\mu_{B_j}(x_2^*)$ ieejas nestriktajām kopām A_i, B_j, iepriekš definējot piederības funkcijas $\mu_{A_i}(x_1)$, $\mu_{B_j}(x_2)$. Otrajā posmā, secinājumu blokā, balstoties uz lēmumu pieņemšanas kārtulām un nestriktās implikācijas elementiem tiek aprēķināta rezultatīvā piederības funkcija $\tilde{\mu}(y)$ izejas mainīgajam y^*. Defazificēšanas blokā uz rezultatīvās piederības funkcijas pamata atrod izejas parametra skaitlisko vērtību y^*.

Datorprogrammā MATLAB pastāv iespēja analizēt un projektēt balstīto uz nestriktās loģikas sistēmu ar *Fuzzy Logic Toolbox* paketes palīdzību. Programma piedāvā nestriktās secinājumu sistēmas izstrādes rīku, un tā divus veidus: Mamdani un Sugeno modeļus. Bakalaura darbā aplūkosim Mamdani modeli. Turpinājumā apskatīsim katru no nestriktā secinājuma algoritma posmiem atsevišķi, to elementu izvēles variantus, un to īstenošanu datorprogrammā MATLAB.



3.1. att. **Nestriktās secinājumu sistēmas struktūra**

3.1. Fazificēšanas elementi

Nestriktās secinājumu sistēmas uzbūves pirmajā posmā notiek ieejas mainīgo fazificēšanas process. Aplūkosim tā darbības kārtību:

1. lingvistiskā mainīgā un mainīgā lingvistisko vērtību kopas definēšana;
2. nestriktās kopas definēšana;
3. piederības funkciju noteikšana;
4. ieejas mainīgo piederības pakāpes aprēķināšana.

Iepazīsimies ar nestrikto kopu teorijas pamatjēdzieniem. Par lingvistisko mainīgo sauc mainīgo ar lingvistiskām vērtībām, kas izsaka kvalitatīvos vērtējumus. Kā piemēru paņemsim "Darbinieku atalgojuma stundas tarifa likme". Par lingvistisko vērtību sauc lingvistiskā mainīgā vērtību, kas izteikta mutvārdu formā, piemēram, "Zema darbinieku atalgojuma stundas tarifa likme". Par lingvistisko vērtību kopu X_M uzskata visu lingvistisko vērtību kopu

$$X_M = \{\text{zema, vidējā, augsta}\} = \{x_{M_1}, x_{M_2}, x_{M_3}\},$$

kas apraksta kādu lingvistisko mainīgo M. Mainīgā vērtību apgabals ir visu skaitlisko vērtību kopa, ko var pieņemt pētāmais sistēmas mainīgais. Var būt nepārtraukts vērtību apgabals $- X$ un diskrēts vērtību apgabals, kuru pierakstīsim $- X = \{x_1, x_2, ..., x_n\}$, gadījumā, ja X sastāv no n elementiem.

1. definīcija. Par nestrikto kopu A, definētu uz kāda vērtību apgabala X sauc kopu

$$A = \{(\mu_A^*(x), x)\},$$

kur katram x piederības pakāpe μ_A^* nestriktajai kopai A ir uzdota ar piederības funkciju $\mu_A(x) \in [0, 1]$.

2. definīcija. Par piederības funkciju sauc funkciju, kas katrai x vērtībai uzdod kādu vērtību intervālā $[0, 1]$ – piederības pakāpi nestriktajai kopai A

$$\mu_A(x) : X \to [0, 1].$$

Nestrikto kopu teorijā eksistē liels daudzums piederības funkciju veidu, apskatīsim dažus no tiem:

- trīsstūrveida piederības funkcija *trimf*:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & \text{ja } x \le a, \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{ja } a \le x \le b, \\ \frac{c-x}{c-b}, & \text{ja } b \le x \le c, \\ 0, & \text{ja } x \ge c, \end{cases}$$

kur $a < b < c$;

- trapeces veida piederības funkcija *trapmf*:

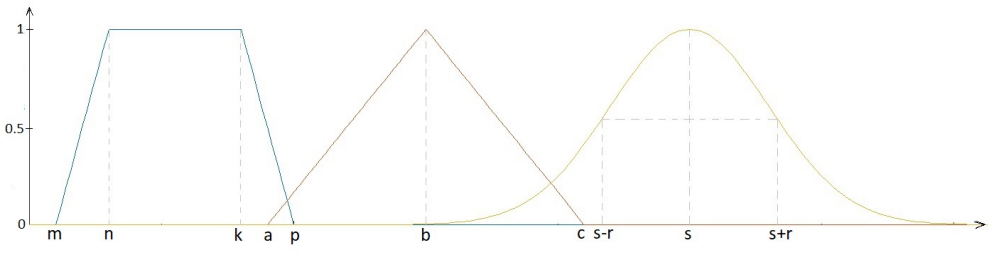
$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & \text{ja } x \leq m, \\ \frac{x-m}{n-m}, & \text{ja } m \leq x \leq n, \\ 1, & \text{ja } n \leq x \leq k, \\ \frac{p-x}{p-k}, & \text{ja } k \leq x \leq p, \\ 0, & \text{ja } x \geq p, \end{cases}$$

kur $m < n < k < p$;

- Gausa simetriskā piederības funkcija *gaussmf*:

$$\mu(x) = e^{-\frac{(x-s)^2}{2r^2}},$$

kur $r \neq 0$.

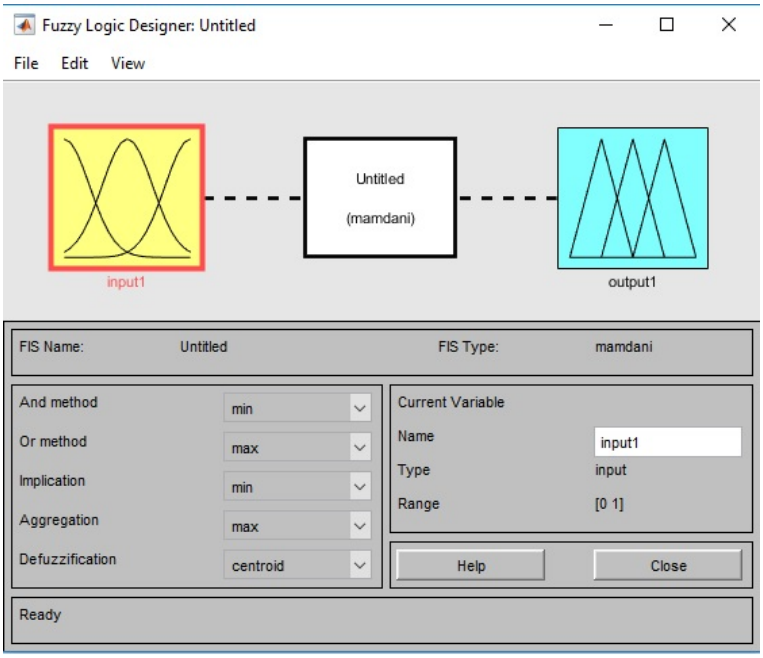


3.2. att. **Trapeces veida, trīsstūrveida un Gausa simetriskās piederības funkcijas**

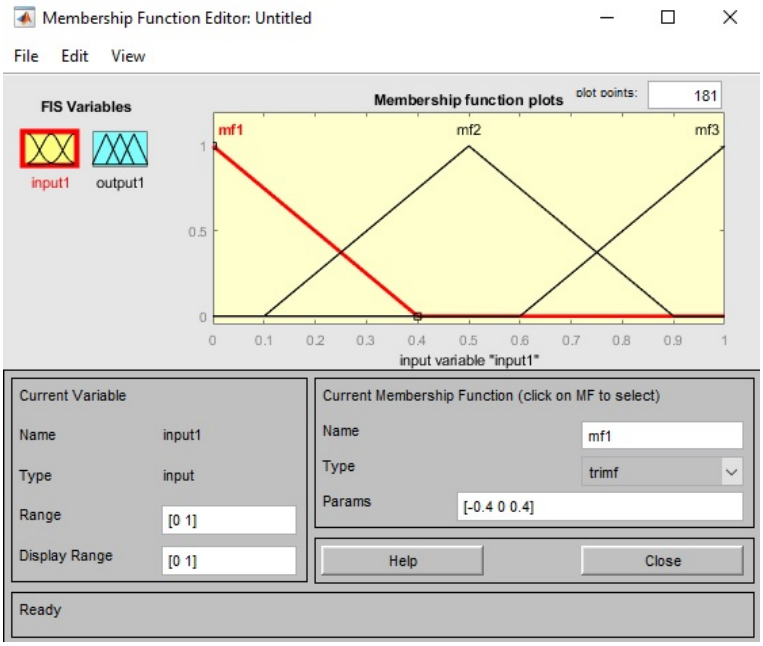
Apskatīsim kādas piederības funkcijas piedāvā MATLAB programmas izplūdusi (nestriktās) loģikas pakete. MATLAB ievadot komandu *fuzzy* atveras nestriktās secinājumu sistēmas grafiskā saskarne (interfeiss) *Fuzzy Logic Designer*, ko var redzēt 3.3. attēlā. Ieejas un izejas mainīgos var pievienot ar komandām *Edit* → *Add variable* → *Input/Output*. Nospiežot uz vienas no mainīgajiem un izvēloties rīku *Edit* → *Membership function*, atveras logs tā mainīgā piederības funkciju uzdošanai – *Membership Function Editor*, kas ir parādīts 3.4. attēlā. No piederības funkciju veidiem MATLAB programmā var izvēlēties gabaliem lineāras piederības funkcijas: trīsstūrveida *trimf* un trapeces veida piederības funkcija *trapmf*; Gausa sadalījuma funkcijas: simetriskā Gausa *gaussmf*, divpusējā Gausa *gauss2mf* un zvanveida piederības funkcija *gbellmf* un citas.

Bakalaura darba praktiskajā daļā pielietosim gabaliem lineāras piederības funkcijas. MATLAB *Membership Function Editor* logā katru piederības funkciju definē ar parametriem. Trīsstūrveida funkcijai izmanto trīs argumentus: a, b un c, kur a un c nosaka attiecīgās nestriktās kopas definīcijas apgabalu un parametrs b – ir šīs nestriktās kopas modālā vērtība.

Parametru rindā to ievada iekavās $[a \quad b \quad c]$. Trapeces veida piederības funkciju nosaka ar četriem argumentiem a, b, c un d, kur a un d nosaka attiecīgās nestriktās kopas definīcijas apgabalu un argumenti c un b – šīs nestriktās kopas kodolu. Parametru rindā to ievada $[a \quad b \quad c \quad d]$ formā.



3.3. att. **MATLAB nestriktās secinājumu sistēmas grafiskais izskats**



3.4. att. **MATLAB nestriktās secinājumu sistēmas "logs" ieejas un izejas mainīgo piederības funkciju uzdošanai**

Fazificēšanas process

Apskatīsim fazificēšanas procesa piemēru.

1. piemērs. Sistēmā ar divām ieejas vērtībām x_1 un x_2 uzdotas nestriktās kopas

$$A_1 = \text{"Mazs"},\ A_2 = \text{"Vidējs"},\ A_3 = \text{"Liels"},$$

$$B_1 = \text{"Mazs"},\ B_2 = \text{"Daudz"}$$

un mainīgo piederības funkcijas nestriktajām kopām

$$\mu_{A_1}(x_1) = \begin{cases} 0, & \text{ja } x_1 \le -0.4, \\ \frac{x_1+0.4}{0.4}, & \text{ja } -0.4 \le x_1 \le 0, \\ \frac{0.4-x_1}{0.4}, & \text{ja } 0 \le x_1 \le 0.4, \\ 0, & \text{ja } x_1 \ge 0.4, \end{cases}$$

$$\mu_{A_2}(x_1) = \begin{cases} 0, & \text{ja } x_1 \le 0.1, \\ \frac{x_1-0.1}{0.4}, & \text{ja } 0.1 \le x_1 \le 0.5, \\ \frac{0.9-x_1}{0.4}, & \text{ja } 0.5 \le x_1 \le 0.9, \\ 0, & \text{ja } x_1 \ge 0.9, \end{cases}$$

$$\mu_{A_3}(x_1) = \begin{cases} 0, & \text{ja } x_1 \le 0.6, \\ \frac{x_1-0.6}{0.4}, & \text{ja } 0.6 \le x_1 \le 1, \\ \frac{1.4-x_1}{0.4}, & \text{ja } 1 \le x_1 \le 1.4, \\ 0, & \text{ja } x_1 \ge 1.4, \end{cases}$$

$$\mu_{B_1}(x_2) = \begin{cases} 0, & \text{ja } x_2 \le -1, \\ x_2 + 1, & \text{ja } -1 \le x_2 \le 0, \\ 1 - x_2, & \text{ja } 0 \le x_2 \le 1, \\ 0, & \text{ja } x_2 \ge 1, \end{cases}$$

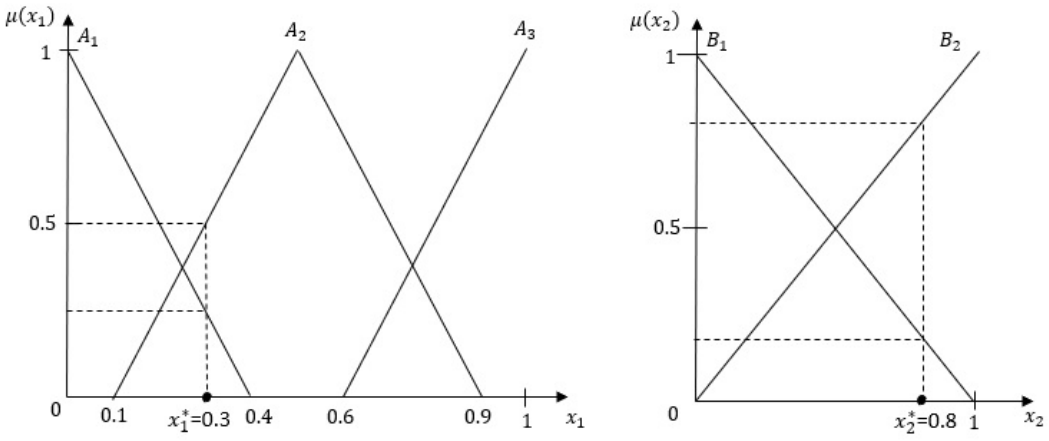
$$\mu_{B_2}(x_2) = \begin{cases} 0, & \text{ja } x_2 \le 0, \\ x_2, & \text{ja } 0 \le x_2 \le 1, \\ 2 - x_2, & \text{ja } 1 \le x_2 \le 2, \\ 0, & \text{ja } x_2 \ge 2. \end{cases}$$

Sistēmas ieejas vērtības $x_1^* = 0.3$, $x_2^* = 0.8$. Fazifikācijas procesā ieejas skaitlisko vektoru X^*

pārveido par piederības funkciju vērtību vektoru F, kas kalpos par nākamā bloka ieeju:

$$X^* = \begin{bmatrix} x_1^* \\ x_2^* \end{bmatrix} \longrightarrow F = \begin{bmatrix} \mu_{A_1}(x_1^*) \\ \mu_{A_2}(x_1^*) \\ \mu_{A_3}(x_1^*) \\ \mu_{B_1}(x_2^*) \\ \mu_{B_2}(x_2^*) \end{bmatrix},$$

$$X^* = \begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.8 \end{bmatrix} \longrightarrow F = \begin{bmatrix} 0.25 \\ 0.5 \\ 0 \\ 0.2 \\ 0.8 \end{bmatrix}.$$



3.5. att. **Nestriktās secinājumu sistēmas ieejas mainīgo piederības funkcijas**

3.2. Nestriktā secinājuma elementi

Secinājumu blokā sistēmas ieejas vērtību piederības funkcijas nosaka sistēmas izejas vērtības rezultatīvo piederības funkciju $\tilde{\mu}$. Secinājuma process balstās uz kārtulu bāzes, kas sastāv no visām iespējamām ieejas mainīgo nosacījumu kombinācijām un attiecīgiem secinājumiem. Sākumā, ir jāaprēķina katras kārtulas nosacījumu patiesuma pakāpes un jānodefinē piederības funkcijas, kas piedalās katras kārtulas secinājumā. Tad no visām lēmumu pieņemšanas kārtulām definē rezultatīvo secinājuma piederības funkciju.

Par kārtulu K_m var saukt cēloņa un seku sakarību starp ieejas un izejas mainīgo nestriktajām vērtībām:

$$K_m = \underbrace{\text{IF } \overbrace{(x_1 = A_i) \text{ AND } (x_2 = B_j)}^{\text{Nosacījums}} \text{ THEN } \overbrace{(y = C_z)}^{\text{Secinājums}},}_{\text{Implikācija}} \tag{3.2.1}$$

kur x_1, x_2 – ieejas mainīgie, y – izejas mainīgais, A_i, B_j, C_z – mainīgo nestriktās kopas, IF-THEN, AND – loģiskie operatori. Kārtula veidojas no loģiskā operatora – nestriktās implikācijas, savukārt pirmo implikācijas daļu sauc par nosacījumu, otro par secinājumu.

Nestriktās implikācijas nosacījuma patiesuma pakāpes aprēķināšana [6]

Zem patiesuma pakāpes saprot nestriktās implikācijas nosacījuma patiesuma pakāpi. Vienkārša nosacījuma gadījumā:

$$\text{IF}(x = A_i),$$

katram $x = x^*$ nosacījuma patiesuma pakāpe $\mu_K(x^*)$ ir vienāda ar vērtības x^* piederības pakāpi nestriktajai kopai A_i. Sarežģītākā nosacījuma gadījumā, kad tas sastāv no vairākiem vienkāršiem nosacījumiem, saistītiem ar loģiskiem operatoriem AND (un), OR (vai), NOT (ne), piemēram:

$$\text{IF } (x_1 = A_i) \text{ AND } (x_2 = B_j),$$

katram $x_1 = x_1^*$, $x_2 = x_2^*$ nosacījuma patiesuma pakāpi $\mu_K(x_1^*, x_2^*)$ aprēķina pēc formulas:

$$\mu_K(x_1^*, x_2^*) = \mu_{A_1 \bigcap B_1}(x_1^*, x_2^*) = T(\mu_{A_1}(x_1^*), \mu_{B_2}(x_2^*)),$$

kur T ir t-normas operators. Svarīgākie nestriktie operatori ir: šķēluma jeb konjunkcijas operators *AND* ($A \cap B$), apvienojuma jeb disjunkcijas operators *OR* ($A \cup B$) un negācijas operators *NOT* ($\neg A$).

Kā šķēluma operatorus visbiežāk pielieto t-normas. Par t-normas operatoru sauc funkciju T, kas nosaka operāciju *AND* – divu nestrikto kopu A un B šķēlumu, kam piemīt sekojošas īpašības:

1. $T : [0,1]^2 \to [0,1]$,
2. $T(0,0) = 0$,
3. $T(\mu_A(x), 1) = \mu_A(x), T(\mu_B(x), 1) = \mu_B(x)$ visiem $x \in X$,
4. $T(\mu_A(x), \mu_B(x)) = T(\mu_B(x), \mu_A(x))$ visiem $x \in X$,
5. $T(\mu_A(x), T(\mu_B(x), \mu_C(x))) = T(T(\mu_A(x), (\mu_B(x)), \mu_C(x))$ visiem $x \in X$,
6. $\mu_A(x) \leq \mu_C(x), \mu_B(x) \leq \mu_D(x) \Rightarrow T(\mu_A(x), \mu_B(x)) \leq T(\mu_C(x), \mu_D(x))$ visiem $x \in X$.

Kā nestrikto kopu apvienojuma operatoru, visbiežāk pielieto s-normas operatorus. Par s-normas operatoru sauc funkciju S, kas realizē operāciju OR – divu nestrikto kopu A un B apvienojumu, kam piemīt sekojošas īpašības:

1. $S : [0,1]^2 \to [0,1]$,
2. $S(0,0) = 0$,
3. $S(\mu_A(x), 0) = S(0, \mu_A(x)) = \mu_A(x)$ visiem $x \in X$,
4. $S(\mu_A(x), \mu_B(x)) = S(\mu_B(x), \mu_A(x))$ visiem $x \in X$,
5. $S(\mu_A(x), S(\mu_B(x), \mu_C(x))) = S(S(\mu_A(x), (\mu_B(x)), \mu_C(x))$ visiem $x \in X$,
6. $\mu_A(x) \leq \mu_C(x), \mu_B(x) \leq \mu_D(x) \Rightarrow S(\mu_A(x), \mu_B(x)) \leq S(\mu_C(x), \mu_D(x))$ visiem $x \in X$.

Izšķir parametriskās un neparametriskās t un s-normas. Ja ir uzdota t-norma, tad var aprēķināt tai komplementāro s-normu, ja izpildās nosacījums:

$$T[\mu_A(x), \mu_B(x)] = 1 - S[1 - \mu_A(x), 1 - \mu_B(x)].$$

Dažas komplementārās t-normas un s-normas ir apkopotas 3.1. tabulā.

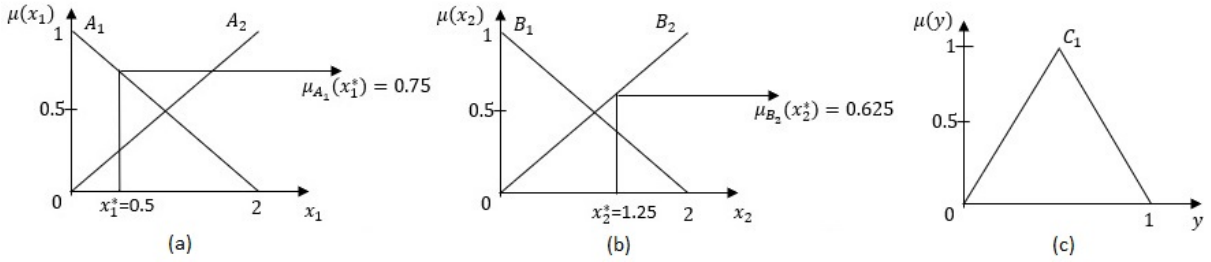
3.1. tabula

Komplementārās neparametriskās t un s-normas.

t-norma	**s-norma**
Minimums (MIN): $\mu_{A\cap B}(x) = MIN(\mu_A(x), \mu_B(x))$	Maksimums (MAX): $\mu_{A\cup B}(x) = MAX(\mu_A(x), \mu_B(x))$
Reizinājums (PROD): $\mu_{A\cap B}(x) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$	Algebriskā summa: $\mu_{A\cup B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$
Gamahera reizinājums: $\mu_{A\cap B}(x) = \frac{\mu_A(x)\cdot\mu_B(x)}{\mu_A(x)+\mu_B(x)-\mu_A(x)\cdot\mu_B(x)}$	Gamahera summa: $\mu_{A\cup B}(x) = \frac{\mu_A(x)+\mu_B(x)-2\cdot\mu_A(x)\cdot\mu_B(x)}{1-\mu_A(x)\cdot\mu_B(x)}$
Eintšteina reizinājums: $\mu_{A\cap B}(x) = \frac{\mu_A(x)\cdot\mu_B(x)}{2-\mu_A(x)+\mu_B(x)-\mu_A(x)\cdot\mu_B(x)}$	Eintšteina summa: $\mu_{A\cup B}(x) = \frac{\mu_A(x)+\mu_B(x)}{1+\mu_A(x)\cdot\mu_B(x)}$
Ierobežotā starpība: $\mu_{A\cap B}(x) = MAX(0, \mu_A(x) + \mu_B(x) - 1)$	Ierobežotā summa: $\mu_{A\cap B}(x) = MIN(1, \mu_A(x) + \mu_B(x))$

Apskatīsim nestriktās implikācijas nosacījuma patiesuma pakāpes aprēķināšanas piemēru.

2. piemērs. Sistēmā ar diviem ieejas mainīgajiem x_1 un x_2 un izejas mainīgo y uzdotas nestriktās kopas A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, C_2. Ieejas mainīgo piederības funkcijas ir redzamas 3.6. attēlā. Uzdota kārtula $K_1 =$ IF $(x_1 = A_1)$ AND $(x_2 = B_2)$ THEN $(y = C_1)$. Ir jāaprēķina implikācijas nosacījuma patiesuma pakāpi ar sistēmas ieejas vērtībām $x_1^* = 0.5$ un $x_2^* = 1.25$.



3.6. att. **(a), (b) – sistēmas ieejas mainīgo x_1, x_2 ieejas vērtību x_1^*, x_2^* piederības pakāpes nestriktajām kopām attiecīgi A_1 un B_2, (c) – sistēmas izejas mainīgā y piederības funkcija nestriktajai kopai C_1**

Tā kā vienkāršie nosacījumi ir saistīti ar loģisko operatoru AND, aprēķināsim sarežģīta nosacījuma patiesuma pakāpi ar dažādiem t-normas operatoriem.

Minimuma t-normas gadījumā:

$$\mu_{A_1 \cap B_2}(x_1^*, x_2^*) = MIN(\mu_{A_1}(x_1^*), \mu_{B_2}(x_2^*)) = MIN(0.75, 0.625) = 0.625.$$

Reizinājuma t-normas gadījumā:

$$\mu_{A_1 \cap B_2}(x_1^*, x_2^*) = \mu_{A_1}(x_1^*) \cdot \mu_{B_2}(x_2^*) = 0.75 \cdot 0.625 = 0.46875.$$

Gamahera reizinājuma t-normas gadījumā:

$$\mu_{A_1 \cap B_2}(x_1^*, x_2^*) = \frac{\mu_{A_1}(x_1^*) \cdot \mu_{B_2}(x_2^*)}{\mu_{A_1}(x_1^*) + \mu_{B_2}(x_2^*) - \mu_{A_1}(x_1^*) \cdot \mu_{B_2}(x_2^*)} = 0.51724.$$

Einšteina reizinājuma t-normas gadījumā:

$$\mu_{A_1 \cap B_2}(x_1^*, x_2^*) = \frac{\mu_{A_1}(x_1^*) \cdot \mu_{B_2}(x_2^*)}{2 - \mu_{A_1}(x_1^*) + \mu_{B_2}(x_2^*) - \mu_{A_1}(x_1^*) \cdot \mu_{B_2}(x_2^*)} = 0.428.$$

Ierobežotās starpības t-normas gadījumā:

$$\mu_{A_1 \cap B_2}(x_1^*, x_2^*) = MAX(0, \mu_{A_1}(x_1^*) + \mu_{B_2}(x_2^*) - 1) = 0.375.$$

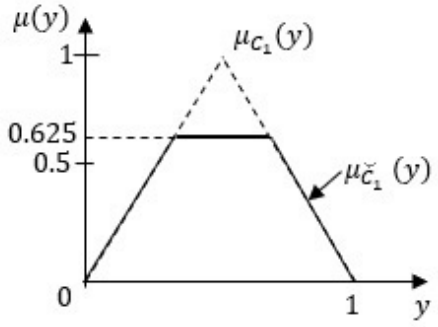
Nosacījuma patiesuma pakāpes vērtības ļoti atšķiras. MIN operators noved pie vislielākās patiesuma pakāpes vērtības, līdz ar to var secināt, ka pārējie operatori prasa augstākās atsevišķu nosacījumu A_1 un B_2 patiesuma pakāpes.

Piederības funkciju definēšana, kas piedalās nestriktās implikācijas secinājuma daļā

Šajā posmā tiek nodefinētas katras kārtulas secinājuma piederības funkcijas. Dotā operācija izpildās ar nestriktās implikācijas operatora palīdzību un balstās uz kārtulu nosacījumu patiesuma pakāpēm. Kārtulas (3.2.1) nodefinētai secinājuma nestriktās kopas C_z piederības funkcijai μ_{C_z} aprēķina modificēto secinājuma piederības funkciju $\mu_{\tilde{C}_z}$.

Viens no izplatītākajiem implikācijas operatoriem ir Mamdani implikācija. Nosakot sistēmas ieejas mainīgo skaitliskās vērtības, modificēto piederības funkciju $\mu_{\tilde{C}_z}$ iegūst definējot piederības funkcijas μ_{C_z} augstāko robežu, kas, savukārt, ir nestriktās implikācijas nosacījuma patiesuma pakāpe. Dotajā operācijā piedalās nosacījumi ar patiesuma pakāpēm, kas ir lielāki par 0. Apskatīsim to praktiski, uz iepriekšējā piemēra bāzes.

3. piemērs. Uzdotās kārtulas K_1 nestriktās implikācijas nosacījuma patiesuma pakāpe pēc operatora MIN $\mu_{A_1 \cap B_2}(x_1^*, x_2^*) = 0.625$. Tad implikācijas secinājuma piederības funkcijas $\mu_{C_1}(y)$ modificētā piederības funkcija ir $\mu_{\tilde{C}_1}(y)$ (3.7. att.).



3.7. att. **Modificētā secinājuma piederības funkcija ar implikācijas operatoru Mamdani**

Situācijā, kad nosacījuma patiesuma pakāpe $\mu_K = 1$, tad secinājuma piederības funkcija sakrīt ar modificēto piederības funkciju $\mu_{C_z} = \mu_{\tilde{C}_z}$.

Secinājuma rezultatīvās piederības funkcijas definēšana

Aprēķinot visas sistēmas modificētās nestriktās implikācijas secinājuma piederības funkcijas, veidojas bāze, uz kuras tiek definēta rezultatīvā piederības funkcija. Ja sistēmā tiek aprēķinātas m modificētās secinājuma piederības funkcijas, tad rezultatīvo funkciju aprēķina pēc formulas:

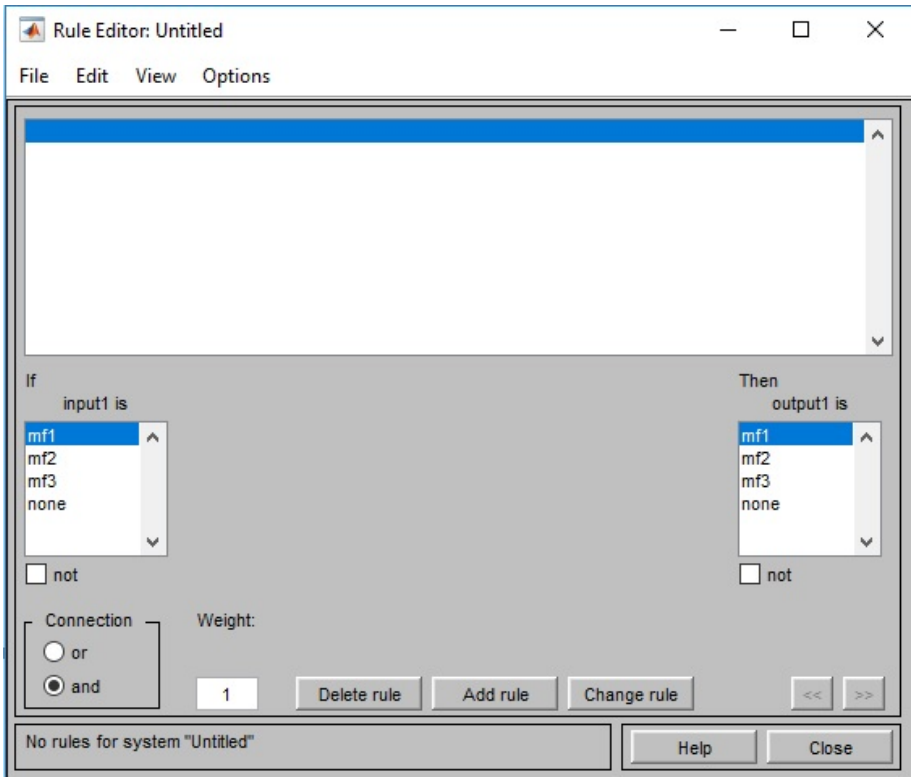
$$\tilde{\mu}(y) = \mu_{\tilde{C}}(y) = S(\mu_{\tilde{C}_1}(y), \mu_{\tilde{C}_2}(y), ..., \mu_{\tilde{C}_m}(y)),$$

kur S ir s-normas operators, un $\mu_{\tilde{C}_1}(y), \mu_{\tilde{C}_2}(y), ..., \mu_{\tilde{C}_m}(y)-$ modificētās nestriktās implikācijas secinājuma piederības funkcijas.

Nestriktā secinājuma process datorprogrammā MATLAB

Nestriktās secinājumu sistēmas grafiskajā saskarnē *Fuzzy Logic Designer*, ko var redzēt 3.3. attēlā, definē sistēmas svarīgākos elementus. *AND method* – var izvēlēties nestrikto kopu šķēluma operatorus *min, prod* vai patstāvīgi saģenerēt citu operatoru, *OR method* – var izvēlēties nestrikto kopu apvienojumu operatorus *max, probor* vai patstāvīgi saģenerēt citu operatoru, no implikācijas normām *Implication* MATLAB piedāvā *min* un *prod* vai pašu saģenerēto operatoru. Visu modificēto secinājuma piederības funkciju apvienošanas operatoru, rezultatīvas funkcijas noteikšanai, ieraksta rindā *Aggregation*, kur var izvēlēties operatorus *max, sum, probor*.

Kad ieejas un izejas mainīgie, to piederības funkcijas, šķēluma, apvienojuma, implikācijas un rezultatīvās funkcijas noteikšanas operatori ir definēti, komanda *Edit →Rules* atver kārtulu bāzes rediģēšanas "logu" *Rule Editor*, ko var redzēt 3.8. attēlā. Katrai kārtulai ir jāizvēlas ieejas un izejas mainīgo lingvistiskās vērtības, loģisko operatoru starp vairākiem nosacījumiem: *OR* vai *AND*, ka arī var izvēlēties katras kārtulas svaru. Tad ar *Add rule* pogu kārtula pievienojas kopējai tabulai, ko sauc par nestriktām asociatīvo atmiņu tabulām (FAM tables – Fuzzy Associative Memory tables).



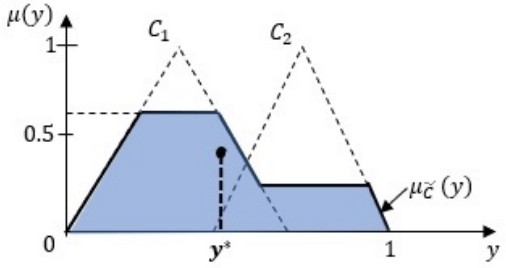
3.8. att. **MATLAB nestriktās secinājumu sistēmas kārtulu bāzes rediģēšanas "logs"**

3.3. Defazificēšanas elementi

Pēdējais uz nestriktās logikas balstītās lēmumu pieņemšanas sistēmas posms ir rezultatīvās piederības funkcijas defazificēšana. Tas ir, no piederības funkcijas $\tilde{\mu}$ aprēķina izejas skaitlisko vērtību $y = y^*$. Eksistē vairākas izejas mainīgā skaitliskās vērtības aprēķināšanas metodes. Šajā darbā izmantosim smaguma centra metodi. Ar smaguma centra metodes palīdzību y^* vērtību aprēķina pēc formulas:

$$y^* = \frac{\int y\tilde{\mu}(y)dy}{\int \tilde{\mu}(y)dy},$$

tas ir, tiek aprēķināts ar rezultatīvo funkciju $\tilde{\mu}$ ierobežotas figūras smaguma centrs.



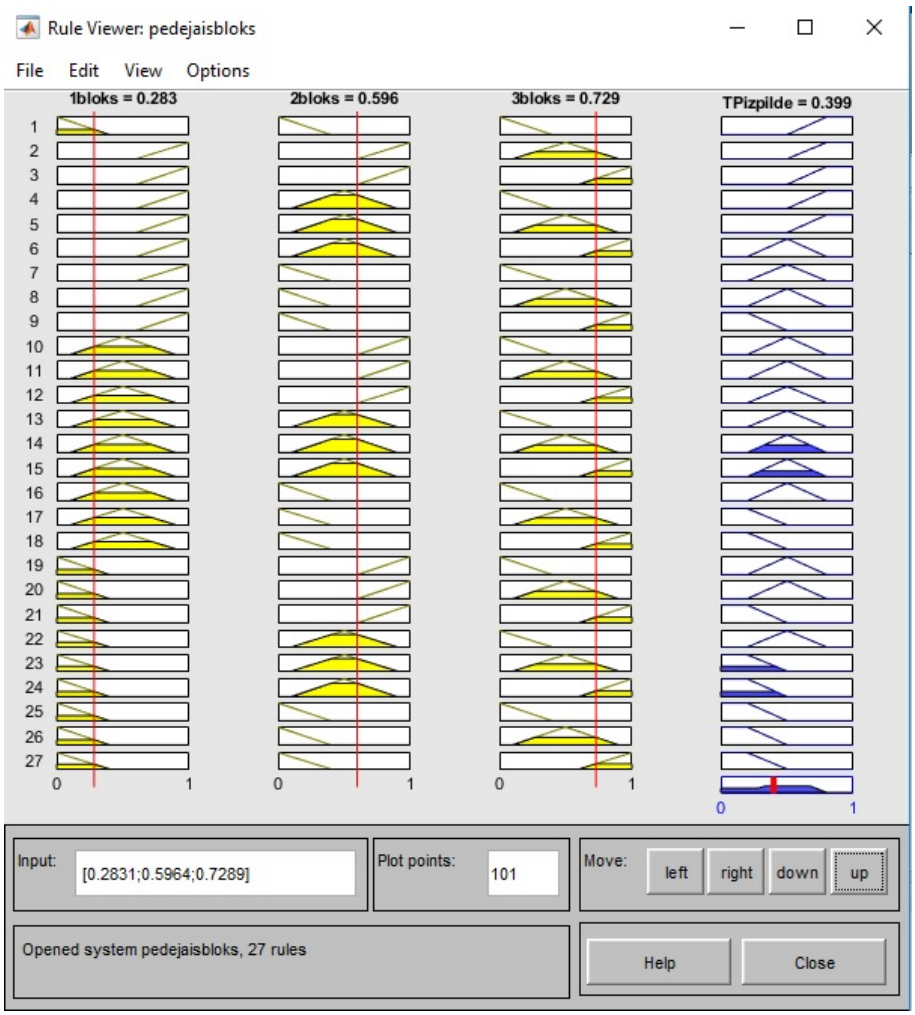
3.9. att. **Defazificēšana pēc smaguma centra metodes**

Integrāļa robežas definē rezultatīvās nestriktās kopas definīcijas apgabals. MATLAB nestriktās secinājumu sistēmas izstrādes paketē defazificēšanas metodi izvēlas *Fuzzy Logic Designer* logā, rindā ar nosaukumu *Defuzzification*, kur *centroid* ir smaguma centra metode.

Modeļa pārbaude

MATLAB nestriktās secinājumu sistēmas grafiskajā interfeisā modeli pārbauda kārtulu caurskatīšanas logā *Rule Viewer* (3.10. att.), ko var izsaukt nospiežot komandu *View* → *Rules*. Funkciju izmanto nestriktā secinājuma rezultātu attēlošanai, izejas mainīgā vērtības iegūšanai, atkarībā no noteiktām ieejas mainīgo vērtībām. Ar šī rīka palīdzību ir ļoti ērti vizuāli attēlot visu nestriktā secinājuma procesu, no sākuma līdz galam, tas ir, izsekot ieejas mainīgo un katras kārtulas ietekmi uz nestriktā secinājuma rezultātu, mainot ieejas mainīgā vērtības.

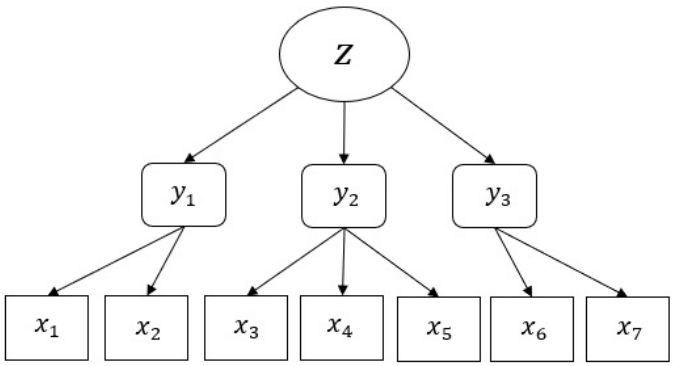
Grafiskā interfeisa centrālajā daļā ir izvietota tabula no taisnstūriem, kur katrs stabiņš atbilst kādam mainīgajam, kur pēdējais ir modeļa izejas mainīgais, bet pārējie ieejas mainīgie. Katra rinda atbilst vienai no kārtulām. Rindā tiek paradīts katra mainīgā fazificēšanas process un kārtulas secinājuma piederības funkcija. Tabulas beigās attēlojās sistēmas rezultatīvā piederības funkcija, iegūta no visu kārtulu modificētam piederībās funkcijām. Katra stabiņa augšējā daļā atspoguļoti ieejas mainīgo skaitliskās vērtības un izejas mainīgā defazificētā vērtība.



3.10. att. **MATLAB nestriktās secinājumu sistēmas rezultātu attēlojums**

Hierarhiskā nestriktā secinājumu sistēma

Dažreiz, pie pietiekami liela ieejas mainīgo skaita modeli iztēlo hierarhiskā koka veidā. Pie liela faktoru skaita pastāv grūtības noteikt faktoru savstarpējo mijiedarbību un hierarhiskais modelis ļauj samazināt nestrikto kārtulu skaitu un adekvāti novērtēt faktoru ietekmi uz rezultatīvo mainīgo. Apskatīsim hierarhisko modeli, kas ir atspoguļots 3.11. attēlā.



3.11. att. **Hierarhiskā nestriktā secinājumu sistēma**

Uz rezultējošo mainīgo z ietekmējošos faktorus $x_1, x_2, ..., x_7$ apvieno grupās, definējot papildus starpmainīgos y_1, y_2, y_3. Katram starpmainīgajam ir jādefinē lingvistisko mainīgo, to lingvistisko vērtību kopu, nestriktās kopas un piederības funkcijas. Līdz ar to sanāk trīs apakšgrupu sistēmas un viena rezultatīva sistēma, kur par ieejas mainīgajiem kalpos apakšgrupu izejas mainīgie.

Apakšgrupu izejas mainīgo piederības funkcijām ir jāsakrīt ar rezultatīvas sistēmas ieejas mainīgo piederības funkcijām. Apakšgrupu sistēmu defazificētās vērtības ir rezultatīvās sistēmas ieejas mainīgo skaitliskās vērtības.

Hierarhiskās nestriktās secinājumu sistēmas īstenošanai un tās grafiskai attēlošanai MATLAB programmā ir nepieciešamas dažas komandas [17].

Komanda `readfis`:

```
fis = readfis('pirmasistema'),
```

veic nestriktās secinājumu sistēmas augšupielādi.

Komanda `evalfis`:

```
input = [x1 x2],
output = evalfis(input,fis),
```

iedarbina nestrikto secinājumu sistēmu fis un izvada sistēmas izejas defazificēto vērtību, nosakot ieejas mainīgo vērtības x_1, x_2.

Komanda `plotmf`:

```
plotmf(fis,'input',1),
plotmf(fis,'output',1),
```

atspoguļo nestriktā secinājuma sistēmas fis ieejas vai izejas mainīgo piederības funkcijas.

Komanda `plotfis`:

```
plotfis(fis),
```

atspoguļo nestriktā secinājuma sistēmas fis diagrammu ar to ieejas un izejas mainīgajiem, nestriktās implikācijas metodi un kārtulu bāzes sastāvu.

Nestriktās secinājuma sistēmas fis rezultatīvo piederības funkciju ar izejas mainīgā defazificēto vērtību var grafiski attēlot pēc šī koda:

```
[output,fuzzifiedInputs,ruleOutputs,aggregatedOutput] =
evalfis([x1 x2],fis);
outputRange = linspace(fis.output.range(1),fis.output.range(2),
length(aggregatedOutput))';
plot(outputRange,aggregatedOutput,[output output],[0 1]);
ylabel('Piederības pakāpe');
legend('Rezultatīvā piederības funkcija','Defazificētā vērtība').
```

4. NESTRIKTĀ SECINĀJUMU SISTĒMA NODOKĻU MAKSĀTĀJU TERMIŅA PAGARINĀJUMA PIETEIKUMU NOVĒRTĒŠANAI

Šajā nodaļā apskatīsim Mamdani nestriktā secinājuma modeļa piemērojamību ekonomiskā uzdevuma risināšanai, proti, nodokļu maksātāju termiņa pagarinājuma pieteikumu novērtēšanai. Modelis vērtēs nodokļu maksātāja finansiālo stāvokli un iespēju atmaksāt parādus. Modeļa izstrāde ietver ietekmējošo faktoru noteikšanu, nestriktās secinājumu sistēmas elementu: kārtulu bāzes, loģisko operatoru un defazificēšanas metodes definēšanu, modeļa realizēšanu uz konkrētā piemēra un rezultātu novērtēšanu.

4.1. Sistēmas modelēšana

Ieejas un izejas mainīgo uzdošana

Modeļa izejas mainīgais z ir nodokļu maksātāja termiņa pagarinājuma pieteikuma vērtējums, to apzīmē ar lingvistisko mainīgo ”Vērtējums”, ko apraksta ar lingvistisko vērtību kopu

$$T_0 = \{\text{”negatīvi”, ”vidēji”, ”pozitīvi”}\}.$$

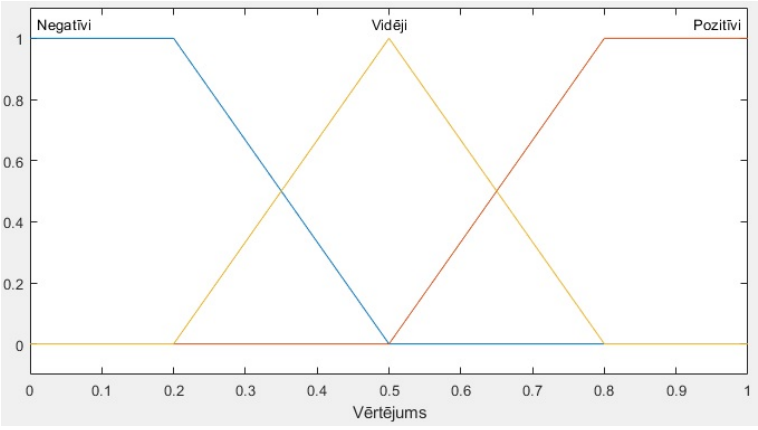
Attiecīgās piederības funkcijas:

”negatīvi” `trapmf(z,[-0.3 -0.04 0.2 0.5])`,

”vidēji” `trimf(z,[0.2 0.5 0.8])`,

”pozitīvi” `trapmf(z,[0.5 0.8 1 1.05])`,

ko var redzēt attēlā zemāk.



4.1. att. **Modeļa izejas mainīgā ”Vērtējums” lingvistisko vērtību piederības funkcijas**

Svarīgākos ietekmējošos faktorus esam apskatījuši iepriekš – nodokļu maksātāja finansiālā stāvokļa novērtēšanas sadaļā. Apzīmēsim tos ar $x_1, x_2, ..., x_8$.

Mainīgais x_1 ir nosūtīto inkaso uzdevumu un lēmumu par nokavēto nodokļu maksājumu piedziņu skaits. Apzīmēsim to ar lingvistisko mainīgo "Inkaso un piedziņa", ko apraksta ar lingvistisko vērtību kopu

$$T_1 = \{\text{"gandrīz nav"}, \text{"vidēji"}, \text{"daudz"}\}.$$

Attiecīgās piederības funkcijas:

"gandrīz nav" `trimf(x1,[-1 0 1])`,

"vidēji" `trimf(x1,[0 2 4])`,

"daudz" `trapmf(x1,[3 4 99 100])`.

Mainīgais x_2 ir naturālais logaritms no nodokļu un informatīvo deklarāciju iesniegšanas kavēšanas dienu skaita. Apzīmēsim to ar lingvistisko mainīgo "Deklarācijas", ko apraksta ar lingvistisko vērtību kopu

$$T_2 = \{\text{"mazs"}, \text{"vidēji"}, \text{"daudz"}\}.$$

Attiecīgās piederības funkcijas:

"mazs" `trapmf(x2,[-1.6 0 0.69 1.6])`,

"vidēji" `trapmf(x2,[1 1.9 2.3 3])`,

"daudz" `trapmf(x2,[2.3 3 7 8])`.

Par mainīgo x_3 apzīmēsim izsniegtos aizdevumus un izmaksātās dividendes. Lingvistisko mainīgo nosauksim "Aizdevumi un dividendes", ko apraksta ar lingvistisko vērtību kopu

$$T_3 = \{\text{"nav"}, \text{"tikai viens"}, \text{"abi"}\}.$$

Attiecīgās piederības funkcijas:

"nav" `trimf(x3,[-1 0 1])`,

"tikai viens" `trimf(x3,[0 1 2])`,

"abi" `trimf(x3,[1 2 3])`.

Mainīgais x_4 apzīmē kopējo ienākumu vidējo augšanas tempu. Lingvistisko mainīgo nosauksim ”Kopējie ienākumi”, ko apraksta ar lingvistisko vērtību kopu

$$T_4 = \{\text{”samazinājums”, ”nav izmaiņu”, ”palielinājums”}\}.$$

Attiecīgās piederības funkcijas:

”samazinājums” `trapmf(x4,[-1 0 0.9 1])`,

”nav izmaiņu” `trimf(x4,[0.9 1 1.1])`,

”palielinājums” `trapmf(x4,[1 1.1 10 10.1])`.

Mainīgais x_5 ir ienākumus saņēmušo darbinieku skaita vidējais augšanas temps. Apzīmēsim to ar lingvistisko mainīgo ”Darbinieku skaits”, ko apraksta ar lingvistisko vērtību kopu

$$T_5 = \{\text{”samazinājums”, ”nav izmaiņu”, ”palielinājums”}\}.$$

Attiecīgās piederības funkcijas:

”samazinājums” `trapmf(x5,[-1 0 0.9 1])`,

”nav izmaiņu” `trimf(x5,[0.9 1 1.1])`,

”palielinājums” `trapmf(x5,[1 1.1 10 10.1])`.

Par mainīgo x_6 apzīmēsim nodokļu parāda vidējo augšanas tempu. Lingvistisko mainīgo nosauksim ”Nodokļu parāds”, ko apraksta ar lingvistisko vērtību kopu

$$T_6 = \{\text{”samazinājums”, ”nav izmaiņu”, ”palielinājums”}\}.$$

Attiecīgās piederības funkcijas:

”samazinājums” `trapmf(x6,[-1 0 0.9 1])`,

”nav izmaiņu `trimf(x6,[0.9 1 1.1])`,

”palielinājums” `trapmf(x6,[1 1.1 10 10.1])`.

Mainīgais x_7 ir rentabilitātes rādītājs. Apzīmēsim to ar lingvistisko mainīgo ”Rentabilitāte”, ko apraksta ar lingvistisko vērtību kopu

$$T_7 = \{\text{”negatīvā”, ”vidējā”, ”augsta”}\}.$$

Attiecīgās piederības funkcijas:

”negatīvā” `trapmf(x7,[-4 -1 -0.2 0.2])`,

”vidējā” `trimf(x7,[-0.2 0.2 0.6])`,

”augsta” `trapmf(x7,[0.2 0.6 1 1.72])`.

Ar mainīgo x_8 apzīmēsim kopējo likviditātes koeficientu. Lingvistisko mainīgo nosauksim ”Likviditāte”, ko apraksta ar lingvistisko vērtību kopu

$$T_8 = \{\text{”nepietiekama”}, \text{”optimāla”}, \text{”neefektīva”}\}.$$

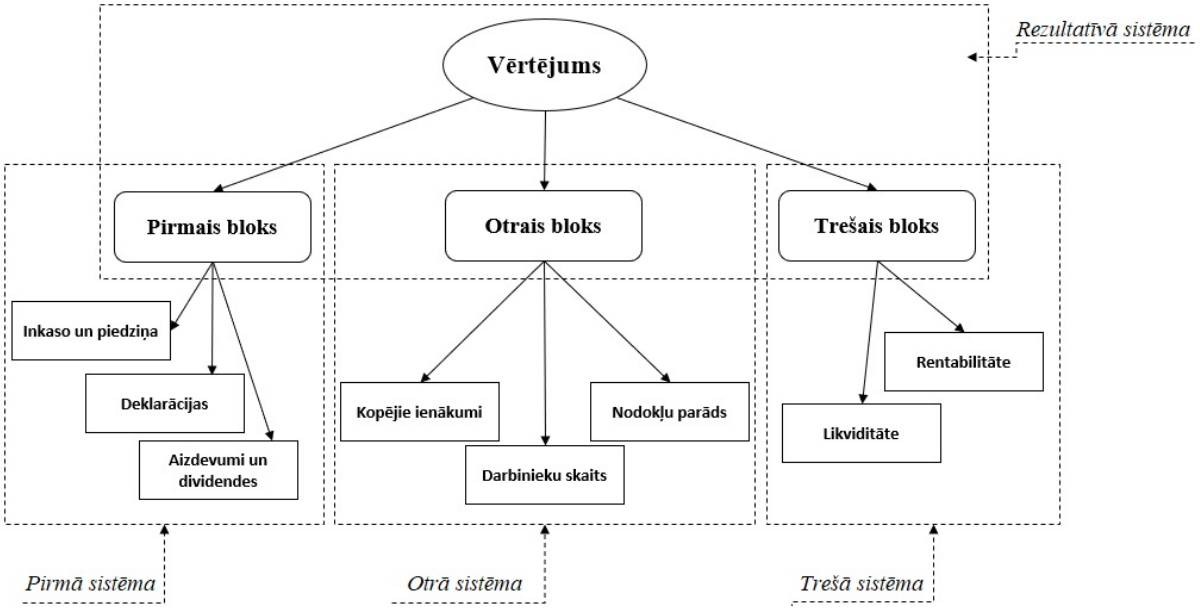
Attiecīgās piederības funkcijas:

”nepietiekama” `trapmf(x8,[-1.08 -0.12 0.75 1.25])`,

”optimāla” `trapmf(x8,[0.75 1.25 1.75 2.25])`,

”neefektīva” `trapmf(x8,[1.75 2.25 5.12 6.08])`.

Tā kā modelī ir astoņi ietekmējošie faktori, būs ērtāk tos sadalīt blokos (apakšgrupās) un izstrādāt hierarhisko nestrikto secinājumu sistēmu. To struktūru var redzēt 4.2. attēlā. Kopumā būs trīs bloki. Katram blokam ir jāizstrādā sava nestriktā secinājumu sistēma, līdz ar to ir jānodefinē izejas mainīgie, ko kopējā modelī sauc par starpmainīgajiem, un kuri kalpo par rezultatīvās sistēmas ieejas faktoriem.



4.2. att. **Hierarhiskās nestriktās secinājumu sistēmas struktūra**

Starpmainīgos apzīmēsim ar y_1 −"Pirmais bloks", y_2 − "Otrais bloks" un y_3 − "Trešais bloks", tie apraksta apakšgrupu faktoru kopējo ietekmi uz rezultatīvo mainīgo "Vērtējums" − pozitīvu, vidējo vai negatīvu.

Faktori x_1, x_2 un x_3 kļūst par pirmā bloka ieejas mainīgajiem, tad pirmā bloka izejas mainīgais ir y_1 −"Pirmais bloks", ko apraksta ar lingvistisko vērtību kopu

$$T_9 = \{\text{"slikts"}, \text{"vidējs"}, \text{"labs"}\}.$$

Attiecīgās piederības funkcijas:

"slikts" `trimf(y1,[-0.4 0 0.4])`,

"vidējs" `trimf(y1,[0.1 0.5 0.9])`,

"labs" `trimf(y1,[0.6 1 1.4])`.

Pirmā bloka ieejas un izejas mainīgo piederības funkcijas ir redzamas 4.3. attēlā. Otrā bloka ieejas faktori ir x_4, x_5 un x_6 un izejas mainīgais ir y_2 − "Otrais bloks", ko apraksta ar lingvistisko vērtību kopu

$$T_{10} = \{\text{"slikts"}, \text{"vidējs"}, \text{"labs"}\}.$$

Attiecīgās piederības funkcijas:

"slikts" `trimf(y2,[-0.4 0 0.4])`,

"vidējs" `trimf(y2,[0.1 0.5 0.9])`,

"labs" `trimf(y2,[0.6 1 1.4])`.

Otrā bloka ieejas un izejas mainīgo piederības funkcijas var apskatīt 4.4. attēlā. Par trešā bloka ieejas faktoriem nosaka mainīgos x_7 un x_8 un izejas mainīgo y_3 − "Trešais bloks", ko apraksta ar lingvistisko vērtību kopu

$$T_{11} = \{\text{"slikts"}, \text{"vidējs"}, \text{"labs"}\}.$$

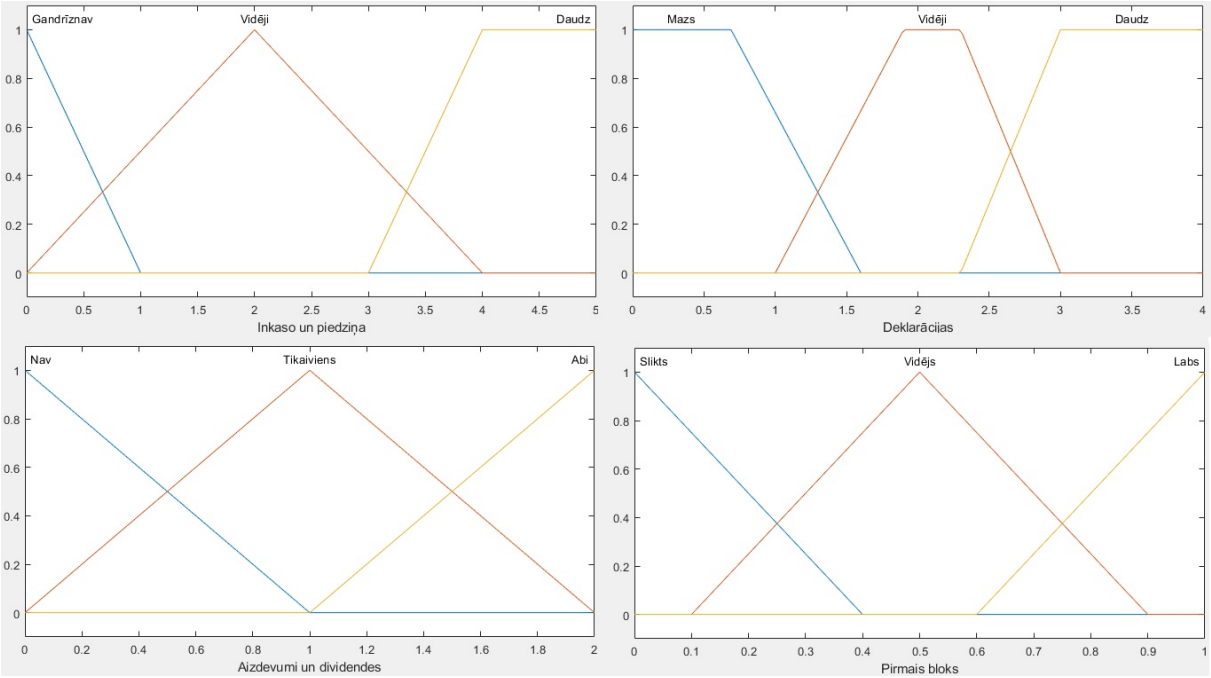
Attiecīgās piederības funkcijas:

"slikts" `trimf(y3,[-0.4 0 0.4])`,

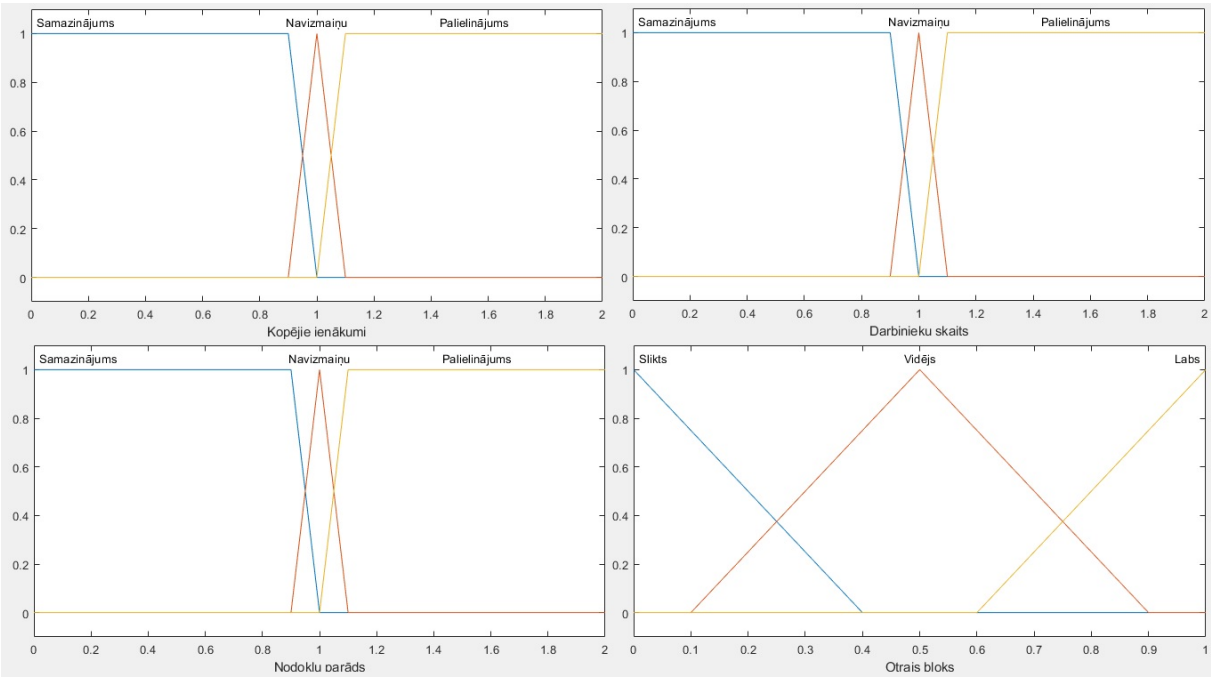
"vidējs" `trimf(y3,[0.1 0.5 0.9])`,

"labs" `trimf(y3,[0.6 1 1.4])`.

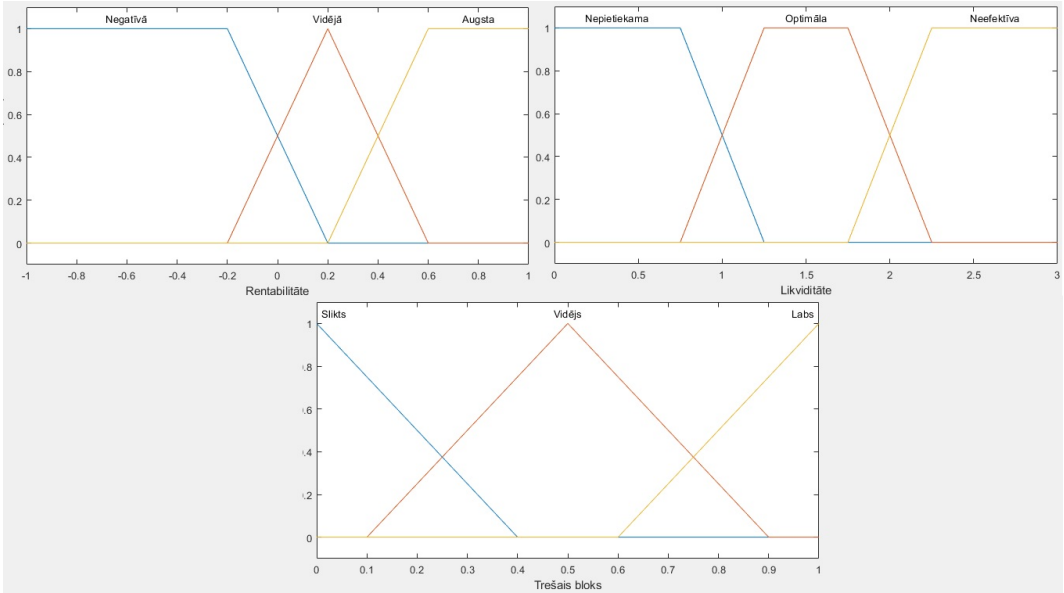
Trešā bloka ieejas un izejas mainīgo piederības funkcijas ir atspoguļotas 4.5. attēlā. Rezultatīvās sistēmas ieejas faktori ir y_1, y_2 un y_3 un izejas mainīgais z. Izejas mainīgā "Vērtējums" defazificētā vērtība ir modeļa rezultāts. Vērtējums skaitās pozitīvs, kad pieņem vērtību intervālā $[0.65; 1]$, vidējs – intervālā $(0.35; 0.65)$ un negatīvs, kad atrodas intervālā $[0; 0.35]$.



4.3. att. **Pirmās sistēmas ieejas un izejas mainīgo piederības funkcijas**



4.4. att. **Otrās sistēmas ieejas un izejas mainīgo piederības funkcijas**



4.5. att. **Trešās sistēmas ieejas un izejas mainīgo piederības funkcijas**

Kārtulu bāze

Modeļa izstrādes nākamais posms ir kārtulu bāzes konstruēšana. Pirmajā sistēmā kopā ir trīs ieejas mainīgie un katram ir trīs lingvistiskās vērtības. Aprēķinot sanāk 27 iespējamās nosacījumu kombinācijas (kārtulas). Otrajā sistēmā kārtulu skaits arī ir 27. Trešajā sistēmā ir divas ieejas, ar trim vērtībām katrā, līdz ar to sanāk 9 kārtulas. Katras kārtulas secinājuma daļa ir iegūta ar eksperta un datu analīzes palīdzību. Kārtulu bāzes apkoposim 4.1. – 4.4. tabulās.

4.1. tabula

Trešās sistēmas FAM tabula

Rentabilitāte	Likviditāte	Trešais bloks
Negatīva	Optimāls	Vidējs
Negatīva	Neefektīvs	Vidējs
Negatīva	Nepietiekams	Slikts
Vidējā	Optimāls	Labs
Vidējā	Neefektīvs	Vidējs
Vidējā	Nepietiekams	Slikts
Augsta	Optimāls	Labs
Augsta	Neefektīvs	Labs
Augsta	Nepietiekams	Vidējs

Pirmās sistēmas FAM tabula

Inkaso un piedziņa	Deklarācijas	Aizdevumi un dividendes	Pirmais bloks
Gandrīz nav	Mazs	Nav	Labs
Gandrīz nav	Mazs	Tikai viens	Labs
Gandrīz nav	Mazs	Abi	Vidējs
Gandrīz nav	Vidēji	Nav	Labs
Gandrīz nav	Vidēji	Tikai viens	Vidējs
Gandrīz nav	Vidēji	Abi	Vidējs
Gandrīz nav	Daudz	Nav	Vidējs
Gandrīz nav	Daudz	Tikai viens	Vidējs
Gandrīz nav	Daudz	Abi	Slikts
Vidēji	Mazs	Nav	Vidējs
Vidēji	Mazs	Tikai viens	Vidējs
Vidēji	Mazs	Abi	Vidējs
Vidēji	Vidēji	Nav	Vidējs
Vidēji	Vidēji	Tikai viens	Vidējs
Vidēji	Vidēji	Abi	Slikts
Vidēji	Daudz	Nav	Vidējs
Vidēji	Daudz	Tikai viens	Slikts
Vidēji	Daudz	Abi	Slikts
Daudz	Mazs	Nav	Slikts
Daudz	Mazs	Tikai viens	Slikts
Daudz	Mazs	Abi	Slikts
Daudz	Vidēji	Nav	Slikts
Daudz	Vidēji	Tikai viens	Slikts
Daudz	Vidēji	Abi	Slikts
Daudz	Daudz	Nav	Slikts
Daudz	Daudz	Tikai viens	Slikts
Daudz	Daudz	Abi	Slikts

Otrās sistēmas FAM tabula

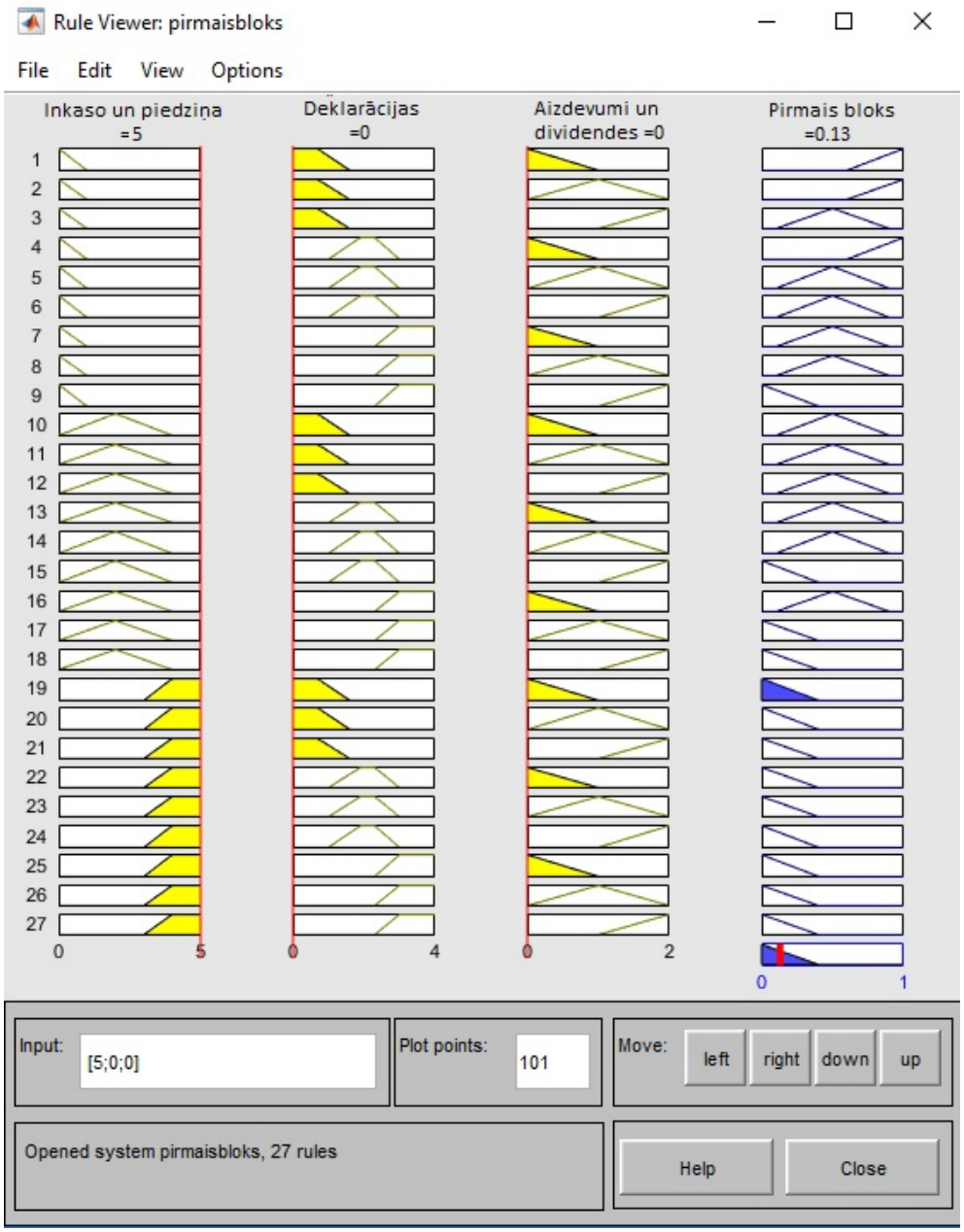
Kopējie ienākumi	Darbinieku skaits	Nodokļu parāds	Otrais bloks
Samazinājums	Samazinājums	Samazinājums	Vidējs
Palielinājums	Samazinājums	Samazinājums	Vidējs
Nav izmaiņu	Samazinājums	Samazinājums	Vidējs
Samazinājums	Palielinājums	Samazinājums	Vidējs
Palielinājums	Palielinājums	Samazinājums	Labs
Nav izmaiņu	Palielinājums	Samazinājums	Vidējs
Samazinājums	Nav izmaiņu	Samazinājums	Vidējs
Palielinājums	Nav izmaiņu	Samazinājums	Labs
Nav izmaiņu	Nav izmaiņu	Samazinājums	Labs
Samazinājums	Samazinājums	Palielinājums	Slikts
Palielinājums	Samazinājums	Palielinājums	Vidējs
Nav izmaiņu	Samazinājums	Palielinājums	Vidējs
Samazinājums	Palielinājums	Palielinājums	Slikts
Palielinājums	Palielinājums	Palielinājums	Vidējs
Nav izmaiņu	Palielinājums	Palielinājums	Slikts
Samazinājums	Nav izmaiņu	Palielinājums	Slikts
Palielinājums	Nav izmaiņu	Palielinājums	Vidējs
Nav izmaiņu	Nav izmaiņu	Palielinājums	Slikts
Samazinājums	Samazinājums	Nav izmaiņu	Slikts
Palielinājums	Samazinājums	Nav izmaiņu	Vidējs
Nav izmaiņu	Samazinājums	Nav izmaiņu	Slikts
Samazinājums	Palielinājums	Nav izmaiņu	Slikts
Palielinājums	Palielinājums	Nav izmaiņu	Labs
Nav izmaiņu	Palielinājums	Nav izmaiņu	Slikts
Samazinājums	Nav izmaiņu	Nav izmaiņu	Slikts
Palielinājums	Nav izmaiņu	Nav izmaiņu	Vidējs
Nav izmaiņu	Nav izmaiņu	Nav izmaiņu	Vidējs

Rezultatīvās sistēmas FAM tabula

Pirmais bloks	Otrais bloks	Trešais bloks	Vērtējums
Labs	Labs	Labs	Pozitīvs
Labs	Labs	Vidējs	Pozitīvs
Labs	Labs	Slikts	Pozitīvs
Labs	Vidējs	Labs	Pozitīvs
Labs	Vidējs	Vidējs	Pozitīvs
Labs	Vidējs	Slikts	Vidējais
Labs	Slikts	Labs	Vidējais
Labs	Slikts	Vidējs	Vidējais
Labs	Slikts	Slikts	Negatīvs
Vidējs	Labs	Labs	Vidējais
Vidējs	Labs	Vidējs	Vidējais
Vidējs	Labs	Slikts	Vidējais
Vidējs	Vidējs	Labs	Vidējais
Vidējs	Vidējs	Vidējs	Vidējais
Vidējs	Vidējs	Slikts	Vidējais
Vidējs	Slikts	Labs	Vidējais
Vidējs	Slikts	Vidējs	Negatīvs
Vidējs	Slikts	Slikts	Negatīvs
Slikts	Labs	Labs	Vidējais
Slikts	Labs	Vidējs	Vidējais
Slikts	Labs	Slikts	Negatīvs
Slikts	Vidējs	Labs	Vidējais
Slikts	Vidējs	Vidējs	Negatīvs
Slikts	Vidējs	Slikts	Negatīvs
Slikts	Slikts	Labs	Negatīvs
Slikts	Slikts	Vidējs	Negatīvs
Slikts	Slikts	Slikts	Negatīvs

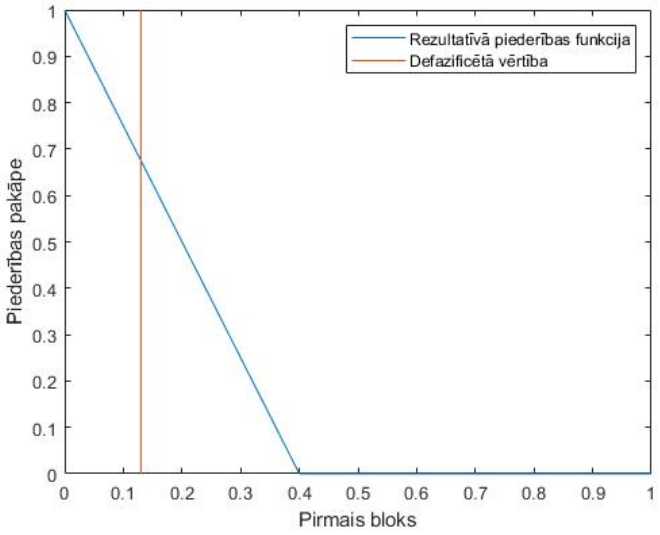
Nestriktā secinājuma Mamdani modelis

Visas kārtulas sastāv no sarežģītiem nosacījumiem, saistītiem ar loģisko operatoru AND. Implikāciju nosacījumu patiesuma pakāpes aprēķina ar t-normas operatoru MIN. Katrai sistēmai rezultatīvās piederības funkcijas aprēķināšanas procesā izmanto *max-min* kompozīciju, tas ir, kā nestriktās implikācijas operatoru izmanto t-normas operatoru – minimumu un kā modificēto nestriktās implikācijas secinājuma piederības funkciju agregāciju izmanto s-normas operatoru – maksimumu. Izejas skaitliskās vērtības aprēķināšanai izmanto defazificēšanas smaguma centra metodi. Tālāk realizēsim modeli uz konkrētiem piemēriem.



4.6. att. **Pirmās sistēmas rezultātu attēlojums**

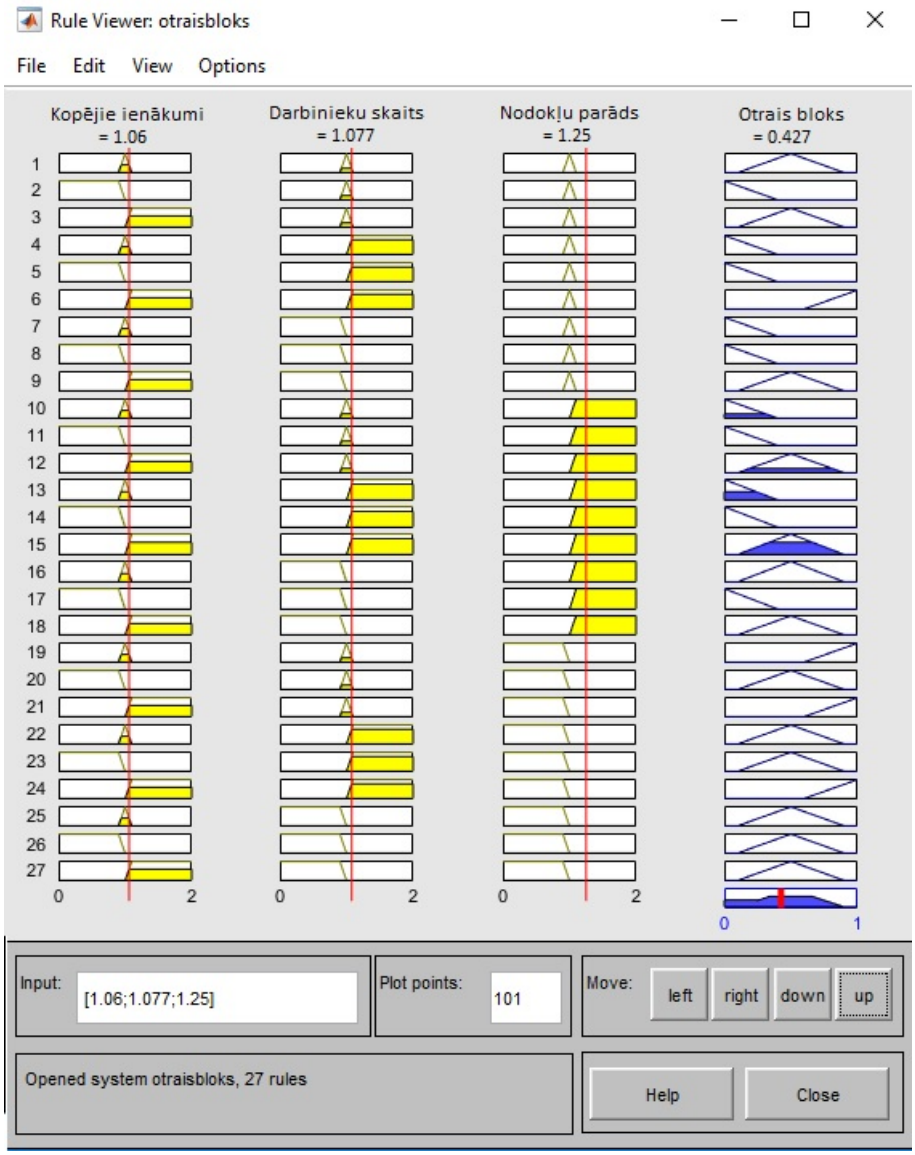
No apmācību kopas paņemsim divus novērojumus, pirmo, kad nodokļu samaksas termiņa pagarinājums nav izpildīts, otro − kad ir izpildīts. Aplūkosim pirmo novērojumu, kur TP netiek izpildīts. Uzdosim ieejas faktoru vērtības $x_1^* = 5$, $x_2^* = 0$, $x_3^* = 0$, $x_4^* = 1.06$, $x_5^* = 1.077$, $x_6^* = 1.25$, $x_7^* = -0.1$ un $x_8^* = 1.1$. Katra atsevišķā sistēma tiek radīta ar MATLAB nestriktās loģikas grafisko interfeisu, savukārt modeļa hierarhiskas struktūras konstruēšanai ir nepieciešams papildus kods, kas ir atspoguļots 3. pielikumā. Apskatot pirmo sistēmu (4.6. att.), var redzēt, ka 19. kārtula piedalās rezultatīvās piederības funkcijas definēšanā, jo pārējo kārtulu nosacījumu patiesuma pakāpes ir vienādas ar nulli. Pirmās sistēmas rezultatīvā piederības funkcija $\tilde{\mu}(y_1)$ un defazificētā vērtība $y_1^* = 0.13$ ir atspoguļota 4.7. attēlā.



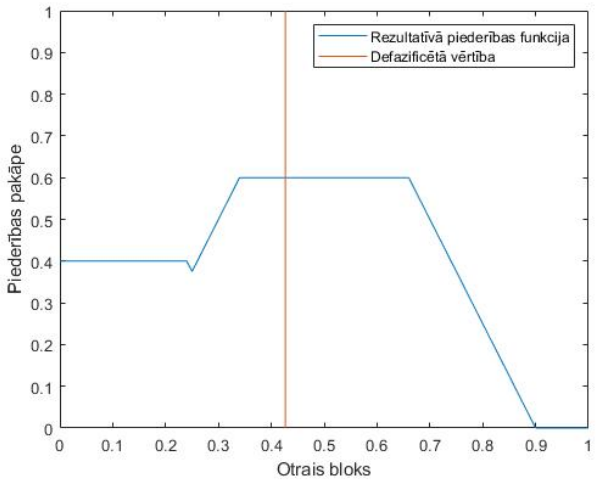
4.7. att. **Pirmās sistēmas rezultatīvā piederības funkcija**

Otrajā sistēmā (4.8. att.) var redzēt, ka 10., 12., 13. un 15. kārtulas piedalās rezultatīvās piederības funkcijas definēšanā. Otrās sistēmas rezultatīvā piederības funkcija $\tilde{\mu}(y_2)$ un defazificētā vērtība $y_2^* = 0.427$ ir redzama 4.9. attēlā.

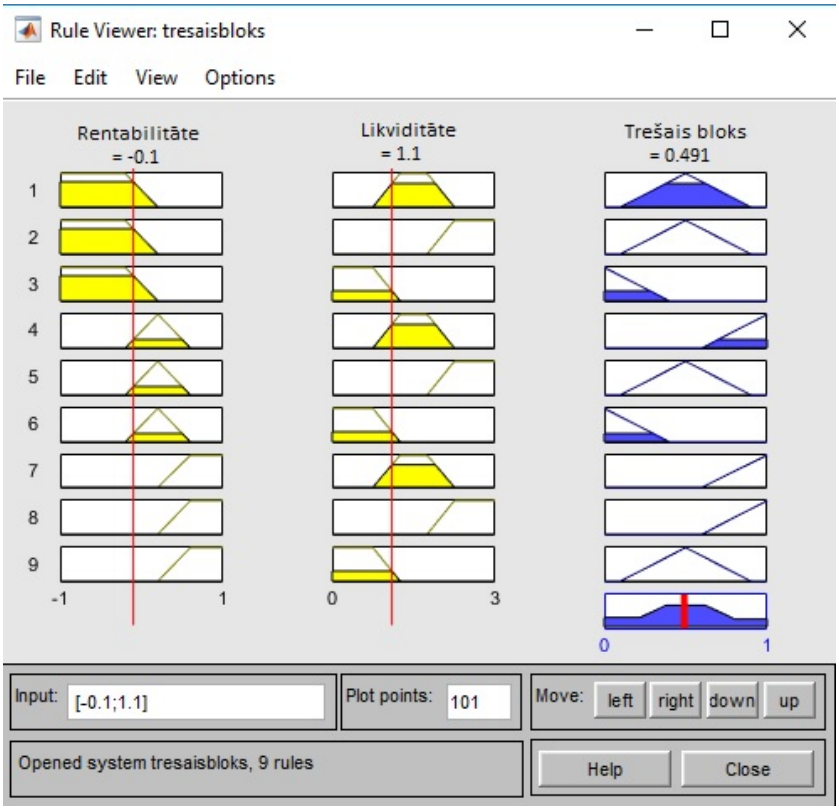
Trešajā sistēmā (4.10. att.) rezultatīvās piederības funkcijas definēšanā piedalās 1., 3., 4. un 6. kārtulas. Otrās sistēmas defazificētā vērtība $y_3^* = 0.491$ un rezultatīvā piederības funkcija $\tilde{\mu}(y_3)$ ir atspoguļota 4.11. attēlā. Kad visi trīs starpmainīgie y_1^*, y_2^*, y_3^* ir aprēķināti, iekļaujam tos rezultatīvajā sistēmā (4.12. att.), kopējā vērtējuma atrisinājumam. Ar ieejas mainīgo vērtībām $y_1^* = 0.13, y_2^* = 0.427, y_3^* = 0.491$, sistēmas izejas defazificētā vērtība sanāk $z^* = 0.234$, kas ir atspoguļota 4.13. grafikā. Apskatītajā piemērā rezultāts ir negatīvs, jo izejas defazificētā vērtība atrodas intervālā $[0; 0.35]$.



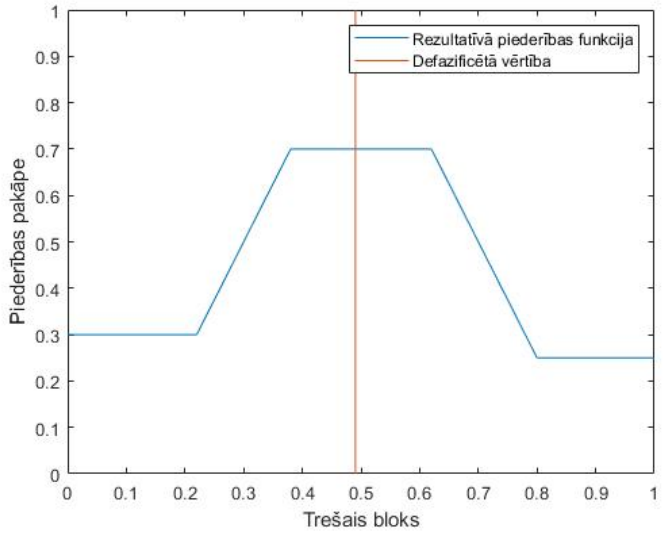
4.8. att. **Otrās sistēmas rezultātu attēlojums**



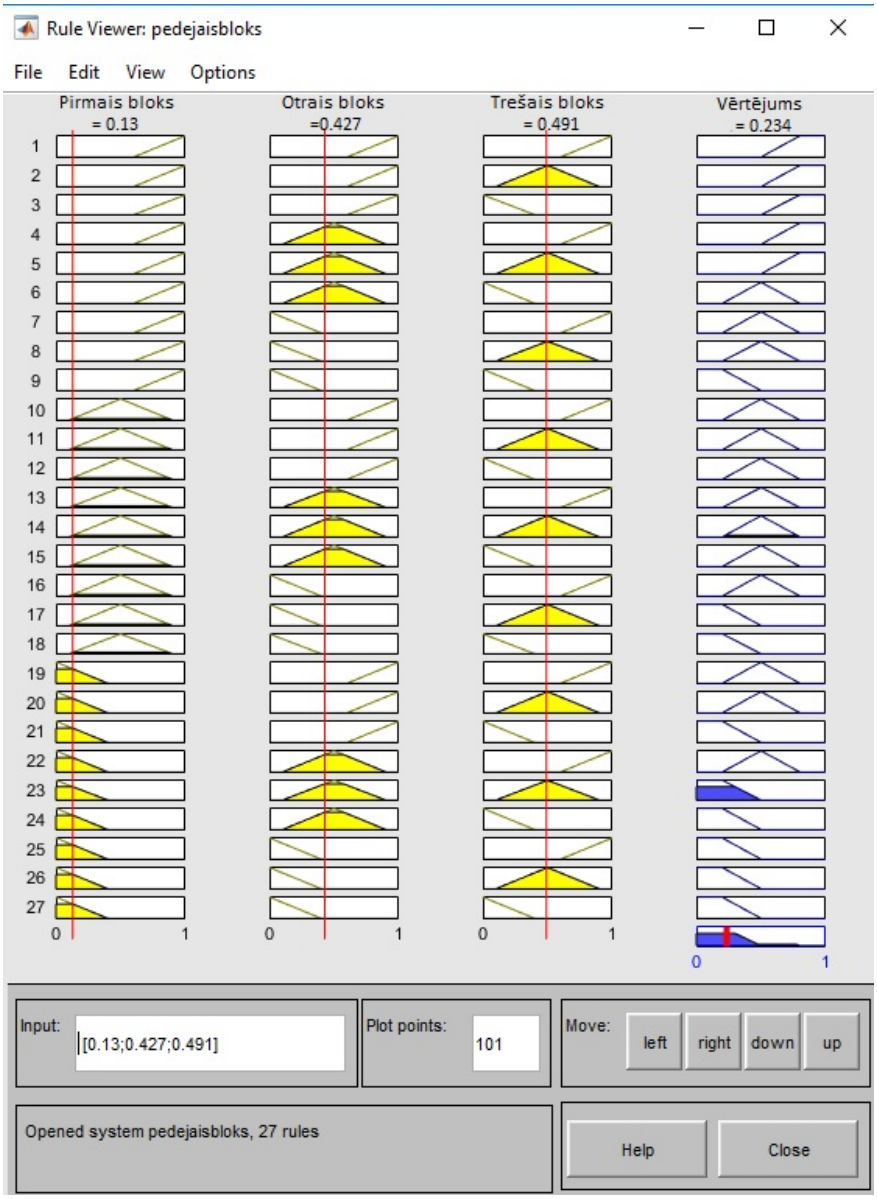
4.9. att. **Otrās sistēmas rezultatīvā piederības funkcija**



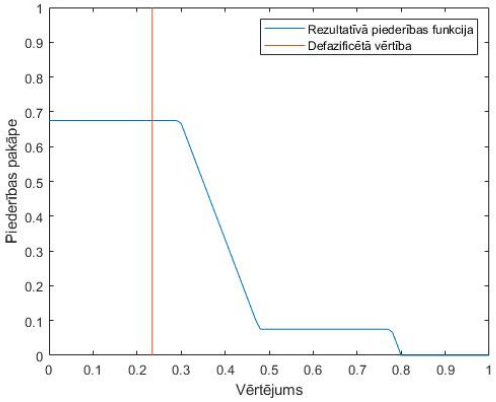
4.10. att. **Trešās sistēmas rezultātu attēlojums**



4.11. att. **Trešās sistēmas rezultatīvā piederības funkcija**

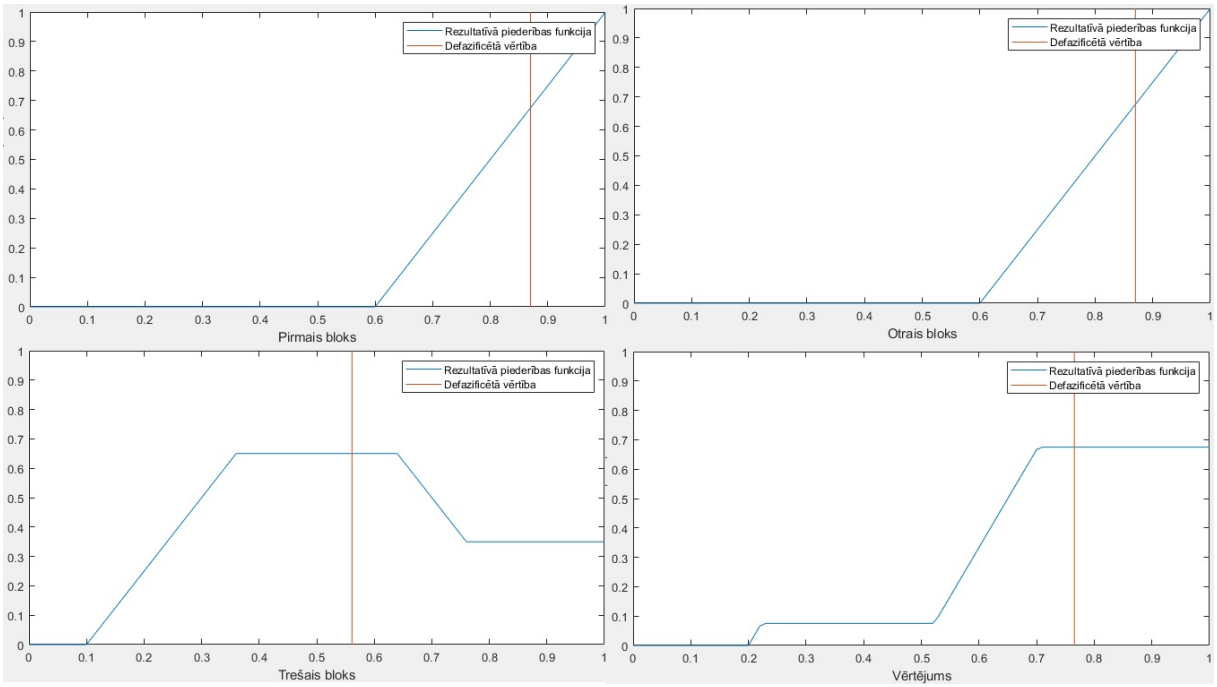


4.12. att. **Rezultatīvās sistēmas rezultātu attēlojums**



4.13. att. **Rezultatīvās sistēmas rezultatīvā piederības funkcija**

Nākamajām piemēram tiek paņemts izpildīts termiņa pagarinājums. Sistēmas ieejas mainīgo vērtības ir $x_1^* = 0$, $x_2^* = 1.95$, $x_3^* = 0$, $x_4^* = 1$, $x_5^* = 1$, $x_6^* = 0.66$, $x_7^* = -0.06$ un $x_8^* = 1.32$. Tad aprēķinātās sistēmas starpmainīgo vērtības ir $y_1^* = 0.87, y_2^* = 0.87, y_3^* = 0.5613$ un rezultatīvā izejas vērtība $z^* = 0.7656$. Pirmās, otrās, trešās un rezultatīvās sistēmu rezultatīvās piederības funkcijas ar defazicifētām vērtībām ir atspoguļotas attēlā zemāk. Kā var redzēt šajā apskatītajā piemērā, rezultāts ir pozitīvs, jo iekļaujas intervālā $[0.65; 1]$.



4.14. att. **Sistēmu rezultatīvās piederības funkcijas**

4.2. Sistēmas pārbaude

Nodokļu maksātāju termiņa pagarinājuma pieteikuma novērtēšanas modeļa pārbaudei tiek izmantota testa izlase ar 100 novērojumiem. No tiem 50 novērojumi ir pieprasīti termiņa pagarinājumi, kas ir izpildīti 2017. gadā un 50 – termiņa pagarinājumi, kas nav izpildīti, kas ir konstatēts 2017. gadā. Nestriktā secinājuma modelī rezultējošais mainīgais ir termiņa pagarinājuma pieteikuma vērtējums – pozitīvs, vidējs vai negatīvs. Testa izlases rezultatīvā pazīme ir termiņa pagarinājuma izpildes indikators, binārais mainīgais: 0 – nav izpildīts un 1 – ir izpildīts. Modeļa pārbaudes rezultāti ir apkopoti 2×3 kontingences 4.5. tabulā.

Starp neizpildītiem termiņa pagarinājumiem modelis ir vērtējis pozitīvi 1%, vidēji 77% un negatīvi 22%. Izpildītos termiņa pagarinājumus modelis ir klasificējis 3% negatīvi, 57% vidēji un 40% pozitīvi.

4.5. tabula

Sistēmas pārbaudes rezultāti.

	Vērtējums			
TP izpilde	**Negatīvs**	**Vidējs**	**Pozitīvs**	**Kopā**
0	22%	77%	1%	100%
1	3%	57%	40%	100%

Pēc pārbaudes rezultātiem var secināt, ka modelis labi apraksta datus. Sistēma pareizi vērtē faktoru ietekmi, gan kad termiņa pagarinājums tiek izpildīts gan, kad netiek izpildīts. Sistēmas pārbaudes rezultātu lielāko kapacitāti sastāda vidējais TP vērtējums. Līdz ar to ir jāmodificē mainīgo piederības funkcijas, uzdodot lingvistiskajām vērtībām papildus ierobežojumus. Rezultējošam mainīgajam var arī pievienot papildus lingvistisko vērtību sadalot vidējo vērtējumu daļās.

NOBEIGUMS

Darbā tika apskatīts uz nestriktās loģikas balstītās lēmumu pieņemšanas sistēmas pielietojums nodokļu samaksas termiņa pagarinājuma pieteikumu novērtēšanai. Izstrādātais modelis ir piemērots izvirzītā uzdevuma atrisināšanai. Viena no svarīgākajām nestriktās secinājumu sistēmas priekšrocībām ir iespēja pašam definēt kārtulu bāzi. Datu analīzē tika konstatēts, ka eksistē daudz iemeslu un scenāriju nodokļu samaksas termiņa pagarinājumu pieprasīšanai. Darba gaitā bija iespēja pašam operēt ar biznesa noteikumiem (angļu *business rules*) un definēt faktoru vērtību intervālus. Modelis veidots hierarhiskajā struktūrā, kas ļauj redzēt gan galīgo rezultātu, gan kā katra no faktoru grupām ietekmē rezultātu.

Veicot tālāko modeļa pilnveidošanu ir jāpievieno papildus uzņēmuma maksātspējas ietekmējošie faktori, tādi, kā uzņēmuma nozare, teritoriālā piederība, uzņēmuma vecums, struktūrvienību skaits, audita rezultāti, utt. Dažreiz iesniegtās deklarācijas ir nepilnīgas vai kļūdaini aizpildītas. Līdz ar to ir jāmodificē modelis, kur novērojumi satur trūkstošās vērtības.

Nestriktajā secinājumu hierarhiskajā sistēmā secīgi notiek defazifikācijas un fazifikācijas procesi, kur modeļa starpmainīgo striktās vērtības kalpo par nākamās hierarhijas pakāpes ieejas mainīgajiem. Modeļa trūkums ir tas, ka katram starpmainīgajam ir jānodefinē to piederības funkcijas, un tām ir jāsakrīt pirms un pēc defazifikācijas un fazifikācijas procesa. Eksistē arī metode, kur starpmainīgo defazifikācijas un fazifikācijas procesus nepilda. Loģiskā secinājuma rezultāts pāriet uz nākamo hierarhijas pakāpi kā nestriktā kopa, un starpmainīgo uzdošanai ir nepieciešamas tikai to lingvistiskās vērtības. Tas atvieglo eksperta darbu un samazina rezultātu kļūdas. Šīs metodes īstenošanai ir jāizmanto datorprogramma R.

Izstrādātā sistēma ļaus optimizēt Valsts ieņēmumu dienesta nodokļu samaksas termiņa pagarinājumu piešķiršanas procesu, piemēram, paaugstinās pareizā lēmuma pieņemšanas precizitāti, paātrinās termiņa pagarinājuma iesnieguma izskatīšanas procesu, automatizēs datu apstrādi.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA UN AVOTI

[1] Byeon H. *Chi-square automatic interaction detection modeling for predicting depression in multicultural female students*. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 8(12), 2017, pp. 179-183

[2] Kass V. *An exploratory technique for investigating large quantities of categorical data*. Journal of the Royal Statistical Society, Series C (Applied Statistics), 29(2), 1980, pp. 119-127

[3] Kerber R. *ChiMerge: discretization of numeric attributes.* Proceedings of the 10th National Conference on Artificial Intelligence, San Jose, 1992, pp. 123-128

[4] Riza L., Herrera F., Bergmeir C., Benitez J. *frbs: fuzzy rule-based systems for classification and regression in R*. Journal of Statistical Software, 65(6), 2015, pp. 1-30

[5] Šneidere R. *Finanšu analīzes metodes uzņēmuma maksātnespējas prognozēšanai.* Promocijas darbs, Latvijas Universitāte, Rīga, 2007

[6] Vitovska D. *Uz nestriktās loģikas balstīta lēmumu pieņemšanas sistēma kredītriska novērtēšanai.* Maģistra darbs, Latvijas Universitāte, Rīga, 2017

[7] Vitovska D. *Uz nestriktas loģikas balstīta lēmumu pieņemšanas sistēma biznesa spēlēs.* Bakalaura darbs, Latvijas Universitāte, Rīga, 2015

[8] Замула А. *Нечеткая модель управления качеством банковских услуг*. Донецкий национальный технический университет, Донецк, 2012

[9] Пегат А. *Нечеткое моделирование и управление*. БИНОМ. Лаборатория знаний, Москва, 2013

[10] Тарасян С. *Пакет fuzzy logic toolbox for MATLAB*. УрГУПС, Екатеринбург, 2013

[11] Ястребова Н. *Построение экспертных систем на базе иерархического нечеткого вывода.* Международный научно-практический журнал Программные продукты и системы, 4, 2007, стр. 18-21

[12] *IBM SPSS Modeler 17 algorithms guide*. IBM Corporation, 2015

[13] *Fuzzy Logic Toolbox User's Guide.* The Mathworks, 2018

[14] *Iesniegums samaksas termiņa pagarinājuma piešķiršanai*. Valsts ieņēmumu dienesta publicētā informācija. [Skatīts 12.02.2018] Pieejams Internetā: https://www.vid.gov.lv/lv/veidlapas-un-iesniegumi-22

[15] *Informatīvais materiāls par nodokļu samaksas termiņa pagārinājumu piemērošanas kārtību*. Valsts ieņēmumu dienesta publicētā informācija. [Skatīts 12.02.2018] Pieejams Internetā: https://www.vid.gov.lv/lv/informativie-un-metodiskie-materiali-15

[16] Latvijas Republikas tiesību akti. Likums par nodokļiem un nodevām. [Skatīts 02.04.2018.] Pieejams Internetā: https://likumi.lv/doc.php?id=33946

[17] Mathworks. Fuzzy Inference System Modeling. [Skatīts 08.04.2018.] Pieejams Internetā: https://se.mathworks.com/help/fuzzy/mamdani-fuzzy-inference-systems.html

PIELIKUMI

1. pielikums

Biežumu tabulas mainīgajiem pēc pēdējās diskretizācijas ar χ^2 statistikas vērtībām.

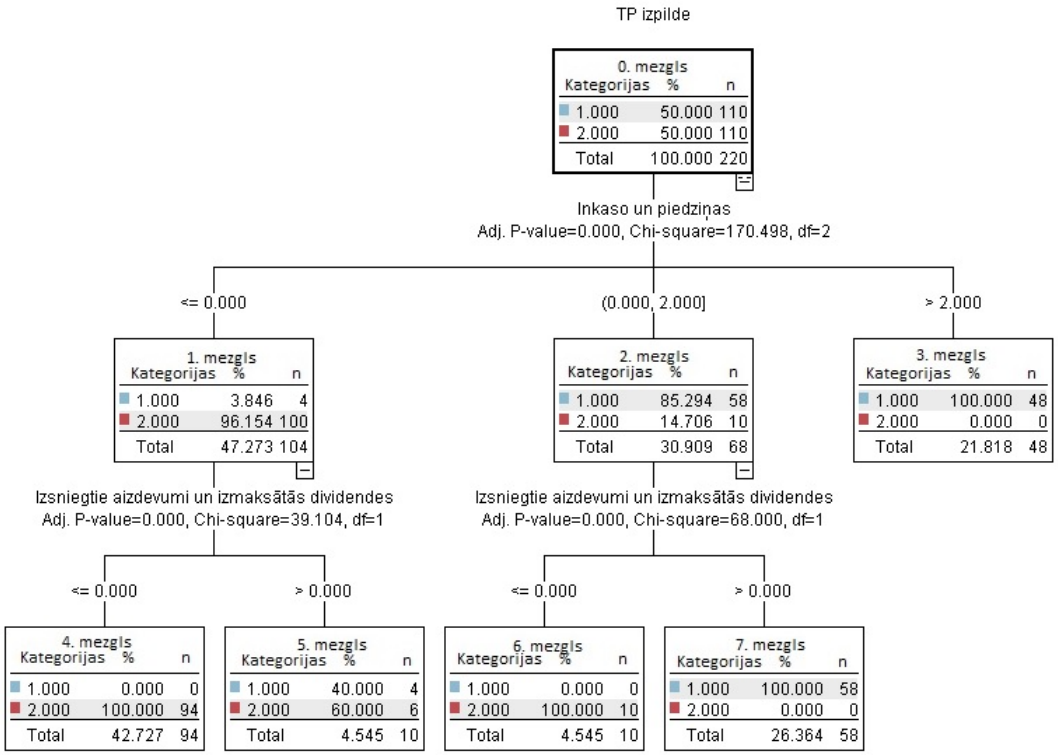
Deklarāciju iesniegšanas termiņu kavējumu dienas

Intervāls	**Biežums**		χ^2
	1. klase	**2. klase**	
(-∞;3]	62	101	8.23
(3;16]	16	7	3.86
(16;19.5]	0	2	34
(19.5;+∞)	32	0	

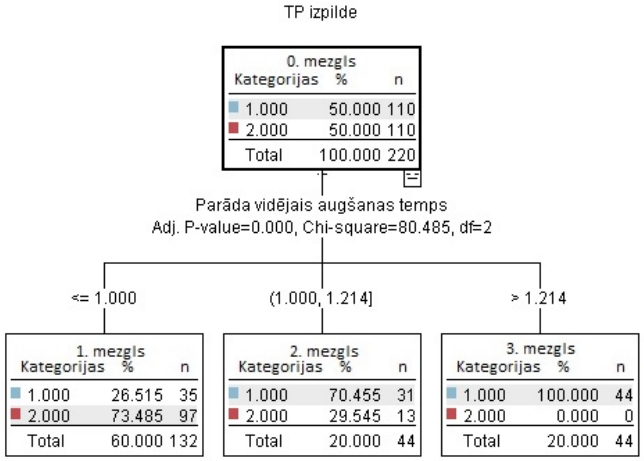
Izsniegtie aizdevumi un izmaksātas dividendes

Intervāls	**Biežums**		χ^2
	1. klase	**2. klase**	
(-∞;0.5]	38	104	86.52
(0.5;+∞)	72	6	

CHAID lēmumu koki



CHAID lēmumu koks pirmajai faktoru grupai



CHAID lēmumu koks otrajai faktoru grupai

Programmas MATLAB kods

```
fuzzy
fis1 = readfis('pirmaisbloks')
[output,fuzzifiedInputs,ruleOutputs,aggregatedOutput] =
evalfis([6 0 0],fis1);
outputRange = linspace(fis1.output.range(1),fis1.output.range(2),
length(aggregatedOutput))';
plot(outputRange,aggregatedOutput,[output output],[0 1])
xlabel('Pirmais bloks')
ylabel('Piederības pakāpe')
legend('Rezultatīvā piederības funkcija','Defazificētā vērtība')
input1 = [6 0 0]
output1 = evalfis(input1,fis1)

fis2=readfis('otraisbloks')
[output,fuzzifiedInputs,ruleOutputs,aggregatedOutput] =
evalfis([1.06 1.077 1.25],fis2);
outputRange = linspace(fis2.output.range(1),fis2.output.range(2),
length(aggregatedOutput))';
plot(outputRange,aggregatedOutput,[output output],[0 1])
xlabel('Otrais bloks')
ylabel('Piederības pakāpe')
legend('Rezultatīvā piederības funkcija','Defazificētā vērtība')
input2 = [1.06 1.077 1.25]
output2 = evalfis(input2,fis2)

fis3=readfis('tresaisbloks')
[output,fuzzifiedInputs,ruleOutputs,aggregatedOutput] =
evalfis([-0.1 1.1],fis3);
outputRange = linspace(fis3.output.range(1),fis3.output.range(2),
length(aggregatedOutput))';
plot(outputRange,aggregatedOutput,[output output],[0 1])
xlabel('Trešais bloks')
ylabel('Piederības pakāpe')
legend('Rezultatīvā piederības funkcija','Defazificētā vērtība')
input3 = [-0.1 1.1]
output3 = evalfis(input3,fis3)

fis4=readfis('pedejaisbloks')
[output,fuzzifiedInputs,ruleOutputs,aggregatedOutput] =
evalfis([output1 output2 output3],fis4);
outputRange = linspace(fis4.output.range(1),fis4.output.range(2),
length(aggregatedOutput))';
plot(outputRange,aggregatedOutput,[output output],[0 1])
xlabel('Vērtējums')
ylabel('Piederības pakāpe')
legend('Rezultatīvā piederības funkcija','Defazificētā vērtība')
input4 = [output1 output2 output3]
output4 = evalfis(input4,fis4)
```

Bakalaura darbs “Uz nestriktās loģikas balstīta lēmumu pieņemšanas sistēma nodokļu samaksas termiņa pagarinājuma pieteikumu novērtēšanai” izstrādāts LU Fizikas un matemātikas fakultātē.

Ar savu parakstu apliecinu, ka pētījums veikts patstāvīgi, izmantoti tikai tajā norādītie informācijas avoti un iesniegtā darba elektroniskā kopija atbilst izdrukai.

Autore: Anna Siņukova

_____ _____

(paraksts) (datums)

Rekomendēju darbu aizstāvēšanai
Vadītāja: profesore Svetlana Asmuss

_____ _____

(paraksts) (datums)

Recenzente: asociētā profesore Ingrīda Uļjane

Darbs iesniegts Matemātikas nodaļā ____.06.2018.
Dekāna pilnvarotā persona: vecākā metodiķe Dzintra Holsta

Darbs aizstāvēts Valsts pārbaudījuma komisijas sēdē
____.06.2018. prot. Nr. ____
Komisijas sekretāre: asociētā profesore Ingrīda Uļjane