



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

Dovydas Govorovas

**AUKŠTOS ĮTAMPOS TRANSFORMATORIŲ PASTOČIŲ
SCHEMŲ DARBO PATIKIMUMO ANALIZĖ**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Mindaugas Ažubalis

KAUNAS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA

**AUKŠTOS ĮTAMPOS TRANSFORMATORIŲ PASTOČIŲ
SCHEMŲ DARBO PATIKIMUMO ANALIZĖ**

Baigiamasis magistro projektas
Elektros energetikos sistemos (kodas 621H63005)

Vadovas

Doc. dr. Mindaugas Ažubalis

Recenzentas

Lekt. Birutė Linkevičiūtė

Projektą atliko

Dovydas Govorovas

KAUNAS, 2016



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Dovydas Govorovas

(Studento vardas, pavardė)

Elektros energetikos sistemos, 621H63005

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Aukštos įtampos transformatorių pastočių schemų darbo patikimumo analizė“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 ____ m. _____ d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Dovydo Govorovo** baigiamasis projektas tema „Aukštos įtampos transformatorių pastočių schemų darbo patikimumo analizė“ 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.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Govorovas, D. Aukštos įtampos transformatorių pastočių schemų darbo patikimumo analizė. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Mindaugas Ažubalis; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra.

Kaunas, 2016. 90 psl.

SANTRAUKA

Magistro darbe analizuojamas keturių tipų aukštos įtampos transformatorių pastočių schemų patikimumas, naudojantis kompiuterinėmis programomis „Arbre Analyste“ ir „OpenFTA“, remiantis gedimų medžio analize bei Monte - Karlo metodu.

Magistro darbo tikslas – atlikti aukštos įtampos transformatorių pastočių schemų patikimumo analizę ir įvertinimą bei pateikti pasiūlymus, kaip padidinti Lietuvoje naudojamų aukštos įtampos transformatorių pastočių schemų patikimumą. Darbe, atlikus aukštos įtampos transformatorių pastočių patikimumo nustatymo principų ir jose naudojamų įrenginių (jungtuvų, skyriklių, srovės, bei įtampos transformatorių, linijų ir šynų) patikimumo analizę, bei tipinių schemų variantų, jų patikimumo ir skaičiavimo metodikos apžvalgą, sudaryti pusanthro jungtuvo, daugiakampio su keturiais jungtuvais, tranzitinės, bei mazginės transformatorių pastočių schemų patikimumo modeliai bei atlikti patikimumo skaičiavimai.

Atlikus rezultatų, gautų kompiuterinėmis programomis „Arbre Analyste“ ir „OpenFTA“, palyginimą, nustatyta, kad patikimiausia yra aukštos įtampos transformatorių pastotėse naudojama pusanthro jungtuvo schemos konfigūracija. Taip pat nustatyta, kad daugiakampio schemos konfigūracija pasižymi tik šiek tiek mažesniu patikimumu nei pusanthro jungtuvo schemos konfigūracija ir, kad iš darbe analizuotų schemų konfigūracijų mažiausius patikimumo rodiklius turi mazginės bei tranzitinės schemų konfigūracijos. Darbo pabaigoje pateikiamos rekomendacijos, kaip padidinti Lietuvoje naudojamų aukštos įtampos transformatorių pastočių schemų patikimumą.

Govorovas, Dovydas. Reliability Analysis of High Voltage Transformer Substation Schemes. Final project of master's degree / supervisor assoc. prof. Ažubalis, Mindaugas; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Department of Electric Power Systems.

Kaunas, 2016. 90 psl.

SUMMARY

Master's thesis examines the reliability of four type schemes configurations of high voltage transformer substations. In this thesis, the substation reliability analysis is accomplished using Arbre Analyste“ and „OpenFTA“ software, which are based on the fault tree and Monte – Carlo methods.

The aim of master's thesis is to accomplish reliability analysis and evaluation of high voltage transformer substations schemes. And to submit offers on how to increase reliability of schemes configurations, which are used in high voltage transformer substations in Lithuania. In this thesis determination principles and calculation methodology of the high voltage substation schemes configurations reliability were reviewed as well as reliability of equipment (circuit breakers, disconnectors, buses, voltage and current transformers), which are used in these substation schemes. Also reliability models of one and a half breaker, ring with four circuit breakers, transit and nodular schemes configurations of high voltage transformer substations were created and reliability calculations were performed.

In this thesis the comparison of results using Arbre Analyste“ and „OpenFTA“ software were made and it was found out, that one and a half breaker scheme configuration is the most reliable. Also, it was found out, that ring with four circuit breakers scheme configuration has a slightly lower reliability indicators, than half breaker scheme configuration and that transit and nodular schemes configurations has lowest reliability indexes of all schemes configuration, which were analyzed in thesis. Finally, recommendations on how to increase reliability of schemes configurations, which are used in high voltage transformer substations in Lithuania, were provided.

TURINYS

Iliustracijų sąrašas	8
Lentelių sąrašas	11
Įvadas.....	12
1. Apžvalginė dalis	13
1.1. Aukštos įtampos transformatorių pastočių patikimumo nustatymo principai.....	13
1.2. Aukštos įtampos transformatorių pastočių įrenginių patikimumas.....	16
1.2.1. Elektros linijų patikimumas.....	17
1.2.2. Komutacinių aparatų patikimumas.....	19
1.2.3. Surinkimo šynų patikimumas	21
1.2.4. Transformatorių patikimumas	22
1.3. Aukštos įtampos transformatorių pastočių schemų patikimumo skaičiavimo metodika	23
1.3.1. Gedimų medžio analizė	23
1.3.2. Monte - Karlo metodas.....	27
1.4. Aukštos įtampos transformatorių pastočių tipinės schemas ir jų patikimumas	30
1.4.1. Transformatorių pastotės pusanthro jungtuvo schema	32
1.4.2. Transformatorių pastotės daugiakampio su keturiais jungtuvais schema	33
1.4.3. Transformatorių pastotės tranzitinė schema.....	34
1.4.4. Transformatorių pastotės mazginė su dvigubomis šynomis schema.....	35
2. Metodinė dalis.....	36
2.1. Aukštos įtampos transformatorių pastočių schemų patikimumo modeliavimo priemonės..	36
2.1.1. Kompiuterinė programa „Arbre Analyste“.....	36
2.1.2. Kompiuterinė programa „OpenFTA“	37
2.1.3. Paprasto modelio sudarymas su programa „Arbre Analyste“	38
2.1.4. Paprasto modelio sudarymas su programa „OpenFTA“.....	40
2.2. Aukštos įtampos transformatorių pastočių schemų patikimumo modeliavimo metodika ...	41
2.3. Transformatorių pastotės pusanthro jungtuvo schemas analizė gedimų medžio metodu su programa „Arbre Analyste“	43
2.4. Transformatorių pastotės pusanthro jungtuvo schemas analizė gedimų medžio metodu su programa „OpenFTA“	52
2.5. Transformatorių pastotės daugiakampio su keturiais jungtuvais schemas analizė gedimų medžio metodu su programa „Arbre Analyste“.....	54
2.6. Transformatorių pastotės daugiakampio su keturiais jungtuvais schemas analizė gedimų medžio metodu su programa „OpenFTA“	60
2.7. Transformatorių pastotės tranzitinės schemas analizė gedimų medžio metodu su programa „Arbre Analyste“	61

2.8. Transformatorių pastotės tranzitinės schemos analizė gedimų medžio metodu su programa „OpenFTA“	68
2.9. Transformatorių pastotės mazginės schemos analizė gedimų medžio metodu su programa „Arbre Analyste“	69
2.10. Transformatorių pastotės mazginės schemos analizė gedimų medžio metodu su programa „OpenFTA“	75
3. Tyrimo rezultatų dalis	77
3.1. Įvesties duomenys.....	77
3.2. Rezultatai ir jų palyginimas	78
Išvados.....	87
Literatūros sąrašas	90
Priedai.....	91
Priedas 1. Transformatorių pastotės pusanthro jungtuvo schemos analizės su programa „Arbre Analyste“ gedimų medžio modelis linijai b	91
Priedas 2. Transformatorių pastotės pusanthro jungtuvo schemos analizės su programa „OpenFTA“ gedimų medžio modelis.....	94
Priedas 3. Transformatorių pastotės daugiakampio su keturiais jungtuvais schemos analizės su programa „Arbre Analyste“ gedimų medžio modelis linijai b	102
Priedas 4. Transformatorių pastotės daugiakampio su keturiais jungtuvais schemos analizės su programa „OpenFTA“ gedimų medžio modelis.....	104
Priedas 5. Transformatorių pastotės tranzitinės schemos analizės su programa „Arbre Analyste“ gedimų medžio modelis linijai b	110
Priedas 6. Transformatorių pastotės tranzitinės schemos analizės su programa „OpenFTA“ gedimų medžio modelis.....	112
Priedas 7. Transformatorių pastotės mazginės schemos analizės su programa „Arbre Analyste“ gedimų medžio modelis linijai b	116
Priedas 8. Transformatorių pastotės mazginės schemos analizės su programa „OpenFTA“ gedimų medžio modelis.....	118

ILIUSTRACIJŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Trijų perjungimo būsenų modelis	14
1.2 pav. Pastotės keturkampio schema	15
1.3 pav. Gedimų medis su viena logine IR jungtimi	26
1.4 pav. Gedimų medis su viena logine ARBA jungtimi	26
1.5 pav. Pastotės pusanthro jungtuvo schema	31
1.6 pav. Pastotės daugiakampio schema.....	31
1.7 pav. Pastotės tranzitinė schema	31
1.8 pav. Pastotės mazginė schema.....	31
1.9 pav. Supaprastinta keturių linijų pusanthro jungtuvo schema.....	33
1.10 pav. Supaprastinta daugiakampio su keturiais jungtuvais schema	34
1.11 pav. Supaprastinta tranzitinė pastotės schema.....	35
1.12 pav. Supaprastinta mazginė pastotės su dvigubomis šynomis schema	35
2.1 pav. Programos „Arbre Analyste“ darbo langas.....	37
2.2 pav. Programos „OpenFTA“ darbo langas	38
2.3 pav. Paprastos radialinės pastotės schema.....	38
2.4 pav. Paprastos radialinės pastotės schemas gedimų medžio modelis programos „Arbre Analyste“ aplinkoje	39
2.5 pav. Paprastos radialinės pastotės schemas gedimų medžio modelis programos „OpenFTA“ aplinkoje	40
2.6 pav. Pirmas modeliavimo metodikos naudojimo pavyzdys	41
2.7 pav. Pirmo pavyzdžio schemas gedimų medis programoje „Arbre Analyste“	41
2.8 pav. Antras modeliavimo metodikos naudojimo pavyzdys.....	42
2.9 pav. Antro pavyzdžio schemas gedimų medis programoje „Arbre Analyste“	42
2.10 pav. Transformatorių pastotės keturių linijų pusanthro jungtuvo schema	44
2.11 pav. Pusanthro jungtuvo schemas zonų gedimų medžiai	44
2.12 pav. Supaprastinta keturių linijų pusanthro jungtuvo schema.....	45
2.13 pav. Supaprastintos pusanthro jungtuvo schemas baigiamojo įvykio gedimų medis	46
2.14 pav. Galios srauto tekėjimo kryptis pro antrą jungtuvą iš abiejų šaltinių linijų supaprastintoje pusanthro jungtuvo schemeje.....	46
2.15 pav. Galios srauto netekėjimo pro antrą jungtuvą gedimų medis.....	47
2.16 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas antras jungtuvas“ gedimų medis.....	48
2.17 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas pirmas jungtuvas“ gedimų medis	48
2.18 pav. Įvykio „galios srautas neteka į pirmą jungtuvą“ gedimų medis	49
2.19 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas ketvirtas jungtuvas“ gedimų medis.....	49
2.20 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas penktas jungtuvas“ gedimų medis	50
2.21 pav. Galios srauto tekėjimo kryptis pro trečią jungtuvą iš abiejų šaltinių linijų supaprastintoje pusanthro jungtuvo schemeje.....	50
2.22 pav. Galios srauto netekėjimo pro trečią jungtuvą gedimų medis.....	51
2.23 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas trečias jungtuvas“ gedimų medis.....	51
2.24 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas šeštas jungtuvas“ gedimų medis	51
2.25 pav. Įvykio „galios srautas neteka į šeštą jungtuvą“ gedimų medis.....	52
2.26 pav. Supaprastintos pusanthro jungtuvo schemas baigiamojo įvykio gedimų medis	53
2.27 pav. Transformatorių pastotės daugiakampio su keturiais jungtuvais schema.....	54

2.28 pav. Supaprastinta daugiakampio su keturiais jungtuvais schema	54
2.29 pav. Supaprastintos daugiakampio su keturiais jungtuvais schemas baigiamojo įvykio gedimų medis.....	55
2.30 pav. Galios srauto tekėjimo kryptis pro pirmą jungtuvą iš abiejų šaltinių linijų supaprastintoje daugiakampio su keturiais jungtuvais schemeje	56
2.31 pav. Galios srauto netekėjimo pro pirmą jungtuvą gedimų medis	56
2.32 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas pirmas jungtuvas“ gedimų medis	57
2.33 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas trečias jungtuvas“ gedimų medis.....	57
2.34 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas ketvirtas jungtuvas“ gedimų medis.....	58
2.35 pav. Galios srauto tekėjimo kryptis pro antrą jungtuvą iš abiejų šaltinių linijų supaprastintoje daugiakampio su keturiais jungtuvais schemeje	58
2.36 pav. Galios srauto netekėjimo pro antrą jungtuvą gedimų medis.....	59
2.37 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas antras jungtuvas“ gedimų medis.....	60
2.38 pav. Supaprastintos daugiakampio su keturiais jungtuvais schemas baigiamojo įvykio gedimų medis.....	61
2.39 pav. Transformatorių pastotės tranzitinė schema	62
2.40 pav. Tranzitinės schemas zonų gedimų medžiai	63
2.41 pav. Supaprastinta tranzitinė schema	63
2.42 pav. Supaprastintos tranzitinės schemas baigiamojo įvykio gedimų medis.....	64
2.43 pav. Galios srauto tekėjimo kryptis pro trečią jungtuvą iš abiejų šaltinių linijų supaprastintoje tranzitinėje schemeje	65
2.44 pav. Galios srauto netekėjimo pro trečią jungtuvą gedimų medis.....	66
2.45 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas trečias jungtuvas“ gedimų medis.....	66
2.46 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas pirmas jungtuvas“ gedimų medis	67
2.47 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas penktas jungtuvas“ gedimų medis	67
2.48 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas antras jungtuvas“ gedimų medis.....	67
2.49 pav. Supaprastintos tranzitinės schemas baigiamojo įvykio gedimų medis.....	68
2.50 pav. Transformatorių pastotės mazginė su dvigubomis šynomis schema.....	69
2.51 pav. Mazginės schemas zonų gedimų medžiai.....	70
2.52 pav. Supaprastinta mazginė schema	70
2.53 pav. Supaprastintos mazginės schemas baigiamojo įvykio gedimų medis	71
2.54 pav. Galios srauto tekėjimo kryptis pro pirmą jungtuvą iš abiejų šaltinių linijų supaprastintoje mazginėje schemeje	72
2.55 pav. Galios srauto netekėjimo pro pirmą jungtuvą gedimų medis	73
2.56 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas pirmas jungtuvas“ gedimų medis	74
2.57 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas antras jungtuvas“ gedimų medis.....	74
2.58 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas trečias jungtuvas“ gedimų medis.....	74
2.59 pav. Tarpinio įvykio „galios srautas neteka pro antrą skyriklį“ gedimų medis.....	75
2.60 pav. Supaprastintos mazginės schemas baigiamojo įvykio gedimų medis	76
3.1 pav. Programa „Arbre Analyste“ gautų keturių tipų schemų gedimo tikimybių verčių palyginimas.....	80
3.2 pav. Programa „Arbre Analyste“ gautų keturių tipų schemų gedimų intensyvumo verčių palyginimas.....	81
3.3 pav. Programa „Arbre Analyste“ gautų keturių tipų schemų apkrovų linijų vidutinio atjungimo dažnio verčių palyginimas.....	82

3.4 pav. Programa „Arbre Analyste“ gautų keturių tipų schemų vidutinių atkūrimo trukmių palyginimas.....	83
3.5 pav. Programa „Arbre Analyste“ gautų keturių tipų schemų apkrovų linijų santykinio maitinimo nutraukimo trukmių verčių palyginimas	84
3.6 pav. Programomis „Arbre Analyste“ ir „OpenFTA“, bei Monte – Karlo metodu gautų keturių tipų schemų gedimo tikimybių verčių palyginimas.....	85

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Elektros linijų patikimumo rodikliai.....	18
1.2 lentelė. Jungtuvų patikimumo vidutiniai rodikliai.....	20
1.3 lentelė. Skyriklių, trumpiklių ir skirtuvų patikimumo rodikliai	21
1.4 lentelė. Surinkimo šynų vieno prijungimo patikimumo rodikliai	21
1.5 lentelė. Transformatorių patikimumo rodikliai	22
1.6 lentelė. Gedimų medžiuose naudojami žymėjimai.....	25
1.7 lentelė. 110 – 330 kV pastočių patikimumo rodikliai	30
3.1 lentelė. Pradiniai įvesties duomenys.....	77
3.2 lentelė. Programa „Arbre Analyste“ gauti keturių tipų schemų patikimumo rodikliai	79
3.3 lentelė. Programa „Arbre Analyste“ ir „OpenFTA“ gautos schemų gedimo tikimybės	79

IVADAS

Viena iš patikimiausių elektros sistemos dalių yra transformatorių pastotė, kuri skirta elektrai priimti, transformuoti ir skirstyti. Joje yra transformatoriai, komutavimo aparatai, renkamosios ir jungiamosios šynos, pagalbinių įrenginiai (kompresoriai, akumuliatoriai ir kt.), taip pat apsaugos, automatikos įtaisai ir matavimo prietaisai, kurių gedimai gali lemti visos pastotės darbo sutrikimus. Be to, pastočių darbas susijęs su elektros linijų (kartais ir generatorių), sujungtų su pastotėmis būsenomis. Tokių sistemų patikimumo skaičiavimai tampa sudėtingi dėl to, kad reikia nagrinėti daugelio elementų (skyriklių, jungtuvų, transformatorių ir pan.) būsenas, skirstyklų schemas esant normaliems, poavariniams arba planiniams darbo režimams.

Magistro baigiamojo darbo tema pasirinkta atsižvelgiant į jos aktualumą ir svarbą. Žinant kaip atlikti skirtingų pastočių schemų darbo patikimumo skaičiavimus ir gautų rezultatų analizę, yra įmanoma suprojektuoti didžiausią visapusišką patikimumą turinčią sistemą. Taip pat aukštos įtampos transformatorių pastočių patikimumo įvertinimas gali būti svarbus ir jau veikiančiose pastotėse, nes tai gali padėti identifikuoti silpnus pastotės taškus (įrenginius), kurie gali prisidėti prie bendro sistemos nepatikimumo bei suteikti svarbios informacijos siekiant rasti pastotės patikimumo padidinimo variantus.

Magistro darbo tikslas – atlikti aukštos įtampos transformatorių pastočių schemų patikimumo analizę ir įvertinimą bei pateikti pasiūlymus, kaip padidinti Lietuvoje naudojamų aukštos įtampos transformatorių pastočių schemų patikimumą. Šiam tikslui pasiekti reikia įgyvendinti tokius uždavinius:

1. Atlikti aukštos įtampos transformatorių pastočių patikimumo nustatymo principų ir jose naudojamų įrenginių patikimumo analizę;
2. Atlikti aukštos įtampos transformatorių pastočių tipinių schemų variantų, jų patikimumo ir skaičiavimo metodikos apžvalgą;
3. Sudaryti nagrinėjamų transformatorių pastočių schemų patikimumo modelius;
4. Atlikti sudarytų transformatorių pastočių schemų patikimumo skaičiavimus;
5. Atlikti gautų rezultatų palyginimą bei pateikti pasiūlymus, kaip padidinti, Lietuvoje naudojamų, aukštos įtampos transformatorių pastočių schemų patikimumą.

1. APŽVALGINĖ DALIS

1.1. Aukštos įtampos transformatorių pastočių patikimumo nustatymo principai

Transformatorių pastočių patikimumas dažnai yra apibūdinamas įtampos dingimo šynose, elektros tiekimo nutraukimo vartotojams, elektros perdavimo į kitus tinklus nutraukimo tikimybe, dažniu ir trukme. Nustatant patikimumą į elementų perkrovimo bei įtampos lygio užtikrinimo kriterijų atsižvelgiama retai.

Prieš pradėdant skaičiuoti pastotės schemos patikimumą, turi būti įvardintas skaičiavimo tikslas, nuo kurio gali priklausyti koks skaičiavimo metodas bus panaudotas atlikti patikimumo analizei. Skirtingi metodai gali būti tinkami įvertinti skirtingų tipų pastočių (tranzitinių, skirstymo, pramoninių) bei jų schemų patikimumui.

Patikimumo charakteristikoms nustatyti dažniausiai taikomi analitiniai metodai, kurie yra pagrįsti loginių patikimumo schemų analize [1]. Darbe bus analizuojamas aukštos įtampos transformatorių pastočių tipinių schemų patikimumas ir nagrinėjami jų patikimumo apskaičiavimo principai. Skaičiuojant pastočių patikimumo rodiklius, svarbu atsižvelgti į schemos perjungimų procesą po elementų gedimo [1].

Taip pat, prieš atliekant pastočių patikimumo įvertinimą, būtina nustatyti sistemos ribas, pagal kurias bus vertinami patikimumo rodikliai. Nustačius sistemos ribas, pasirenkamas sistemos komponentų detalumo lygis, kuris priklauso nuo to, kokio tipo gedimų režimai bus nagrinėjami [2].

Dažniausiai, sugedus schemos elementui, relinė apsauga atjungia visus elementus, esančius saugomoje zonoje. Po to sugedę schemos elementai yra operatyviai išjungiami šalia esančiais ir veikiančiais skyrikliais arba jungtuvais, ir sistema vėl gali veikti. Tokiu atveju sistemos būseną tarp gedimo ir operatyviųjų išjungimų laikotarpiu gali turėti įtakos patikimumui. Ši būseną yra vadinama trumpalaikio nutraukimo režimu, o jos trukmė priklauso nuo elemento išjungimo ir gedimo aptikimo trukmės (pavyzdžiui, nuo operatyviųjų išjungimų skaičiaus ir meistrų nuvykimo į komutacinių įrenginių įrengimo vietą trukmės). Trumpalaikio poavarinio režimo trukmė gali svyruoti nuo dešimties minučių iki vienos valandos. Išjungus sugedusį įrenginį sistemos patikimumas ne visada atkuriamas iki priešavarinio lygio, tačiau avarijos pasekmės dažniausiai tampa daug lengvesnės.

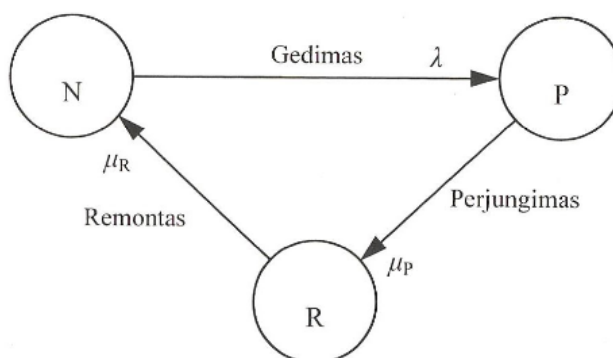
Kartais atlikti operatyvūs perjungimai nepakeičia sumažėjusio visos sistemos patikimumo lygio. Tuomet tokios sistemos būsenos trukmę lemia sugedusių įrenginių taisymo trukmė. Tokia būseną yra vadinama ilgalaikio nutraukimo režimu, kurios trukmė išreiškiama valandomis.

Gedimai, po kurių yra būtina operatyviai perjungti pastotės schemą, yra vadinami aktyviaisiais gedimais, o gedimai, po kurių nereikia atlikti operatyvių perjungimų - pasyviaisiais gedimais [1,3].

Aktyvieji gedimai atsiranda tada, kai po relinės apsaugos suveikimo jungtuvas neatjungia pažeisto įrenginio arba sukelia trumpąjį jungimą pats. Pasyvieji gedimai dažniausiai atsiranda tuomet, kai jungtuvas atsijungia pats savaime ir dėl to nutraukia grandinę.

Atliekant transformatorių pastočių schemų patikimumo analizę, svarbu nustatyti reikiamą sistemos darbo lygį [1]. Tai gali būti atlikta apskaičiuojant patikimumo rodiklių vertes bei pagal jas atliekant sistemai keliamų reikalavimų įvertinimą, tai yra, ar sistema tenkina reikalavimus, ar ne. Dažniausiai naudojami patikimumo rodikliai pastočių schemoms vertinti yra: gedimo tikimybė, gedimų intensyvumas, vidutinė veikimo iki gedimo trukmė, taisymo trukmė, parengties koeficientas bei vidutinis gedimo pašalinimo laikas [4]. Kai nagrinėjama didesnė sistemos dalis, arba kai yra svarbu įvertinti nutraukto elektros tiekimo sukeltų nuostolių kainą, gali būti naudojami papildomi patikimumo rodikliai, tokie kaip SAIFI, SAIDI, CAIDI, ASAI (perdavimo sistemų rodikliai), kurie šiame darbe naudojami nebus.

Jungtuvo perjungimo būsenų modelis, esant aktyviajam gedimui, parodytas 1.1 paveiksle.



1.1 pav. Trijų perjungimo būsenų modelis

Modelyje galimos trys būsenos - normalaus darbo N, perjungimo P ir remonto R. Vidutinė perjungimų trukmė $T_p = \frac{1}{\mu_p}$ ir vidutinė avarinio remonto trukmė $T_R = \frac{1}{\mu_R}$. Būsenų tikimybės:

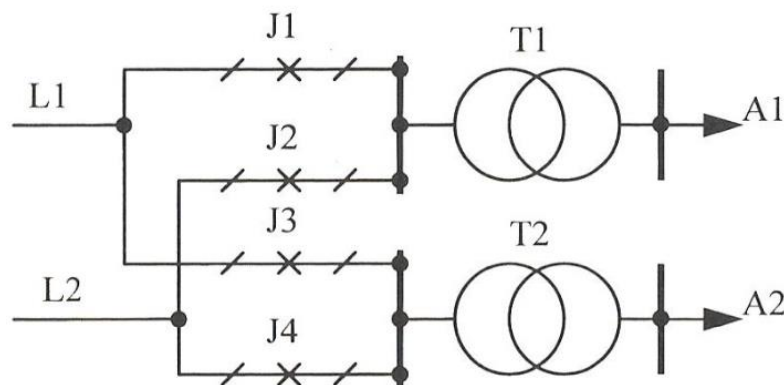
$$P_p = \lambda T_p P_N; \quad P_R = \lambda T_R P_N; \quad P_N = [1 + \lambda (T_R + T_p)]^{-1}; \quad (1.1)$$

čia λ – jungtuvo gedimų intensyvumas.

Pasyviojo gedimo modeliui yra būdingos N ir R būsenos [5]. Sugedus jungtuvui, turėjusiam išjungti trumpąjį jungimą sukėlusią grandinės dalį, turi būti išjungti ir gretimi jungtuvai (dažniausiai jie išjungiami jungtuvo rezervavimo įtaisų). Kartais jungtuvai sugenda net

ir tada, kai jų būseną yra statinė, o tai gali sukelti trumpuosius jungimus. Dėl šios priežasties turi būti išjungiami gretimi jungtuvai. Esant aprašytoms aplinkybėms, avarija plečiasi, ir gali įvykti vadinamasis avarijos plėtotės procesas [1].

Pastotėse reguliariai tikrinama elementų būklė arba atliekami planiniai remontai. Todėl kai kurie jungtuvai bei skyrikliai yra įjungiami retai. Pastotės schema keičiasi visais atvejais, ir į tai turi būti atsižvelgta apskaičiuojant patikimumo charakteristikas [1,6]. Kaip pavyzdys, 1.2 paveiksle pateikiama pastotės keturkampio schema.



1.2 pav. Pastotės keturkampio schema

Schemai veikiant normaliu režimu visi jungtuvai yra įjungti. Sugedus pirmajam jungtuvui J1 (aktyvusis gedimas) išjungiami jungtuvai J2, J3 ir jungtuvas, esantis linijos L1 pradžioje. Šiuo atveju nuo schemos bus atskirta linija L1 ir transformatorius T1. O dėl to vartotojai A1 neteks maitinimo. Tačiau toks režimas bus trumpalaikis, kadangi, skyrikliais atskyrus pirmą jungtuvą J1, bus galima vėl įjungti jungtuvus J2, J3 ir linijos L1 jungtuvą. Schema tokios pačios konfigūracijos bus ir tada, kai bus atliekamas pirmo jungtuvo J1 planinis remontas. Žinoma, tokiu atveju schemos patikimumas sumažės, palyginti su normalaus režimo schema, nes transformatorius T1 bus maitinamas tik viena linija.

Jeigu pirmas jungtuvas J1 atsijungtų savaime (pasyvusis gedimas), tai kiti jungtuvai automatiškai nebūtų išjungiami ir elektros energijos tiekimas vartotojams nenutrūktų.

Sugedus transformatoriui T1, relinė apsauga išjungtų jungtuvus J1 bei J2, ir vartotojas A1 ilgą laiką nebūtų maitinamas – kol nebus sutaisytas ar pakeistas transformatorius T1.

Tačiau, jei sugedus transformatoriui T1, dėl gedimo nebūtų išjungtas pirmas jungtuvas J1, o veiktų tik antras jungtuvas J2, avarija išsiplėstų. Tuomet būtų išjungti jungtuvai J2, J3 bei linijos L1 jungtuvas, ir pasikartotų prieš tai aprašytas jungtuvo gedimo pasekmių sukeltas procesas.

Pastočių schemų patikimumui nustatyti labiausiai tinka tinkliniais metodais pagrįsti analitiniai loginiai skaičiavimai, bei šiame darbe taikoma gedimų medžio analizė.

1.2. Aukštos įtampos transformatorių pastočių įrenginių patikimumas

Elektros įrenginių būklę dažnai lemia eksploataavimo trukmė ir sąlygos, bei laiku atliekama gedimų priežasčių kontrolė ir analizė. Daugumos įrenginių pagrindiniai komponentai yra srovėlaidžiai ir izoliacija. Galios bei matavimo transformatoriai turi magnetolaidį, o komutaciniai įrenginiai – lanko gesinimo kameras ir kontaktų sistemas. Šių įrenginių izoliacija dažniausiai susideda iš kietojo ir skystojo komponentų [7]. Atliekant šių komponentų kokybinių charakteristikų periodinę kontrolę, įmanoma prognozuoti įrenginių patikimumo charakteristikų kitimo tendencijas bei, jei reikia, pašalinti galimų gedimų priežastis [8]. Literatūroje bei žinynuose dažniausiai pateikiami tokie patikimumo rodikliai: elektros įrenginių gedimų intensyvumas λ (arba gedimų srauto parametras ω), vidutinis gedimo pašalinimo laikas, vidutinė atkūrimo (taisymo) trukmė T_{avid} , vidutinė planinio remonto trukmė T_{plvid} , vidutinis planinių išjungimų dažnis η . Išsamesnės įrenginių patikimumo charakteristikos yra anksčiau paminėtų rodiklių tikimybių pasiskirstymo funkcijos.

Elektros sistemų įrenginių patikimumo rodikliai nustatomi įvairiais stebėjimais, rečiau – bandymais. Surinkta ir ištirta informacija leidžia spręsti šiuos uždavinius [1]:

- nustatyti gedimų arba sutrikimų priežastis;
- nustatyti elementus, detales, mazgus, sumažinančius įrenginio patikimumą;
- nustatyti ir koreguoti norminius patikimumo rodiklius;
- optimizuoti planinių remontų skaičių ir trukmę;
- nustatyti eksploatacijos sąlygų bei režimų įtaką įrenginių patikimumui;
- nustatyti patikimumo padidinimo ekonominį efektyvumą.

Informacinėje duomenų bazėje turėtų būti kaupiami šie duomenys:

- įrenginio charakteristikos (tipas, pagaminimo metai, eksploatacijos trukmė, techniniai duomenys);
- bandymų, planinių apžiūrų trukmė, periodiškumas, apimtys;
- įrenginio kokybės charakteristikos (izoliacijos varža, dielektrinių nuostolių kampas, išlydžių koeficientas ir pan.);
- gedimų laikas, vieta, sąlygos, priežastys;
- avarinių remontų trukmės, apimtys, laikas.

Įrenginių patikimumo charakteristikų apskaičiavimo tikslumas priklauso nuo stebimų objektų skaičiaus – jų imties. Elektros energetikos sistemų įrenginiai genda gana retai, jų

bandymai yra riboti, statistinių duomenų kiekis santykinai mažas. Minimalų stebimų objektų skaičių galima nustatyti remiantis statistikos taisyklėmis [7].

Elektros sistemų įrenginių patikimumas, esant stacionariam režimui, yra sąlygojamas gedimų intensyvumo ir vidutinės atkūrimo bei planinio remonto trukmės. Daugelio įrenginių gedimų intensyvumo kitimas gana tiksliai aprašomas Veibulo skirstiniu, o įrenginių atkūrimo trukmė - gama skirstiniu. Tai leidžia nustatyti įrenginių atkūrimo trukmę ir gedimų intensyvumą bet kuriuo eksploatacijos metu. Kadangi statistinių duomenų kiekis lemia įrenginių patikimumo rodiklių tikslumą, norint užtikrinti tikslias patikimumo rodiklių vertes, svarbu surinkti kuo didesnę elektros energetikos įrenginių stebėjimo duomenų kiekį, kas yra ganėtinai sudėtinga užduotis.

1.2.1 Elektros linijų patikimumas

Elektros oro linijų (OL) patikimumą lemia atramų, laidų, izoliatorių kokybė ir specifinės jų savybės, bei darbo sąlygos, tokios kaip: žaibo viršįtampiai, didelis ilgis, apledėjimas, medžių griuvimas, aplinkos užterštumas ir kita. Vidutinis oro linijų amžiaus resursas yra trisdešimt metų.

A. Navicko knygoje „Elektros energetikos sistemų patikimumas“ teigiama, kad išanalizavus OL pažeidimų priežastis, buvo gauti tokie vidutiniai metiniai rodikliai: pašaliniai veiksniai sudaro 22 %; apledėjimų ir vėjų poveikis - 18 %; eksploatacijos defektai - 9 %; montažo defektai - 2,5 %, konstrukcijos defektai - 2 %; kitos priežastys (potvyniai, nuošliaužos ir pan.) - 2 %; nenustatytos priežastys - 26 %. Žiemą apie 60 % atjungimų būna dėl vėjų ir apledėjimo, vasarą iki 90 % - dėl žaibų. Galima pastebėti, kad prižasčių pasiskirstymas per metus yra gana netolygus.

Taip pat A. Navicko knygoje „Elektros energetikos sistemų patikimumas“ nurodoma, jog atlikus Lietuvos OL gedimų analizę, paaiškėjo, kad vienas iš labiausiai pažeidžiamų elementų yra atramos. O atlikus oro linijų gedimų intensyvumo λ_L priklausomybės nuo jų eksploatacijos trukmės statistikos analizę, nustatyta, kad pirmaisiais dešimt eksploatacijos metų gedimų intensyvumas λ_L mažėja, tačiau vėliau stabilizuojasi.

Tyrimais nustatyta, kad:

- OL gedimų intensyvumo priklausomybė nuo eksploatacijos trukmės gerai atitinka Veibulo skirstinį:

$$\lambda_L = \lambda_{LO}(0,1t)^{\alpha_L-1} T_p P_N; \quad (1.2)$$

čia λ_{LO} – stacionarioji gedimų intensyvumo vertė, apskaičiuota dešimčiai oro linijos eksploatacijos metų;

α_L – pasiskirstymo formos parametras.

- Vidutinė atkūrimo (taisymo) trukmė T_{avid} ir vidutinė planinio išjungimo trukmė T_{plvid} nepriklauso nuo eksploatacijos trukmės, bet kinta per metus.
- Atkūrimo trukmės tankio funkciją $f_{LTA}(t_a)$ ir planinio remonto trukmės tankio funkciją $f_{LTPl}(t_{pl})$ galima išreikšti gama skirstiniu:

$$f_{LTA}(t_a) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} t_a^{(\alpha-1)} e^{-\beta t_a}; \quad (1.3)$$

$$f_{LTPl}(t_{pl}) = \frac{\chi^\nu}{\Gamma(\nu)} t_{pl}^{(\nu-1)} e^{-\chi t_{pl}}; \quad (1.4)$$

čia $\Gamma(\alpha)$, $\Gamma(\nu)$ – gama funkcijos.

Lentelėje 1.1 pateikiami elektros oro linijų patikimumo rodikliai, kurie bus naudojami atliekant sudarytų transformatorių pastočių schemų patikimumo skaičiavimus. Iš lentelėje 1.1 pateikiamų duomenų galima spręsti, kad žemos bei vidutinės įtampos oro linijos pažeidžiamos daug dažniau, nei aukštos įtampos oro linijos.

1.1 lentelė. Elektros linijų patikimumo rodikliai

Linijos rūšis	Įtampa, kV	λ , kartais 100 km per metus	T_{avid} h	η , kartais per metus	T_{plvid} h
OL	0,4	10-25	2-5	-	-
OL	6-10	15-20	5-12	0,2-0,5	10-30
OL	35	1-2,5	6-13	0,2-0,5	10-40
OL	110	0,5-2	7-18	0,5-3	15-50
OL	330	0,2-0,8	9-25	0,5-4	30-70
KL	0,4	5-20	8-24	-	-
KL grunte	6-10	5-30	8-15	0,5-1	4-12
KL bloke	6-10	0,5-1	6-10	0,5-1	4-12

1.2.2. Komutacinių aparatų patikimumas

Aukštosios įtampos jungtuvų patikimumas labiausiai priklauso nuo darbo intensyvumo, gamybos kokybės, eksploatacijos lygio bei montažo. A. Navicko knygoje „Elektros energetikos sistemų patikimumas“ atlikta jungtuvų gedimų analizės apžvalga rodo, kad 80 % jungtuvų genda dėl mechaninės dalies ir tik 20 % dėl elektrinės dalies gedimų. 33 % alyvinių jungtuvų genda dėl pavarų gedimo, 23 % - pramušus izoliatorius, 20 % - suirus lanko gesinimo kameroms. 27 % orinių jungtuvų genda sulūžus izoliatoriams, 20 % - sugedus pavaroms ir valdymo įrangai, 20 % - suirus lanko gesinimo kamerai. Vidutinis orinių jungtuvų trumpųjų jungimų išjungimo resursas - 10, alyvinių jungtuvų – 12. Apie 30 % jungtuvų genda išjungiant trumpųjų jungimų sroves. Tokiu atveju, apie 70 % trumpųjų jungimų įvyksta narvelių su alyviniais jungtuvais šynose ir apie 20 % su oriniais jungtuvais šynose.

Jungtuvų atliekamų išjungimų skaičius priklauso nuo prie jų prijungtų įrenginių patikimumo ir prijungimo schemos. Statinės būklės jungtuvai gali sugesti operatyviųjų perjungimų bei sugedusių tinklų įrenginių automatinį išjungimą metu. Jungtuvų gedimų pasekmės gali būti įvairios. Dėl trumpųjų jungimų jungtuvų narvelių šynose gali būti išjungti greta esantys jungtuvai, o dėl šios priežasties gali nutrūkti elektros tiekimo grandinės. Suminį jungtuvo gedimų intensyvumą $\lambda_{I\Sigma}$, atsižvelgiant į jo darbo specifiką ir prijungto įrenginio patikimumą, galima išreikšti taip:

$$\lambda_{I\Sigma} = \lambda_{I_S} + \lambda_{I_0} + \lambda_{I_a}; \quad (1.5)$$

čia λ_{I_S} , λ_{I_0} , λ_{I_a} – jungtuvų gedimų intensyvumai: statinės būsenos, perjungiant grandines operatyviai, automatiškai išjungiant pažeistų elementų trumposius jungimus.

Praktiniuose skaičiavimuose dažnai priimama, kad $\lambda_{I_S} = 0,1\lambda_{I_a}$, nes statinės būsenos jungtuvai genda retai. Jungtuvų gedimų intensyvumą operatyviųjų perjungimų ir elementų trumpųjų jungimų atvejais galima apskaičiuoti taip:

$$\lambda_{I_{op}} = f_{I_0} \cdot N_{op}; \quad (1.6)$$

$$\lambda_{I_a} = f_{I_a} \cdot \lambda_i; \quad (1.7)$$

čia f_{I_0} – santykinis jungtuvo gedimų dažnis operatyviųjų perjungimų metu, kuris yra lygus jungtuvo gedimų, įvykusių atliekant operacijas, ir bendro operacijų atliekamų jungtuvais skaičiaus santykiui;

N_{op} – jungtuvu atliekamų operacijų skaičius per metus;

f_{I_a} – santykinis jungtuvo gedimų dažnis įrenginių trumpųjų jungimų išjungimo metu lygus jungtuvo gedimų, įvykusių išjungiant pažeistus įrenginius, ir bendro trumpųjų jungimų automatinį išjungimų atliekamų jungtuvais skaičiaus santykiui;

λ_i – jungtuvu išjungiamo arba įjungiamo i-ojo tinklo elemento gedimų intensyvumas.

Dydžiai λ_{I_s} , f_{I_0} , f_{I_a} nustatomi remiantis statistiniais stebėjimais. Svarbu pažymėti, kad dažnis f_{I_a} beveik atitinka jungtuvo gedimų intensyvumą λ_I , kuris priklauso nuo to, ar juo atliekamos automatinio kartotino jungimo operacijos. Vidutinės jungtuvų patikimumo charakteristikos pateikiamos lentelėje 1.2.

1.2 lentelė. Jungtuvų patikimumo vidutiniai rodikliai

Jungtuvas	Įtampa, kV	f_{I_0} , kartais per metus	f_{I_a} , kartais per metus		T_{avid} , h	T_{plvid} , h per metus
			Su AKJ	Be AKJ		
Alyviniai	≤ 35	0,006	-	0,01	14	20
Alyviniai	110	0,01	0,05	0,04	20	30
Dujiniai	≤ 35	0,01	-	0,02	16	20
Dujiniai	110	0,013	0,2	0,12	60	60
Oriniai	330	0,015	0,35	0,21	120	140

Jungtuvais atliekamų operacijų skaičius N_{op} priklauso nuo perjungiamo įrenginio paskirties. Linijinių jungtuvų vidutinis metinis operacijų skaičius 10 – 15, transformatorių jungtuvų – 6 [1].

Jungtuvų gedimų intensyvumas laikui bėgant kinta pagal Veibulo dėsnį. Pasiskirstymo formos parametras α_I kinta nuo 0,5 iki 0,8, priklausomai nuo jungtuvo įrengimo vietos skirstykloje. Trumpiklių ir skirtuvų darbo patikimumas priklauso nuo tų pačių veiksnių kaip ir jungtuvų.

Skirtuvų gedimai dažniausiai susiję su poveikio nebuvimu, kai neteka srovė, o trumpiklių – su savaiminiu įsijungimu. Skyriklių mechaniniai ir elektriniai gedimai dažniausiai sukelia trumpąjį jungimą narvelyje. Lentelėje 1.3 pateikiami skirtuvų, trumpiklių ir skyriklių patikimumo rodikliai.

1.3 lentelė. Skyriklių, trumpiklių ir skirtuvų patikimumo rodikliai

Įrenginys	λ , kartais per metus	T_{avid} h	T_{plvid} h per metus
Skyriklis	0,015-0,045	2-4	8
110-220 kV trumpiklis	0,01-0,02	10-18	10
110-220 kV skirtuvas	0,015-0,06	10-18	10

1.2.3. Surinkimo šynų patikimumas

Pastočių skirstyklų ir elektrinių surinkimo šynų patikimumo rodiklių vertės priklauso nuo skirstyklos schemos, gedimų šynose, prijungtų elektros linijų skaičiaus bei ilgio, taip pat prijungtų transformatorių ir kitų prie skirstyklos prijungtų elektros įrenginių skaičiaus. Vienos surinkimo šynų sekcijos (prijungimo) pagrindinės gedimo priežastys yra šios [1]:

- Tiesioginis šynų sekcijos pažeidimas pramušus izoliaciją arba suirus; šynų sujungimo su tinklo elementais kontaktų pažeidimas; srovės arba įtampos matavimo transformatorių, viršįtampių ribotuvų, žaibosaugos įtaisų bei šyninių skyriklių gedimai, sukiantys trumpuosius jungimus šynų sekcijose.
- Jungtuvų, prijungtų prie šynų, gedimai, sukiantys plačios apimties avarijas.
- Personalo klaidos, atliekant operatyvinius perjungimus.
- Klaidingas surinkimo šynų relinės apsaugos veikimas.

Šynų gesimas arba kitaip vienalaikis visiškas įtampos abiejose šynų sistemose dingimas yra pati pavojingiausia avarija, kuri gali nutikti plačiai naudojamoje dviejų šynų sistemos skirstykloje. Tai gali įvykti tada, kai remontuojant vieną šynų sekciją sugenda kita, arba kai elektros lankas peršoka iš vienos sekcijos į kitą, sugedus tarpšyniniam jungtuvui. Šynų patikimumo rodikliai, kurie naudojami atliekant sudarytų transformatorių pastočių schemų patikimumo skaičiavimus, pateikiami lentelėje 1.4.

1.4 lentelė. Surinkimo šynų vieno prijungimo patikimumo rodikliai

Įtampa, kV	λ , kartais per metus	T_{avid} h	η , kartais per metus	T_{plvid} h
6; 10	0,01-0,05	2-7	0,2-0,5	2-4
35	0,01-0,025	2-8	0,2-0,5	2-4
110	0,005-0,015	3-9	0,3-1	3-5
330	0,008-0,048	5-10	0,5-2	5-10

1.2.4. Transformatorių patikimumas

Pagrindiniai transformatorių ir autotransformatorių gedimai susiję su technologiniais ir konstrukciniais defektais, bei nepakankama komponentų, lemiančių jų izoliacines savybes, kontrole.

Efektyviausi transformatorių komponentų kontrolės metodai yra tokie: alyvos izoliacijos ir dalinių išlydžių matavimas, bei termovizinė kontrolė. Transformatoriai dažniausiai genda didėjant vardinėms galioms ir įtampoms (nuo 1,5 % iki 7 %).

Transformatorių gedimų statistinių duomenų analizė leidžia padaryti šias išvadas [1]:

- Transformatorių gedimų intensyvumą per metus galima laikyti pastoviu: $\lambda_T(t) = \lambda_T = const.$
- Transformatorių gedimų intensyvumo kitimas, ilgėjant eksploatacijos trukmei, gerai aprašomas Veibulo skirstiniu:

$$\lambda_T(t) = \lambda_{T0}(0,1t)^{\alpha_T-1}; \quad (1.8)$$

čia λ_{T0} – gedimų intensyvumo vertė, apskaičiuota dešimčiai eksploatacijos metų.

- Taisymo trukmės ir planinio išjungimo trukmės pasiskirstymą atitinka gama skirstinys.
- Vidutinė transformatoriaus taisymo trukmė praktiškai nepriklauso nuo metų laiko ir eksploatacijos trukmės.

Lentelėje 1.5 pateikti 10-330 kV galios, srovės ir įtampos transformatorių gedimų intensyvumo, taisymo trukmių ir planinių remontų parametrai.

1.5 lentelė. Transformatorių patikimumo rodikliai

Įtampa, kV	Galia, MVA	λ , kartais per metus	T_{avid} h	η , kartais per metus	T_{plvid} h
6-10	10-80	0,012-0,082	60-100	0,25	10-15
35	10-80	0,008-0,02	60-100	0,3-0,7	25-30
110	10-80	0,009-0,025	90-150	0,3-1	30-40
110	> 80	0,018-0,05	90-150	0,3-1	30-40
330	10-80	0,031-0,081	150-250	0,5-1,5	50-60
330	> 80	0,049-0,089	150-250	0,5-1,5	50-60

1.3. Aukštos įtampos transformatorių pastočių schemų patikimumo skaičiavimo metodika

Kaip jau minėta anksčiau, prieš pradėdant skaičiuoti pastotės schemos patikimumo rodiklius, pirmiausia turi būti nustatytas skaičiavimo tikslas, nes nuo to priklauso, koks skaičiavimo metodas bus panaudotas patikimumo analizei atlikti. Skirtingi metodai gali būti panaudoti įvertinti skirtingų tipų pastočių bei jų schemų patikimumui. Taip pat patikimumo rodiklių skaičiavimo metodas pasirenkamas, atsižvelgiant ir į sistemos struktūrą bei apimtį, elementų tarpusavio ryšį ir galimybę juos suremontuoti, eksploataavimo sąlygas, elementų gedimo rūšį, ir aplinkos įtaką.

Sistemų patikimumas gali būti įvertinamas įvairiais patikimumo rodikliais, tačiau dažniausiai yra skaičiuojama sistemos atitinkamos būklės, pavyzdžiui gedimo, tikimybė, vidutinė trukmė ir dažnis [6].

Pastočių schemų patikimumo charakteristikoms apskaičiuoti paprastai taikomi tinkliniais metodais pagrįsti analitiniai loginiai metodai, kurie paremti loginių patikimumo schemų analize. Vienas jų - šiame darbe taikoma gedimų medžio analizė.

Gedimų medis - tai vienas iš kiekybinių ir kokybinių įrankių, skirtų modeliuoti ir vertinti sistemos gedimus. Gedimų medžiai plačiai taikomi vertinant pramonės objektų patikimumą ir saugumą bei kuriant įvairių įrenginių saugumo sistemas [9]. Taip pat sistemų gedimų medžių analizė plačiai taikoma ir daugeliui elektros skirstymo problemų įvertinimui.

1.3.1. Gedimų medžio analizė

Gedimų medžio analizė – tai sisteminė analizė, kai analizuoti pradama nuo pirminių įvykių ir remiamasi grafų teorija. Medis susideda iš viršūnių, lankų ir kamieno, jame nėra uždarytų kontūrų. Gedimų medis – tai loginis medis, kurio lankai (briaunos) vaizduoja gedimų įvykius, o viršūnės – logines operacijas, susiejančias gedimų priežasčių įvykius su pačių gedimų įvykiais [1].

Sistemų gedimo medžiai yra sudaromi iš bazinių įvykių, loginių jungčių bei baigiamojo įvykio. Baigiamasis įvykis apibūdina visos sistemos gedimą, kuris yra išreiškiamas bazinius įvykius sujungus loginėmis jungtimis. Loginės jungtys dažniausiai nusakomos naudojamais loginiais operatoriais: IR, ARBA bei NE. Baziniai įvykiai – tai komponentų gedimai arba, kitaip, įvykiai, kuriems įvykus sistema gali sugesti.

Gedimų medis sudaromas pradedant nuo baigiamojo (galutinio) įvykio, leidžiantis iš viršaus į apačią. Gedimų medžio loginėje schemoje posistemų gedimai vaizduojami stačiakampiais, o elementų gedimai – apskritimais.

Apskaičiuojant sudėtingų sistemų patikimumą dažnai pravartu rasti minimaliuosius kelius arba minimaliuosius pjūvius (angl. k. minimal cut sets) [1,4]. Gedimų medis padeda rasti minimaliuosius kelius ir pjūvius, bei sudaryti uždavinio sprendimo algoritmą. Sudarant sprendinio algoritmą atsižvelgiama į tai, kad, leidžiantis nuo galutinio mazgo žemyn ir praeinant pro mazgą IR, padidėja elementų skaičius pjūvyje, o praeinant pro mazgą ARBA – pjūvių skaičius [1].

Apibendrintas sistemos gedimų medžio sudarymas susideda iš trijų dalių [2]:

- Preliminarios analizės;
- Specifikacijų nustatymo;
- Sudarymo.

Preliminari analizė susideda iš:

- Sistemos skaidymo;
- Komponentų identifikavimo;
- Komponentų gedimų režimų nusakymo;
- Sistemos sudarymo pagal identifikuotus komponentus.

Specifikacijų nustatymas susideda iš:




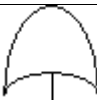

- Ribinių sąlygų nustatymo;
- Etapų nustatymo;
- Hipotezių apibrėžimo;
- Pradinių sąlygų nustatymo.

Sudarymas susideda iš:

- Nepageidaujamo įvykio nusakymo;
- Įvykių išskaidymo;
- Sudarymo pabaigos.

Pagrindiniai sistemos būsenų ir jungčių žymėjimai pateikti 1.6 lentelėje.

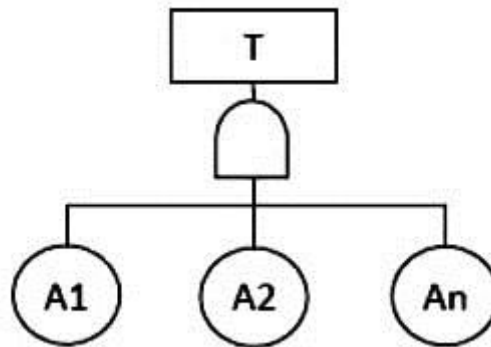
1.6 lentelė. Gedimų medžiuose naudojami žymėjimai

Žymėjimas	Reikšmės
	Bazinis įvykis A
	Baigiamasis įvykis T
	Jungtis IR
	Jungtis ARBA
	Perdavimo jungtis

Lentelėje 1.6 pavaizduota perdavimo jungtis parodo, kad įvykis yra nukeliamas į kitą gedimo medžio vietą ir nuo šios vietos yra tęsiamas toliau. Šią jungtį patogiu naudoti tada, kai reikia sudaryti didelės sistemos gedimų medį. Pasinaudojus šia jungtimi, dalį gedimo medžio galima perkelti į kitą vietą ir taip sutrumpinti pagrindinį gedimų medį. Naudojamos dviejų tipų perdavimo jungtys – pirmoji yra įėjimas, o antroji išėjimas.

Sudarant gedimų medį labai svarbu žinoti, kas ir kada gali nutikti sistemai. Kad būtų įmanoma kuo aiškiau suprasti apie sistemos gedimą, baziniai įvykiai turi detalai atspindėti sistemos įrenginių gedimą. Kaip jau minėta anksčiau, gedimų medis sudaromas nuo viršaus, tai yra, baigiamojo įvykio žemyn bazinių įvykių link, dažnai naudojant tarpinius įvykius, kurie apibūdina sistemos gedimo stadijas. Sudarant gedimų medžius rekomenduojama mažinti įvykio apibrėžimo abstraktumą ir dalinti įvykius į elementaresnius įvykius, nustatyti įvykius, galinčius įvykti dėl kelių skirtingų priežasčių, nustatyti tas įvykio priežastis, poromis susieti priežastinius įvykius su „neapsaugotais veiksmiais“ ir tiksliai nustatyti gedimo įvykio įrenginius [6].

Taip pat egzistuoja rekomendacijos, padedančios sukurti gedimų medį. Jei normalų įrenginio veikimą galima aprašyti gedimų seka, tada manoma, kad įrenginys veikia normaliai. Plėtojant gedimų medį žemyn, pradžioje aprašomi visi įvykiai, įeinantys į konkrečią jungtį. Gedimo įvykiai, kurie sujungiami jungtimis, visada turi būti tinkamai apibrėžti. Taip pat jungtį jungiant su kita jungtimi, turi būti naudojami tarpiniai įvykiai. Pirmoji rekomendacija užtikrina, kad gedimų medis bus koherentiškas, o kitos padeda suprasti sistemos scenarijų vystymosi logiką.

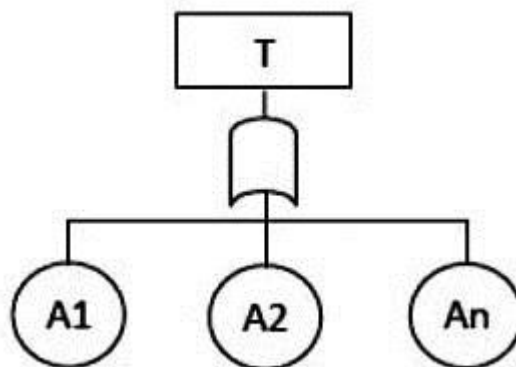


1.3 pav. Gedimų medis su viena logine IR jungtimi

Gedimų medžio modelyje su viena logine IR jungtimi, pavaizduotame paveiksle 1.3, baigiamasis įvykis T įvyksta tik tada, kai visi baziniai įvykiai A_1, A_2, \dots, A_n įvyksta tuo pat metu.

Daroma prielaida, kad baziniai įvykiai yra nepriklausomi vienas nuo kito. Tikimybė, kad baigiamasis įvykis T neįvyks $Q_0(t)$, gali būti nustatoma tiesiogiai atliekant algebrinę operaciją. Laikoma, kad $A_i(t)$ reiškia, kad bazinis įvykis A_i nutrūksta laiku t ; $i=1, 2, \dots, n$. Laikoma, kad R nusako įvykio tikimybę.

$$Q_0(t) = R(A_1(t) \cap A_2(t) \cap \dots \cap A_n(t)) = R(A_1(t)) \cdot R(A_2(t)) \cdot R(A_n(t)) = q_1(t) \cdot q_2(t) \cdot \dots \cdot q_n(t) = \prod_{i=1}^n q_i(t)$$



1.4 pav. Gedimų medis su viena logine ARBA jungtimi

Gedimų medžio modelyje su viena logine ARBA jungtimi, pavaizduotame paveiksle 1.4, baigiamasis įvykis T įvyksta tada, kai įvyksta bent vienas bazinis įvykis A_1, A_2, \dots, A_n .

Daroma prielaida, kad baziniai įvykiai yra nepriklausomi vienas nuo kito. Laikoma, kad $A_i(t)$ reiškia, kad bazinis įvykis įvyksta laiku t ir $A_i(t)^*$ reiškia, kad bazinis įvykis neįvyksta laiku t . Šios lygtys gali būti išreikštos Būlio algebroje.

$$R(A_i(t)^*) = 1 - R(A_i(t)) = 1 - q_i(t) \quad i=1, 2, \dots, n;$$

$$Q_0(t) = R(A_1(t) \cup A_2(t) \cup \dots \cup A_n(t)) = 1 - R(A_1(t)^* \cap A_2(t)^* \cap \dots \cap A_n(t)^*) = 1 - R(A_1(t)^*) \cdot R(A_2(t)^*) \cdot R(A_n(t)^*) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - q_i(t))$$

1.3.2. Monte - Karlo metodas

Sudėtingų sistemų patikimumo rodikliams apskaičiuoti gali būti taikomi ir analitinis, ir sistemos veikimo skaitmeninis imitavimo, kitaip, Monte - Karlo metodas. Daugumos taikomųjų uždavinių sprendimui yra naudojami įvairūs analitiniai metodai, bet tik nedidelė dalis uždavinių yra sprendžiami skaitmeninio imitavimo metodais. Viena priežasčių, kodėl imitaciniai modeliai yra naudojami gana retai - tai laiko sąnaudos, reikalingos rezultatui gauti. Tuo tarpu, skaičiavimus atliekant analitiniais metodais, rezultatus, leidžiančius priimti atitinkamus sprendimus, galima gauti gana greitai.

Imitacinio modeliavimo metodai įvairių sistemų funkcionavimui tirti taikomi, nes galima gauti informatyvesnę patikimumo rodiklių aibę nei sistemų analizę atliekant analitiniais metodais.

Taikant analitinius metodus, sistema aprašoma matematiniu modeliu, kuriuo remiantis yra apskaičiuojami patikimumo rodikliai, atliekant tiesioginius skaitinius sprendinius. Deja, norint aprašyti sistemą analitiniais modeliais, dažnai būtina daryti tam tikras prielaidas, kad modelis taptų paprastesnis, o tai mažina rezultato tikslumą [1].

Monte – Karlo metodo taikymas suteikia galimybę ištirti visas įmanomas sistemos būsenas nestacionariuoju režimu. Taikant šį statistinį metodą, sistemų veikimas yra aprašomas matematiniais modeliais [10]. Ankščiau šis metodas buvo taikomas ribotai dėl didelių skaičiavimo apimčių bei būtinumo sudaryti matematinį modelį, tačiau nuolat tobulėjant skaičiavimo technikai bei programinei įrangai, šiuo metu atlikti patikimumo analizę Monte – Karlo metodu yra ganėtinai paprasta.

Taikant Monte - Karlo metodą, modeliuojamos galimos elementų būsenos ir apskaičiuojami sistemos patikimumo rodikliai. Elementų būsenų aibė sudaroma iš daugybės skaičių, kurių pasiskirstymo funkcija F yra žinoma, ir kurie tenkina elemento veikimo arba gedimo sąlygą [11]. Uždavinį galima supaprastinti naudojant skaičių aibę, kuri tolygiai

pasiskirsčiusi nuo 0 iki 1. Skaičių, atsitiktinai parinktą iš šios aibės, galima lengvai pakeisti į skaičių, apibūdinamą elemento veikimo iki gedimo trukmės pasiskirstymo funkcija [1].

Atsitiktinių dydžių generavimui yra sukurta daug įvairių metodų. Šiuos dydžius galima generuoti naudojant skirtingas programas ir funkcijas jose: programoje „Pascal“ procedūrą RANDOMIZE ir funkciją RANDOM (n), programoje „Excel“ funkciją RANBETWEEN, o programoje „Mathcad“ funkcijas RUNIF (n, a, b), bei REXP (n). Elektros sistemų modeliavimui paprastai naudojami Veibulo ir eksponentinis skirstiniai.

Imitaciniam modeliavimui dažniausiai taikomas būsenų modeliavimo metodas, kai analizuojamos sistemos būsenos nustatomos pagal sistemos elementų būsenas, gautas skaitinio eksperimento metu [10]. Skaitinio eksperimentavimo procedūros paremtos prielaida, kad kiekvieno sistemos elemento būseną gali būti nustatyta panaudojant intervale (0, 1) tolygiai pasiskirsčiusius atsitiktinius dydžius [1].

Kiekvienas sistemos i-asis elementas X_i yra apibūdinamas dviejų ar daugiau būsenų modeliu. Dviejų būsenų modelio atveju elemento gedimo tikimybė bus lygi įrenginio neparengties koeficientui \bar{K}_{pi} . Taip pat yra daroma prielaida, kad įrenginio priverstinės prastovos yra nepriklausomi įvykiai. Sistemos, kuri susideda iš n įrenginių (generatorių, perdavimo linijų, galios transformatorių ir kita) būseną, gali būti išreiškiama vektoriumi $S = (S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_n)$. Čia S_i - i-ojo sistemos elemento būseną.

A. Navicko knygoje „Elektros energetikos sistemų patikimumas“ nurodoma, kad pagrindiniai žingsniai sistemos patikimumui nustatyti skaitinio eksperimentavimo metodu yra tokie:

1. Kiekvienam i-ajam sistemos elementui generuojamas atsitiktinis tolygiai pasiskirstęs dydis U_i .
2. Nustatoma sistemos i-ojo elemento būseną: 0 (elementas veikia), jei $U_i \geq \bar{K}_{pi}$ arba 1 (elementas neveikia), jei $U_i < \bar{K}_{pi}$. Šioje išraiškoje \bar{K}_{pi} yra i-ojo elemento neparengties koeficientas.
3. Sistemos būsenos vektorius S gaunamas visiems sistemos elementams atlikus 2-ąjį žingsnį.
4. Remiantis vektoriumi S, nustatoma sistemos būseną.
5. Kartojant 1 - 4 žingsnius tikslinami sistemos patikimumo koeficientų įverčiai tol, kol įvykdomas nustatytas skaičiavimų nutraukimo kriterijus.

Svarbu atkreipti dėmesį į tai, kad norint gauti sistemos, sudarytos iš labai patikimų įrenginių, patikimumo įvertį, yra reikalingas didelis sistemos imitavimų skaičius ir tai yra vienas svarbiausių imitacinio modeliavimo trūkumų.

Veiksmai, naudojami elektros sistemos patikimui vertinti, gali būti trumpai apibūdinti taip [1]:

1. Žinant fizinę sistemos schemą yra sudaroma patikimumo loginė schema ar būsenų diagrama.
2. Sudaromos lygtys, aprašančios sistemos būsenas.
3. Nurodoma pradinė kiekvieno sistemos elemento būseną. Bendruoju atveju laikoma, kad pradiniu momentu visi sistemos įrenginiai veikia.
4. Kiekvienam įrenginiui generuojama būsenos, kurioje jis tuo metu yra, trukmė. Tai atliekama tolygiai intervale (0, 1), generuojant pasiskirsčiusį atsitiktinį dydį ir jį transformuojant į būsenos trukmę. Pavyzdžiui, būsenos trukmė pasiskirsčiusi pagal eksponentinį dėsnį. Tuomet būsenos trukmė gaunama panaudojus tokią išraišką:

$$T_i = -\frac{1}{\lambda_i} \ln U_i; \quad (1.9)$$

čia U_i – tolygiai pasiskirstęs atsitiktinis dydis iš intervalo (0, 1) i-ajam sistemos elementui. Jei elementas veikia, tuomet λ_i yra i-ojo sistemos elemento gedimų dažnis. Jei elementas sugedęs, tuomet λ_i yra i-ojo sistemos elemento taisymų dažnis.

5. Ketvirtasis žingsnis kartojamas tol, kol užpildomas tiriamas laiko intervalas (dažniausiai tai vienų metų laiko intervalas) ir išsaugoma visu įrenginių būsenų trukmių informacija. Naudojant šiuos duomenis, gaunami chronologiniai sistemos įrenginių būsenų kitimo procesai.
6. Chronologinis sistemos būsenų kitimo procesas nustatytame laiko intervale sudaromas sujungiant visų įrenginių būsenų kitimų procesus.
7. Atliekama kiekvienos skirtingos sistemos būsenos analizė siekiant gauti sistemos patikimumo rodiklius.
8. Skaitmeniniai eksperimentai kartojami n kartų, atliekant 4 – 7 punktuose nurodytus veiksmus, tol kol įvykdoma skaičiavimų tikslumo sąlyga.

Neparengties koeficiento ir kitų patikimumo rodiklių skaičiavimams atlikti gali būti taikomas nuoseklaus eksperimentavimo metodas, panaudojant įvairių būsenų trukmių pasiskirstymo funkcijas.

1.4. Aukštos įtampos transformatorių pastočių tipinės schemos ir jų patikimumas

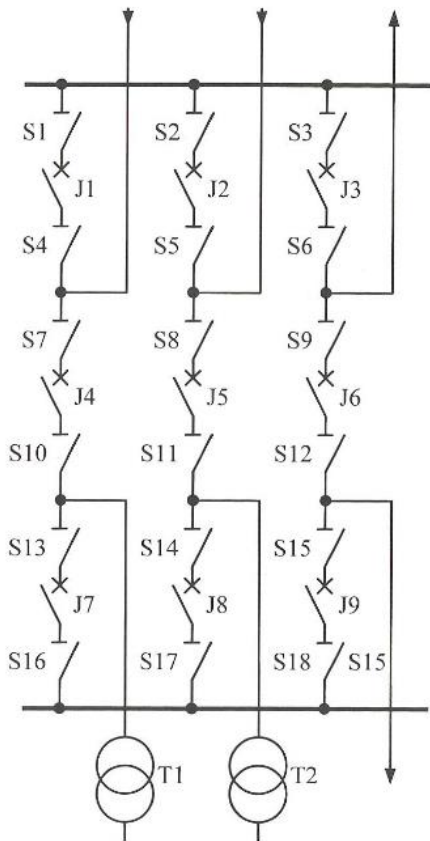
Paprastai 35 – 330 kV transformatorių pastočių patikimumas nustatomas remiantis tokiais patikimumo rodikliais:

- Visos pastotės arba jos dalies gedimo tikimybė – Q ;
- Sistemos gedimų intensyvumu – λ_{Σ} ;
- vidutiniu vartotojų (apkrovos) atjungimų dažniu (TOF) – f_{Avid} ;
- vidutiniu tranzito nutraukimų dažniu – f_{Tvid} ;
- vidutine schemos ar vartotojų maitinimo atkūrimo trukme (MTTR) – T_{Avid} ;
- santykinė maitinimo nutraukimo trukme – q_{av} ;
- vidutine tranzito atkūrimo trukme – T_{Tvid}

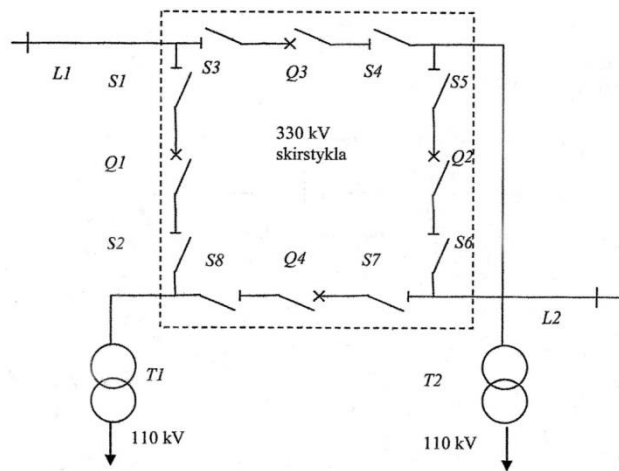
Kaip jau minėta anksčiau, apskaičiuojant pastočių schemų patikimumo rodiklius, reikia nagrinėti ganėtinai sudėtingas ir nuolat besikeičiančias sistemas, kurios susideda iš didelio skaičiaus jungtuvų, skyriklių, šynų, srovės bei įtampos transformatorių, elektros linijų, kartais generatorių ir galios transformatorių. Skaičiavimų metu reikia įvertinti normalaus darbo ir avarinių bei kartais planinių remontų būsenas, taip pat operatyviųjų perjungimų įtaką avarijų likvidavimo trukmei [12]. Rekomenduojama atkreipti dėmesį ir į jungtuvų gedimų įvairovę. Jei trumpųjų jungimų jungiamosiose elektros linijose arba pastotės šynose neatjungia arčiausiai avarijos esantys jungtuvai, tuomet avarija išsiplečia, o jos pasekmės būna gana sunkios [13]. Visa tai padidina patikimumo skaičiavimo apimtis. Dažniausiai yra lyginami alternatyvūs pastočių schemų variantai.

1.7 lentelė. 110 – 330 kV pastočių patikimumo rodikliai

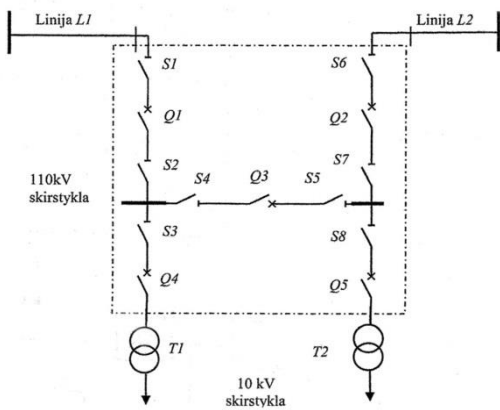
Schemos pavadinimas	f_{Avid} , m ⁻¹	f_{Tvid} , m ⁻¹	T_{Avid} , h	T_{Tvid} , h	$q_{av} \cdot 10^{-4}$	$q_{pl} \cdot 10^{-4}$	Jungtuvų skaičius
Atsišakojanti be jungties	0,018	0,045	5,76	5,21	1,19	2,67	-
Atsišakojanti tiltelio su jungtuvais	0,017	0,044	6,55	5,15	1,28	2,58	3
šynos - transformatoriai	0,011	0,022	5,42	5,08	0,69	1,27	8
Su viena sek. ir apėjimo šynomis	0,022	0,019	7,82	10,5	1,95	2,27	7
Su dviguba ir apėjimo šynomis	0,021	0,019	7,74	10,4	1,85	2,25	8
šynos - linija	0,01	0,021	5,44	5,13	0,62	1,22	4
kombinuoto kvadrato	0,01	0,021	5,15	5,09	0,58	1,22	4
daugiakampio	0,009	0,022	5,41	5,03	0,55	1,35	6
pusantro jungtuvo	0,008	0,023	5,41	4,85	0,5	1,27	9



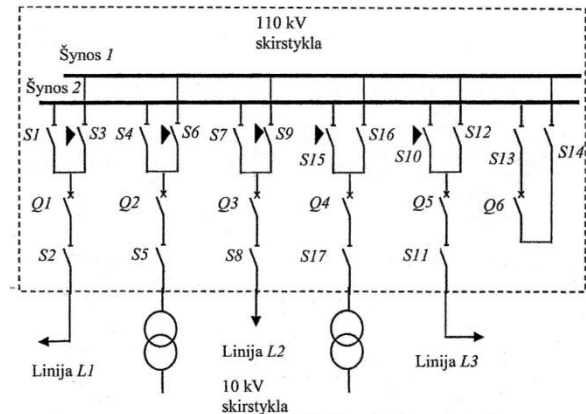
1.5 pav. Pastotės pusantrų jungtuvo schema



1.6 pav. Pastotės daugiakampio schema



1.7 pav. Pastotės tranzitinė schema



1.8 pav. Pastotės mazginė schema

Pagal A. Navicko knygoje „Elektros energetikos sistemų patikimumas“ atliktą skaičiavimų analizę, kurios rezultatai yra gauti remiantis loginių lentelių metodu ir pateikti lentelėje 1.7, nustatyta, kad:

1. Pagal daugelį rodiklių mažiausiai patikimos yra schemas, sudarytos iš dvigubos ir viengubos sekcionuotos šynų sistemos bei apeinamųjų šynų sistemos. Kadangi dalis šio darbo tikslo yra pateikti pasiūlymus, kaip padidinti Lietuvoje naudojamų aukštos įtampos transformatorių pastočių schemų patikimumą, tai šio tipo schemas,

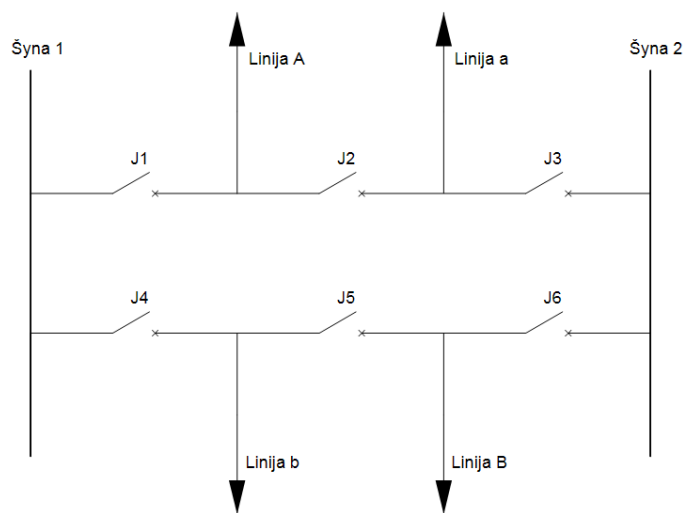
atsižvelgiant į jau atliktą analizę, dėl mažų patikimumo rodiklių darbe analizuojamos nebus.

2. Patikimos ir pigiausios yra šynų ir linijos bei kombinuoto kvadrato schemas. Jos daug pigesnės, palyginus jas su schemomis, sudarytomis iš surinkimo šynų.
3. Pačios patikimiausios yra dviejų transformatorių, daugiakampio (1.6 paveikslas) ir pusanthro jungtuvo (1.5 paveikslas) schemas, tačiau kai elektros linijų yra ne daugiau kaip keturios, šios schemas nedaug patikimesnės už antrame punkte paminėtas schemas, be to yra gana brangios.
4. Daugeliui svarbių elektros energetikos sistemos mazgų, kai prijungimų yra ne daugiau kaip šeši, rekomenduojama naudoti kombinuoto kvadrato bei šynų ir linijos schemas, kaip gana patikimas ir ekonomiškas.

Šiame darbe bus nagrinėjamos daugiakampio su keturiais jungtuvais ir pusanthro jungtuvo schemas, kurios plačiausiai naudojamos 330 kV įtampos transformatorių pastotėse, bei tranzitinė (1.7 paveikslas) ir mazginė (1.8 paveikslas) schemas, kurios plačiausiai taikomos 110 kV įtampos transformatorių pastotėse. Šios schemas analizei pasirinktos dėl didelio savo patikimumo.

1.4.1. Transformatorių pastotės pusanthro jungtuvo schema

Pastotės pusanthro jungtuvo schema yra naudojama jau kelis dešimtmečius ir taikoma tose pastotėse, kuriose turi būti užtikrintas didelis patikimumas. Pagrindiniai pusanthro jungtuvo schemas privalumai pasireiškia schemas komponentų gedimų ir remonto sąlygomis. Gedimas, atsiradęs vienoje iš šynų, nesukelia energijos nutraukimo nei vienai linijai, prie kurių prijungtos apkrovos. Atliekami remonto darbai vienoje iš šynų netrukdo užtikrinti elektros energijos tiekimą visoms apkrovos linijoms. Apkrovos linijos gedimo atveju atjungiama tik ši linija, nesukeliant energijos nutraukimo kitai veikiančiai apkrovos linijai. Kiti pusanthro jungtuvo schemas privalumai yra lengvai atliekamas jos išplėtimas ir tinkamumas visoms įtampoms. Visi šie privalumai išskiria pusanthro jungtuvo schemą iš kitų ir užtikrina jos panaudojimą pastotėse, kuriose itin svarbus patikimumas ir darbo lankstumas. Svarbu paminėti tai, kad pusanthro jungtuvo schemas relinė apsauga yra sudėtinga, ir kai į schemas sudėtį įtraukiama daugiau jungtuvų, didėja jos kaina.



1.9 pav. Supaprastinta keturių linijų pusanthro jungtuvo schema

Supaprastinta keturių linijų pusanthro jungtuvo schema pateikta 1.9 paveiksle. Paprasčiausia pusanthro jungtuvo schema yra sudaryta iš dviejų dalių, tarpusavyje sujungtų šynomis. Kiekviena dalis sudaryta iš trijų jungtuvų ir dviejų elektros linijų. Paveiksle 1.9 A ir B yra energijos tiekimo (maitinimo) linijos, o a ir b – apkrovų linijos. Šioje schemoje antras jungtuvas J2 skirtas atskirti linijas A ir a nuo likusios sistemos, jei jose atsiranda gedimas. Ši schema vadinama pusanthro jungtuvo dėl to, kad kiekvienos linijos apsaugai skiriama po vieną ir tariamai pusę, tarp dviejų linijų esančio, jungtuvo.

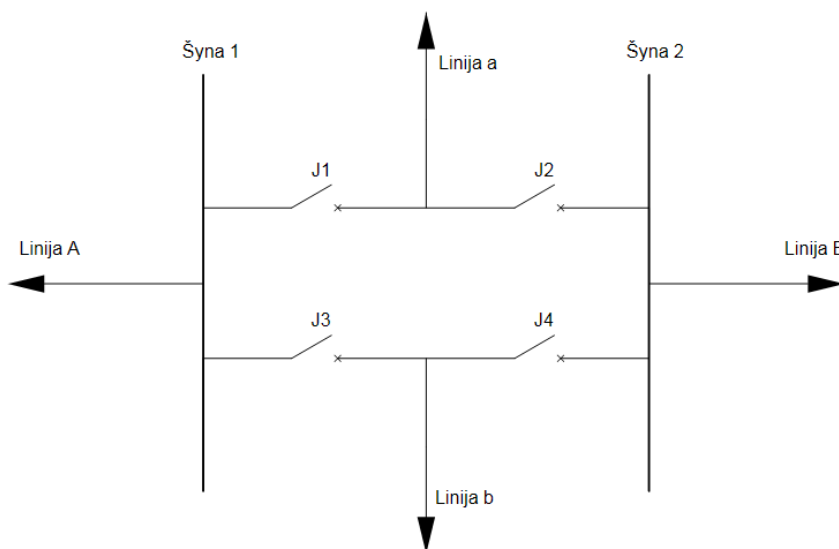
Schemai veikiant normaliu režimu visi jungtuvai yra įjungti. Abi šynos maitinamos vienu metu. Laikoma, kad vienos linijos galios, maitinančios schemą, pakanka užtikrinti reikiamą galios kiekį apkrovoms, prijungtoms prie iš schemos išeinančių linijų. Sugedus bet kuriam jungtuvui yra atjungiami du arčiausiai, iš abiejų pusių, sugedusiam esantys jungtuvai. Po to sugedęs jungtuvas, atjungiant gretimus skyriklius, yra izoliuojamas nuo sistemos. O tada yra įjungiami du prieš tai atjungti jungtuvai. Pastotės schema pertvarkoma taip, kad sugedęs komponentas yra izoliuojamas, o energijos srauto tiekimas užtikrinamas kuo didesniai apkrovų linijų skaičiui.

1.4.2. Transformatorių pastotės daugiakampio su keturiais jungtuvais schema

Aukštosios įtampos tinkle (330 kV) yra naudojamos daugiakampio tipo pastotės. Patikimumo skaičiavimams darbe naudojama supaprastinta daugiakampio su keturiais jungtuvais schema pateikiama 1.10 paveiksle. Šioje schemoje aukštosios įtampos skirstykla yra maitinama aukštosios įtampos linijomis A ir B. Kadangi visos valdymo operacijos tokio tipo pastotėse

atliekamos išjungiant po du jungtuvus, todėl čia reikalinga sudėtinga valdymo ir relinės apsaugos aparatūra [14]. Normalaus darbo režimu visi skyrikliai ir jungtuvai įjungti.

Pavyzdžiui, įvykus gedimui linijoje b, vienu metu yra išjungiami jungtuvai J3 ir J4. Šio tipo pastotė yra labai patikima, nes bet kuris jungtuvas gali būti remontuojamas neatjungiant linijų ar transformatorių.

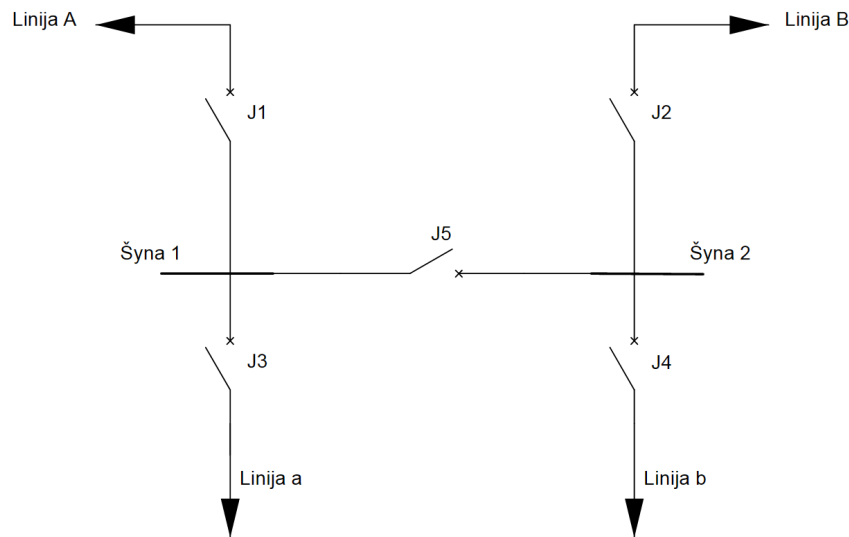


1.10 pav. Supaprastinta daugiakampio su keturiais jungtuvais schema

1.4.3. Transformatorių pastotės tranzitinė schema

Tranzitinė 110 kV pastotės schema yra naudojama tada, kai iš vienos linijos į kitą galios srautas teka per pastotę ir dalis srauto patenka į pastotės apkrovas [14]. Patikimumo skaičiavimams darbe naudojama supaprastinta tranzitinė perdavimo tinklo pastotės schema pateikiama 1.11 paveiksle. Normaliu darbo režimu visi pastotėje esantys jungtuvai ir skyrikliai įjungti.

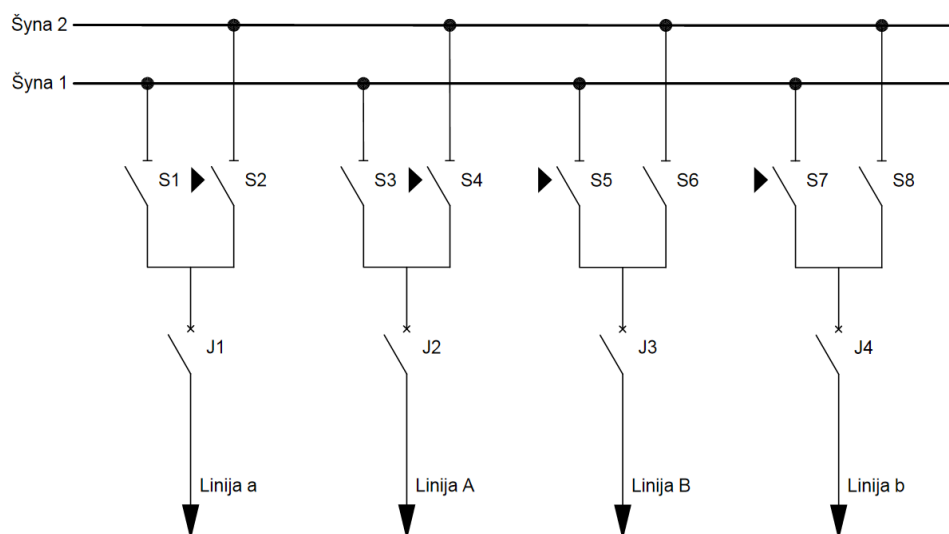
Jeigu vienoje linijoje dingsta įtampa, ji yra atjungiamą jungtuvu J1 arba J2, o apkrovos toliau maitinamos iš kitos linijos. Tačiau, jei viena linija yra spindulinė (jos gale nėra maitinimo šaltinio, o tik vartotojai), dėl gedimo pastotėje ši linija netenka maitinimo. Schema naudojama, kai yra reikalingas didelis pastotės patikimumas maitinant svarbius vartotojus [15]. Lyginant su blokinės pastotės schema, ši pastotė yra kur kas brangesnė dėl naudojamo didesnio komutacinių aparatų skaičiaus.



1.11 pav. Supaprastinta tranzitinė pastotės schema

1.4.4. Transformatorių pastotės mazginė su dvigubomis šynomis schema

Mazginė 110 kV pastotės su dvigubomis šynomis schema naudojama tada, kai pastotę su sistema jungia daug linijų ir maitinimas turi būti labai patikimas [14]. Patikimumo skaičiavimams darbe naudojama supaprastinta mazginė pastotės su dvigubomis šynomis schema pateikiama 1.12 paveiksle. Pastotė gali dirbti su viena šynų sistema, todėl vienoms šynoms sugedus, visos linijos perjungiamos į kitas šynas ir tinklas vėl veikia. Tai aktualu, jei prie šynų prijungta spindulinė 110 kV linija, neturinti kito maitinimo taško. Sugedus jungtuvui, prie jo prijungta linija lieka be maitinimo. Normaliu darbo režimu dalis linijų būna prijungta prie vienos, o dalis - prie kitos šynų sistemos. Pavyzdžiui, įjungta J1, S1, J2, S3; prie 1 šynos prijungta A ir a linijos, o B ir b linijos prie 2 šynos; įjungta J3, S6, J4, S8.



1.12 pav. Supaprastinta mazginė pastotės su dvigubomis šynomis schema

2. METODINĖ DALIS

Šiame darbe aukštos įtampos transformatorių pastočių schemų patikimumas yra analizuojamas naudojantis dvejomis skirtingomis kompiuterinėmis programomis - „Arbre Analyste“ ir „OpenFTA“. Abi šios programos yra skirtos atlikti patikimumo analizę, remiantis gedimų medžio metodu. Keturiems pasirinktiems transformatorių pastočių schemų tipams: pusanthro jungtuvo, daugiakampio su keturiais jungtuvais, tranzitinei bei mazginei, patikimumo analizė bus atlikta, remiantis gedimų medžio ir Monte – Karlo metodais.

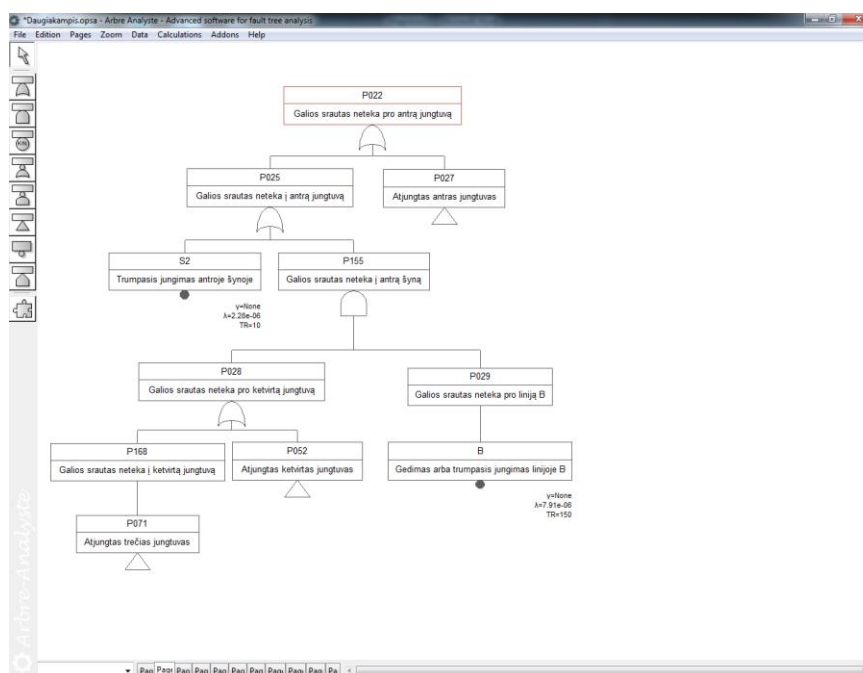
Kompiuterinėmis programomis „Arbre Analyste“ ir „OpenFTA“ gauti modeliavimo rezultatai bus palyginami tarpusavyje ir nustatomas sudarytų modelių bei gautų rezultatų tikslumas. Visų tipų schemų patikimumui nustatyti yra naudojamos tokios pačios pradinių (įvesties) duomenų, tai yra, įrenginių patikimumo rodiklių vertės. Šios rodiklių vertės darbe parinktos, atsižvelgiant į Lietuvoje naudojamų transformatorių pastočių įrenginių patikimumo rodiklių vertes. Taigi modeliavimo procese naudojamos patikimumo rodiklių vertės yra lygios arba artimos realioms, statistiniu būdu surinktoms, Lietuvoje naudojamų įrenginių patikimumo rodiklių vertėms. Darbe atliekant modeliavimą daroma prielaida, kad apsaugos ir valdymo sistemų, bei rezervinių energijos šaltinių patikimumas yra 100 %. Nors šių komponentų patikimumas svarbus, atliekant transformatorių pastotės patikimumo analizę, tačiau, kaip jau minėta, darbe jis nevertinamas. Šių komponentų patikimumas nevertinamas dėl to, kad šio darbo tikslas yra orientuotas tik į transformatorių pastočių schemų patikimumo analizę bei į tai, kad šių komponentų įtakos pastočių schemų patikimumui įvertinimas stipriai padidintų darbo apimtį.

2.1 Aukštos įtampos transformatorių pastočių schemų patikimumo modeliavimo priemonės

2.1.1 Kompiuterinė programa „Arbre Analyste“

„Arbre Analyste“ yra nemokamas atviro kodo, tačiau galingas programinės įrangos paketas, skirtas atlikti patikimumo analizę. Naudojantis šia programa galima atlikti skirtingais patikimumo rodikliais, tokiais kaip gedimo tikimybė, gedimų intensyvumas, vidutinis atjungimų dažnis, vidutinė atkūrimo trukmė ar vidutinė darbo iki gedimo trukmė, paremtus skaičiavimus. Programoje „Arbre Analyste“ bazinių įvykių patikimumo duomenys yra įvedami vartotojo ir laikomi modelio faile.

Gedimų medis programa „Arbre Analyste“ yra sukuriamas gedimų medžio redaktoriuje, gedimų medžio dialogo lange (paveikslas 2.1). Gedimų medis bus sukurtas gedimų medžio dialogo lange, pasirenkant tinkamus įvykius ir loginius operatorius.

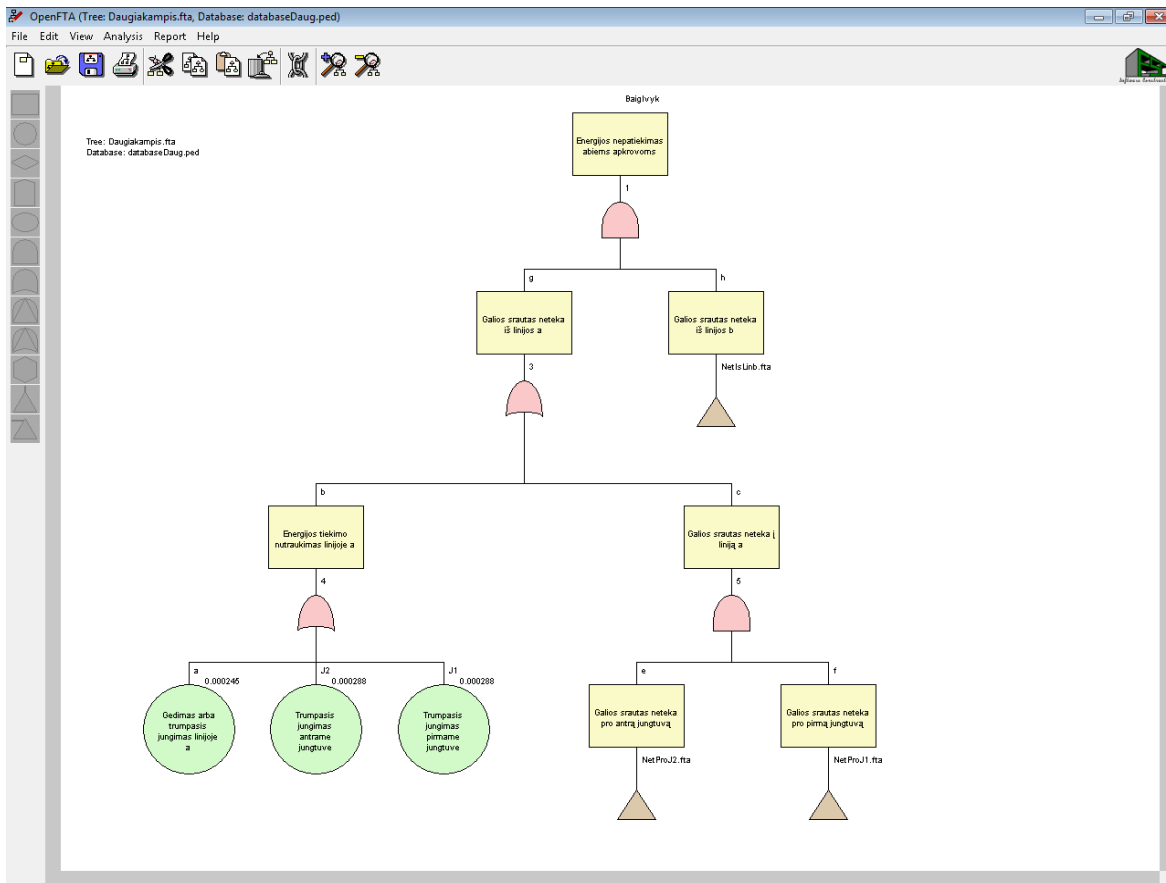


2.1 pav. Programos „Arbre Analyste“ darbo langas

2.1.2 Kompiuterinė programa „OpenFTA“

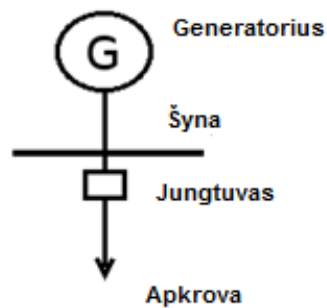
„OpenFTA“ yra nekomercinė kompiuterinė programa, skirta vertinti gedimų medį ir skaičiuoti baigiamojo įvykio tikimybę. Ši programa vertina sistemos gedimų medį, pasitelkdama minimaliųjų pjūvių metodą. Kitaip nei programa „Arbre Analyste“, ši programa skaičiuoja tik sistemos gedimo tikimybę ir neskaičiuoja tokių schemos patikimumo rodiklių, kaip gedimų intensyvumas, vidutinis atjungimų dažnis, vidutinė atkūrimo trukmė ar vidutinė darbo iki gedimo trukmė. Sudarant gedimų medį, kaip ir programoje „Arbre Analyste“, galima pasirinkti įvykio tipą (bazinis, tarpinis), jungtis (*IR*, *ARBA*), kurios sujungia įvykius tarpusavyje, bei baziniams įvykiams priskirti tikimybes. Programos darbo lango pavyzdys pateiktas 2.2 paveiksle.

Programa „OpenFTA“ pagal nutylėjimą visada skaičiuoja pirmuosius du lygties lygius (angl. k. terms). Programos naudojamas algoritmas skaičiuoja pakankamai tiksliai, priklausomai nuo pasirinkamo kriterijaus. Pagrindinis programos „OpenFTA“ privalumas, lyginant ją su ankščiau aptarta programa „Arbre Analyste“, yra tas, kad ši programa suteikia galimybę sistemos patikimumą įvertinti naudojant Monte - Karlo, kitaip, skaitmeninį sistemos veikimo imitavimo metodą.



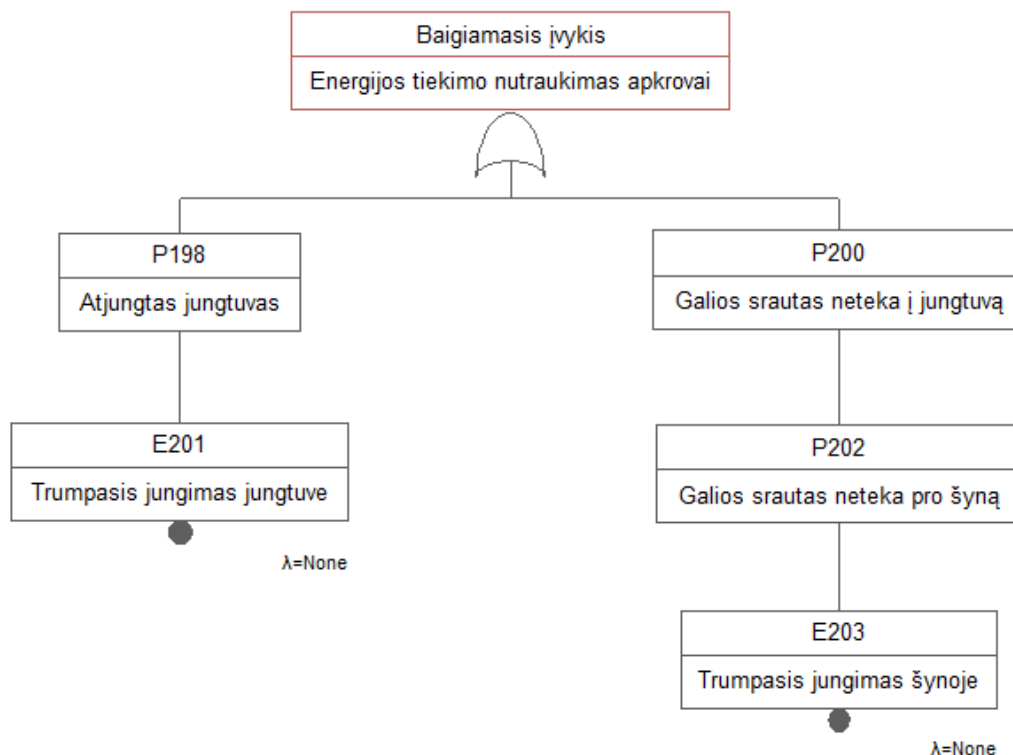
2.2 pav. Programos „OpenFTA“ darbo langas

2.1.3 Paprasto modelio sudarymas su programa „Arbre Analyste“



2.3 pav. Paprastos radialinės pastotės schema

Paveiksle 2.3 pavaizduota sistema susideda iš keturių komponentų. Generatorius ir jungtuvas yra prijungti tiesiai prie šynos, o apkrova su jungtuvu sujungta nuosekliai. Laikoma, kad generatorius veikia idealiai. Paveiksle 2.4 pateikiamas schemos gedimų medis.



2.4 pav. Paprastos radialinės pastotės schemos gedimų medžio modelis programos „Arbre Analyste“ aplinkoje

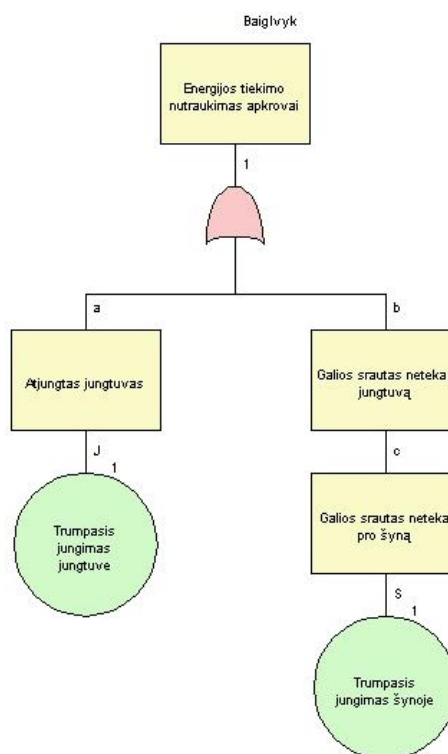
Baigiamasis įvykis yra nusakomas kaip energijos tiekimo nutraukimas apkrovai. Energija į apkrovą gali nepatekti dėl to, kad atjungtas jungtuvas, arba dėl to, kad energija nėra tiekama iki jungtuvo, kas gali atsitikti dėl trumpojo jungimo arba gedimo šynoje. Norint įvertinti kiekvieną sistemos komponentą, reikia sekti energijos tekėjimo kryptimi. Viesiems išdėstytiems komponentams taikomas pataisomasis modelis. Šiam modeliui reikalingi parametrai yra vidutinis gedimų intensyvumas ir vidutinė atkūrimo trukmė (MTTR). Šie parametrai gaunami iš statistikos duomenų šaltinių.

Programoje „Arbre Analyste“ yra apskaičiuojama gedimo tikimybė, gedimų intensyvumas, vidutinis atjungimų dažnis (TOF), vidutinė atkūrimo trukmė (MTTR) bei santykinė maitinimo nutraukimo trukmė. Remontų dažnis gali būti nusakomas gedimų intensyvumu, o remonto laikas - vidutine atkūrimo trukme.

Svarbu atkreipti dėmesį į tai, kad įvesties duomenys naudojami sistemos stabilumui nustatyti, yra gaunami iš įvairių šaltinių. Modeliavimo tikslas yra numatyti sistemoje ateityje įvyksiančius gedimus, remiantis surinkta informacija ir žiniomis praeityje. Tačiau yra gana sunku patikrinti iš skirtingų šaltinių surinktos informacijos tikslumą.

2.1.4 Paprasto modelio sudarymas su programa „OpenFTA“

Paveiksle 2.5 pateikiamas programos „OpenFTA“ aplinkoje sudarytas prieš tai nagrinėto pavyzdžio schemos gedimų medis.



2.5 pav. Paprastos radialinės pastotės schemos gedimų medžio modelis programos „OpenFTA“ aplinkoje

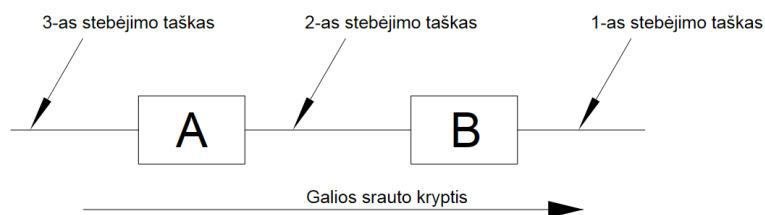
Programoje „OpenFTA“ visiems išdėstytiems komponentams yra taikomas pataisomasis modelis. Norint įvertinti sistemos patikimumą, pirmiausia programos lange sukuriamas nagrinėjamos schemos gedimų medis, programos įrankių juostoje pasirenkant komponentus ir juos išdėstant bei sujungiant tarpusavyje. Gedimų medžio sudarymas šia programa yra atliekamas taip pat, kaip ir programa „Arbre Analyste“.

Programoje „OpenFTA“ sudarytam modeliui reikalingas tik vienas įvesties parametras – komponento gedimo tikimybė, kuri darbe gaunama pasinaudojus anksčiau aprašyta programa „Arbre Analyste“. Taip pat komponento gedimo tikimybė gali būti gauta, padauginus vidutinį komponento gedimų intensyvumą iš jo vidutinės atkūrimo trukmės. Kaip jau minėta anksčiau, programoje „OpenFTA“ yra apskaičiuojama tik sistemos gedimo tikimybė.

Kai baigiamas kurti sistemos modelis, pradiniai patikimumo (įvesties) duomenys, reikalingi skaičiavimui atlikti, yra įrašomi ir saugomi atskirame duomenų faile. Programoje „OpenFTA“ šalia komponentų yra rodoma jų gedimo tikimybė.

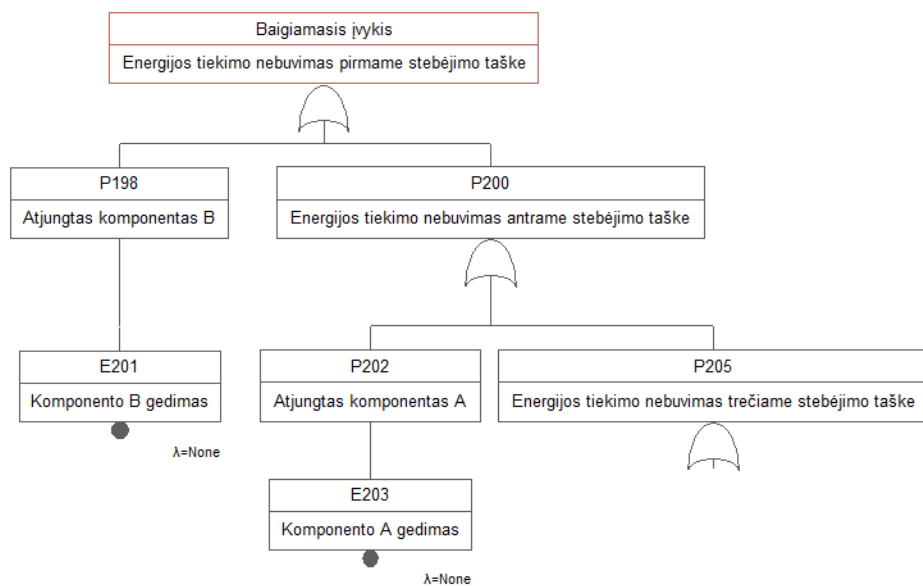
2.2 Aukštos įtampos transformatorių pastočių schemų patikimumo modeliavimo metodika

Modeliuojant gedimų medį reikia įtraukti kiekvieną sistemos komponentą pagal jų išdėstymą, remiantis energijos tekėjimo kryptimi sistemoje. Kiekvienas komponentas gali būti darbinėje arba gedimo būsenoje. Toliau pateikiami du modeliavimo pavyzdžiai.

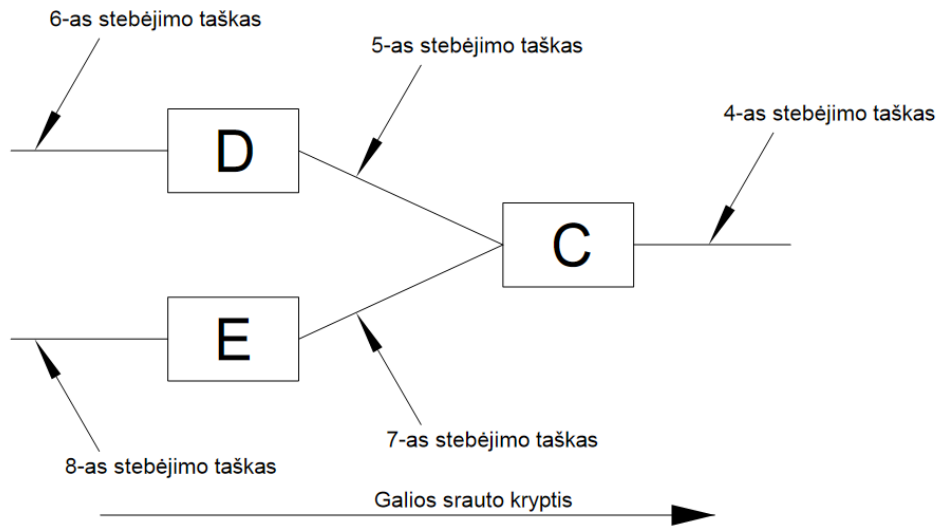


2.6 pav. Pirmas modeliavimo metodikos naudojimo pavyzdys

Pirmame pavyzdyje pavaizduotame paveiksle 2.6 pateikti du nuosekliai sujungti komponentai A ir B bei trys stebėjimo taškai. Naudojantis paveiksle 2.7 pavaizduotu gedimų medžiu, gali būti vertinama gedimo tikimybė. Šiuo atveju baigiamasis įvykis įvertina energijos tiekimo nebuvimą pirmame stebėjimo taške. Šio baigiamąjo įvykio priežastimi gali būti arba tarpinis įvykis „atjungtas komponentas B“, dėl ko yra užkertamas energijos tekėjimas pro jį, arba „galios srautas nepasiekia komponento B“, kas schemoje pateikiama kaip energijos tiekimo nebuvimas antrame stebėjimo taške. Šio įvykio priežastimi gali būti komponento A gedimas arba energijos tiekimo nebuvimas trečiame stebėjimo taške.

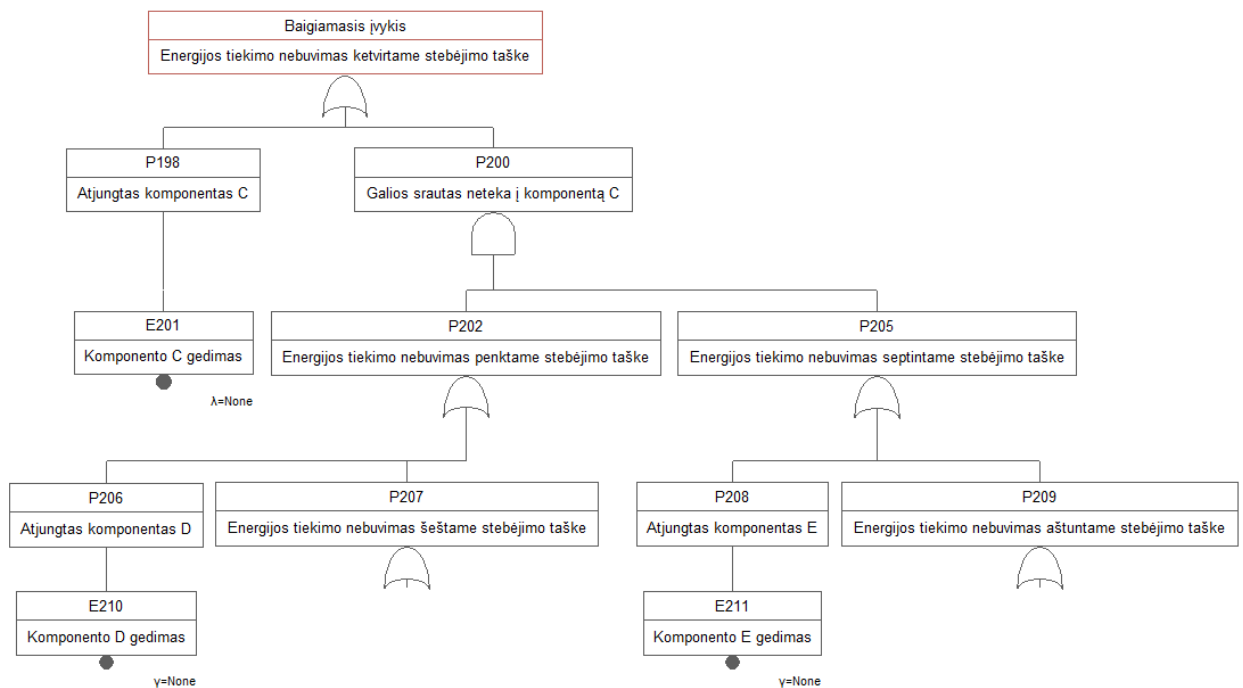


2.7 pav. Pirmo pavyzdžio schemos gedimų medis programoje „Arbre Analyste“



2.8 pav. Antras modeliavimo metodikos naudojimo pavyzdys

Antrame pavyzdyje pateiktame paveiksle 2.8, matosi, kad komponentai D ir E tarpusavyje sujungti lygiagrečiai ir abu nuosekliai su komponentu C. Baigiamasis įvykis įvertina energijos tiekimo nebuvimą ketvirtame stebėjimo taške. Šio baigiamojo įvykio priežastimi gali būti arba „atjungtas komponentas C“, arba energijos tiekimo nebuvimas penktame ir septintame stebėjimo taškuose tuo pačiu metu. Modelio analizavimas dalinamas į dvių šakų nagrinėjimą. Viena šaka (penktas stebėjimo taškas) energiją gauną iš komponento D, o kita (septintas stebėjimo taškas) energiją gauną iš komponento E. Gedimų medžio, sudaryto su „Arbre Analyste“ programa, modelis pateikiamas 2.9 paveiksle.



2.9 pav. Antro pavyzdžio schemos gedimų medis programoje „Arbre Analyste“

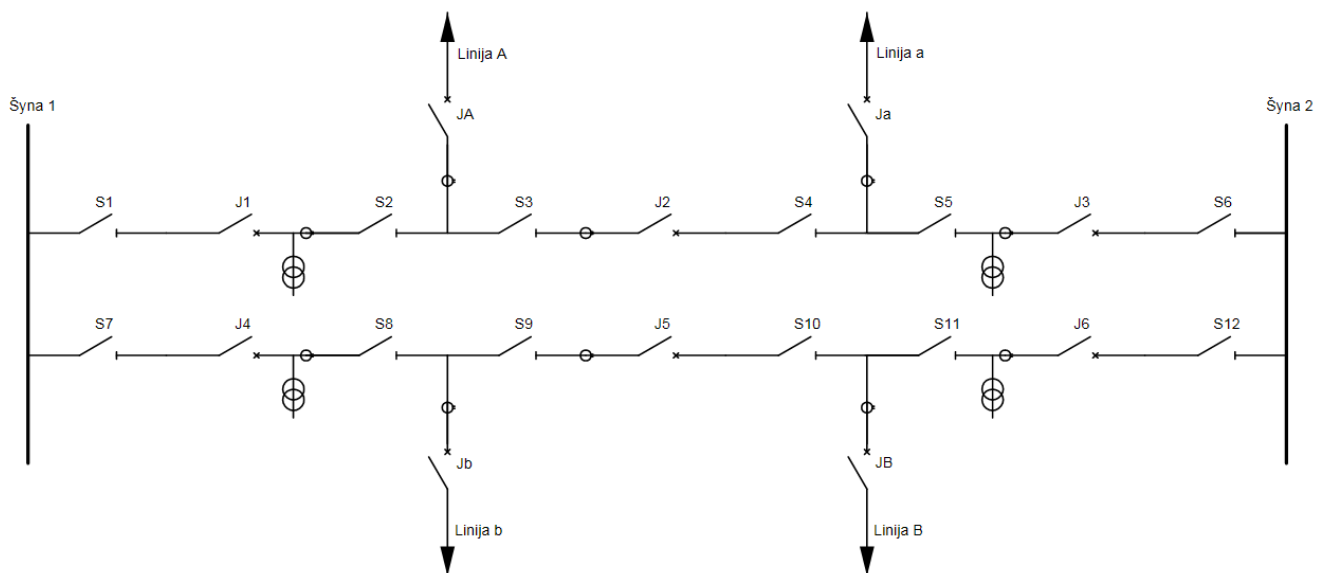
2.3 Transformatorių pastotės pusantro jungtuvo schemos analizė gedimų medžio metodu su programa „Arbre Analyste“

Pastotės pusantro jungtuvo schema yra naudojama jau kelis dešimtmečius ir taikoma tose pastotėse, kuriose turi būti užtikrintas didelis patikimumas. Kadangi vienas iš šio darbo uždavinių yra išsiaiškinti patikimiausias pastočių schemų konfigūracijas ir jų parametrus, tai modelis programos „Arbre Analyste“ aplinkoje pirmiausiai pradėtas kurti pusantro jungtuvo schemos patikimumui nustatyti.

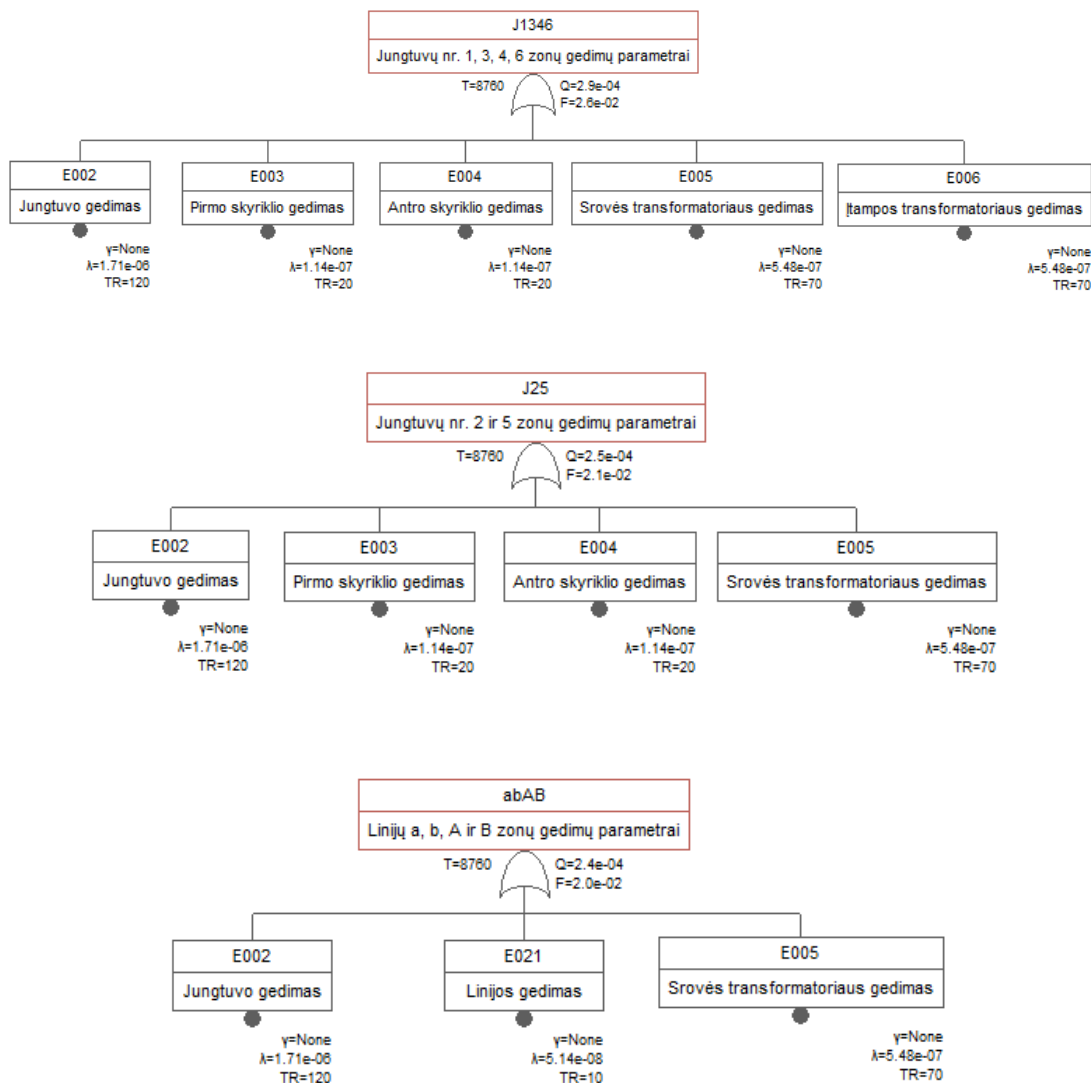
Naudojant programą „Arbre Analyste“ gedimų medžio metodu bus nagrinėjamas pastotės pusantro jungtuvo schemos patikimumas. Pagrindiniai linijų ir šynų gedimų režimai yra priskiriami sukeliams trumpojo jungimo, kurie daugiausiai prisideda prie pagrindinių gedimų. Taip pat sistemoje gali atsirasti aukštos įtampos jungtuvų gedimų režimų, kuriems pašalinti reikia staigaus jungtuvo atskyrimo nuo sistemos ir remonto.

Jungtuvų sukelti trumpieji jungimai ženkliai neprisideda prie bendro įvykstančių gedimų skaičiaus [16]. Tačiau dėl svarbos ir daromos įtakos sistemai jungtuvų sukelti trumpieji jungimai yra įtraukiami į gedimo medžio analizę. Linijose ir šynose atsirandančiuose gedimuose taip pat įvertinamas tik trumpojo jungimo sukeltas poveikis. Taip pat svarbu paminėti tai, kad toliau sudarytoje supaprastinto pusantro jungtuvo schemoje, siekiant sumažinti sudaromo gedimų medžio apimtį, nėra vaizduojami skyrikliai, srovės bei įtampos transformatoriai ir linijų įrenginiai (transformatoriai, jungtuvai ir kita). Vietoje to, yra sudaromi kiekvienos zonos gedimų medžiai (2.11 paveikslas) ir suskaičiuojami tos zonos patikimumo rodikliai, kurie supaprastintoje schemoje atitinka jungtuvų bei linijų patikimumo rodiklius. Taip pat sudarytame supaprastintos pusantro jungtuvo schemos modelyje jungtuvas yra be kartotinio įjungimo funkcijos, kas reiškia, kad jungtuvai gali atlikti tiek atjungimo, tiek ir atskyrimo funkcijas, kuomet arti atsiranda gedimas. Pagrindinėje pusantro jungtuvo schemoje gedimo atskyrimas (izoliavimas) realizuojamas dvejais skyrikliais iš abiejų jungtuvo pusių.

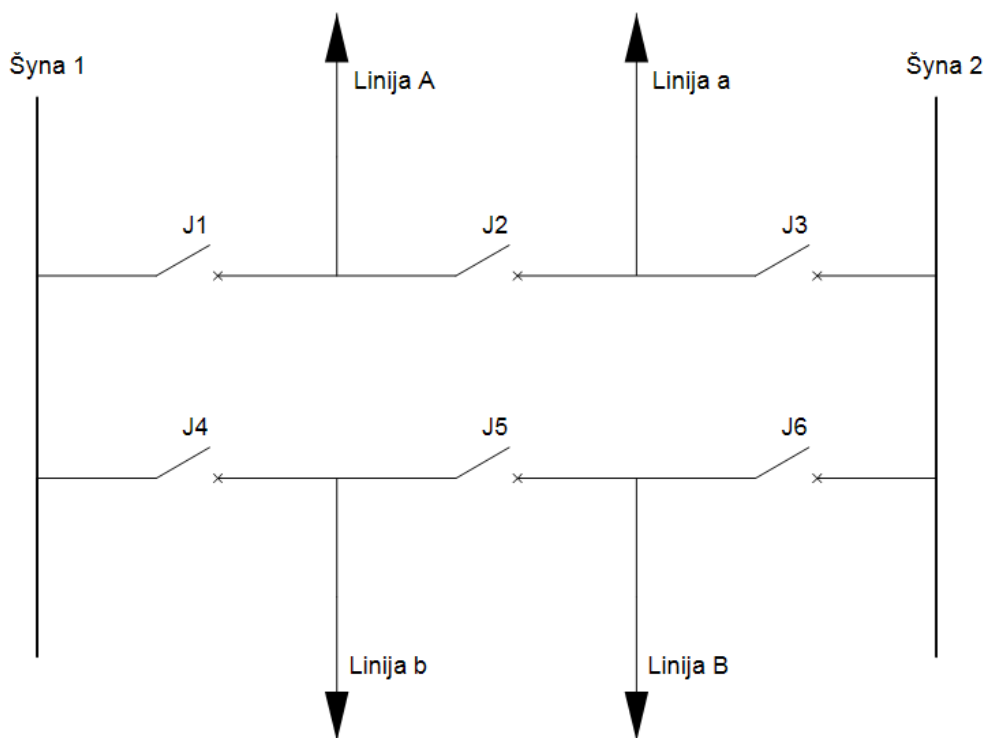
Darbe analizuojama pusantro jungtuvo schema pateikiama 2.10 paveiksle. Iš pradžių, kad būtų paprasčiau atlikti modeliavimą, kaip jau minėta, bus naudojama supaprastinta pusantro jungtuvo schema, kuri pateikiama 2.12 paveiksle.



2.10 pav. Transformatorių pastotės keturių linijų pusanthro jungtuvo schema



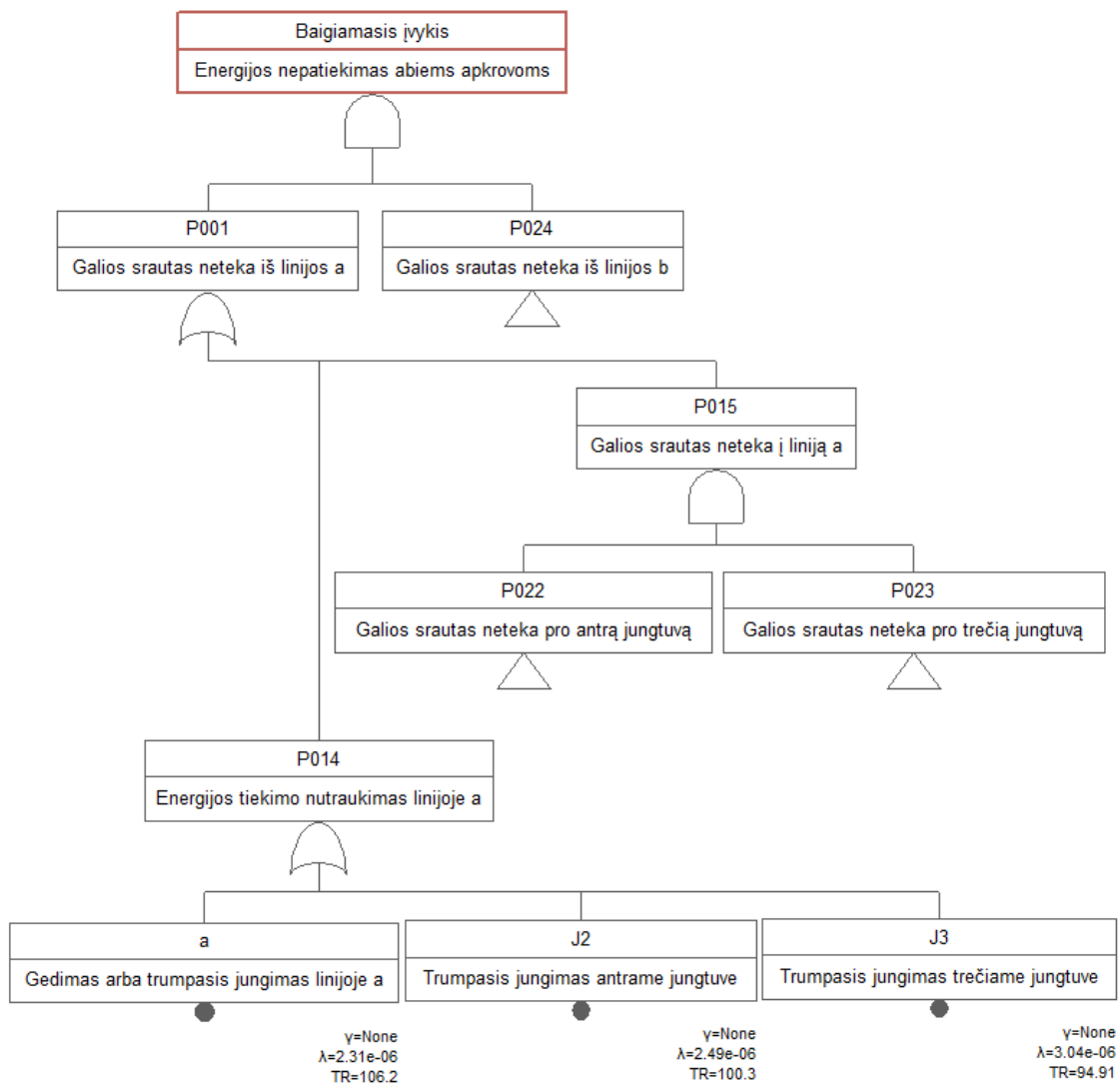
2.11 pav. Pusanthro jungtuvo schemas zonų gedimų medžiai



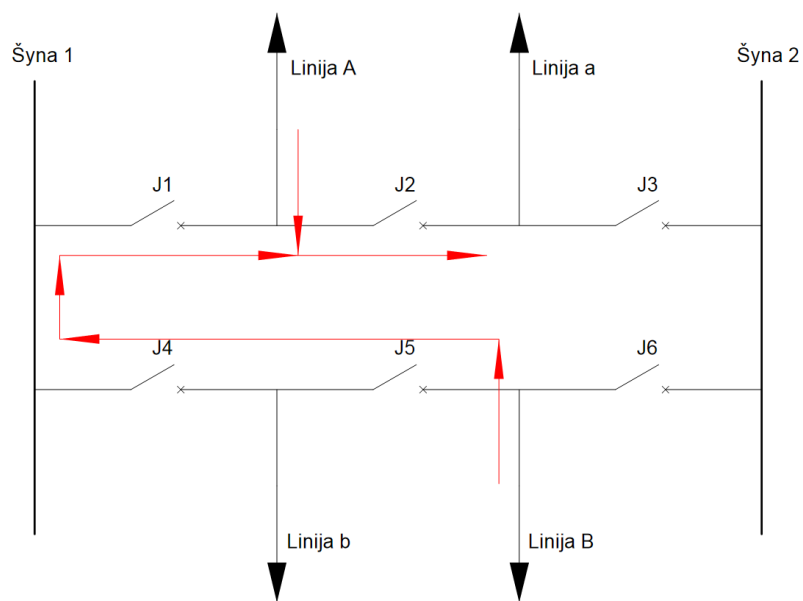
2.12 pav. Supaprastinta keturių linijų pusanthro jungtuvo schema

Baigiamasis įvykis yra apibrėžiamas kaip „energijos nepatiekimas abiem apkrovoms“, dėl to modelyje prieš baigiamąjį įvykį (2.13 paveikslas) atsiranda jungtis IR, už kurios yra dvi baigiamąjį įvykį sukelti galinčios sąlygos (įvykiai), „galios srautas neteka iš linijos a“ ir „galios srautas neteka iš linijos b“, kas nusako, kad baigiamasis įvykis įvyksta tada, kai energija nebeteka iškart dvejomis išeinančiomis linijomis, tai yra, kai jos atsijungusios arba sugedusios. Kadangi abi išeinančios linijos yra sujungtos lygiagrečiai, tai gedimų medžio modelis, parodytas paveiksle 2.13, įvertina tik išeinančių linijų atsijungimo atvejį. Atliekant modeliavimą, kaip jau aptarta anksčiau, reikia gedimą skaidyti į dvi tiesiogines jį sukelti galėjusias priežastis, kurios gali būti tokios kaip, „trumpasis jungimas komponente“, ir „galios srautas neteka į komponentą“, atsižvelgiant į energijos tekėjimo kryptį. Nagrinėjamu atveju du veiksniai tiesiogiai sukelia įvykį „galios srautas neteka iš linijos a“, kurie yra „galios srautas neteka į liniją a“ ir „energijos tiekimo nutraukimas linijoje a“.

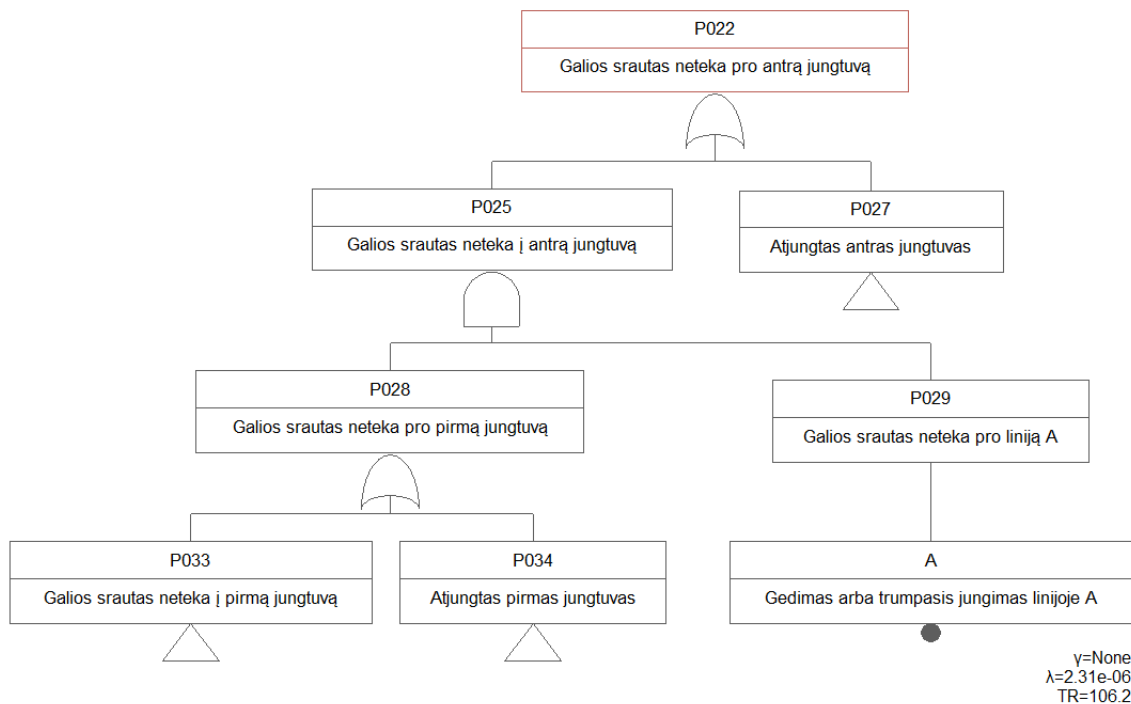
Komponento gedimo būseną naudojama tuomet, kai pats komponentas yra gedimo režime arba, kai gretimų komponentų gedimas sukelia nagrinėjamo komponento perėjimą į gedimo būseną. Įvykis „galios srautas neteka į liniją a“ parodo, kad energijos srautas neteka išeinančia linija a net tuomet, kai pati linija yra nepažeista ir normaliaame darbo režime. Kuomet galios srautas teka į išeinančią liniją a, jo tekėjimo kelias gali būti pro antrą arba pro trečią jungtuvus, todėl modelyje tokiam atvejui sukurti panaudojama loginė jungtis IR.



2.13 pav. Supaprastintos pusantro jungtuvo schemos baigiamojo įvykio gedimų medis



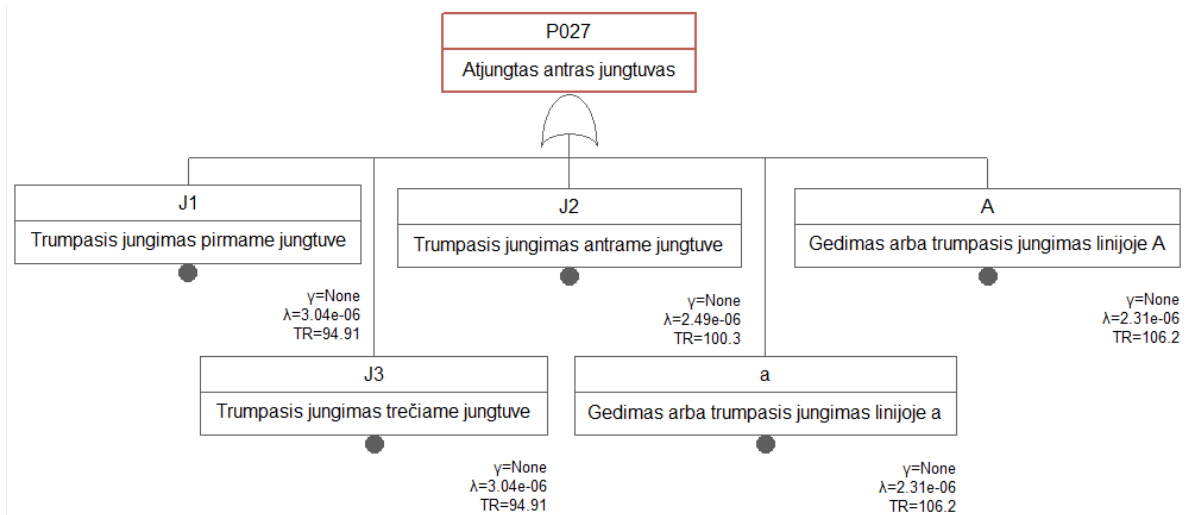
2.14 pav. Galios srauto tekėjimo kryptis pro antrą jungtuvą iš abiejų šaltinių linijų supaprastintoje pusantro jungtuvo schemoje



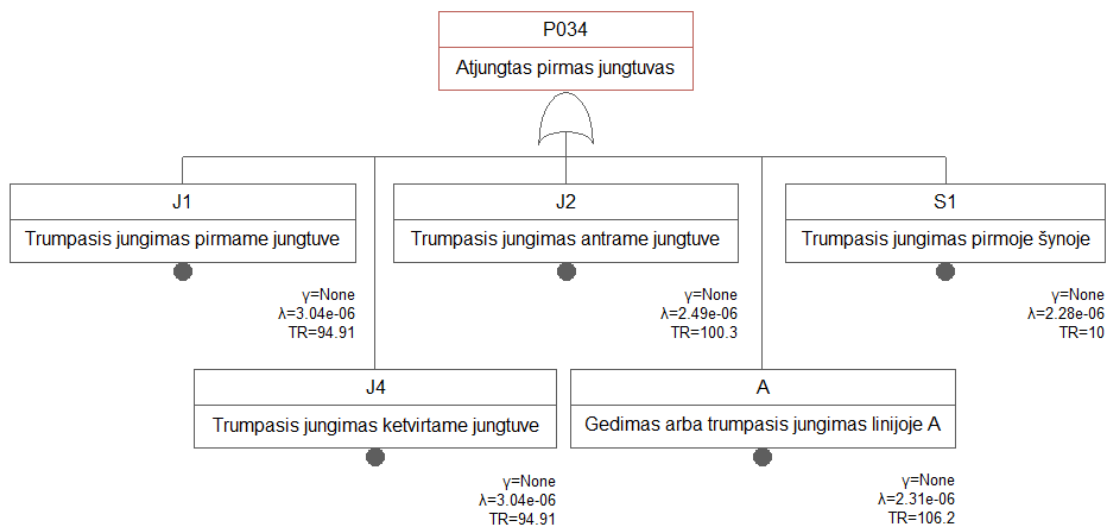
2.15 pav. Galios srauto netekėjimo pro antrą jungtuvą gedimų medis

Galios srauto tekėjimo kryptis pro antrą jungtuvą iš abiejų energijos šaltinių pavaizduotas 2.14 paveiksle. Toliau tęsiant modelio analizę (paveikslas 2.15), nustatoma, kad tiesioginės įvykio „galios srautas neteka pro antrą jungtuvą“ priežastys yra įvykis „atjungtas antras jungtuvas“, kuris susideda iš penkių bazinių įvykių (paveikslas 2.16), kurie yra apsaugų suveikimo sukelti įvykiai bei antro jungtuvo gedimas dėl trumpojo jungimo, ir įvykis „galios srautas neteka į antrą jungtuvą“, kuris nusako situaciją, kai vienu metu vyksta įvykiai „galios srautas neteka pro liniją A“, ir „galios srautas neteka pro pirmą jungtuvą“.

Svarbu pažymėti tai, kad įvykiui „galios srautas neteka į antrą jungtuvą“ įvertinama tik iš linijų A ir pirmo jungtuvo tekančių galios srautų kryptys. Linijoje A įvykęs gedimas arba trumpasis jungimas priverčia suveikti apsaugas, o dėl to atjungiami pirmas ir antras jungtuvai. Modelyje šis tarpinis įvykis yra „atjungtas antras jungtuvas“ ir nusako galios srauto nutraukimą antrame jungtuve.

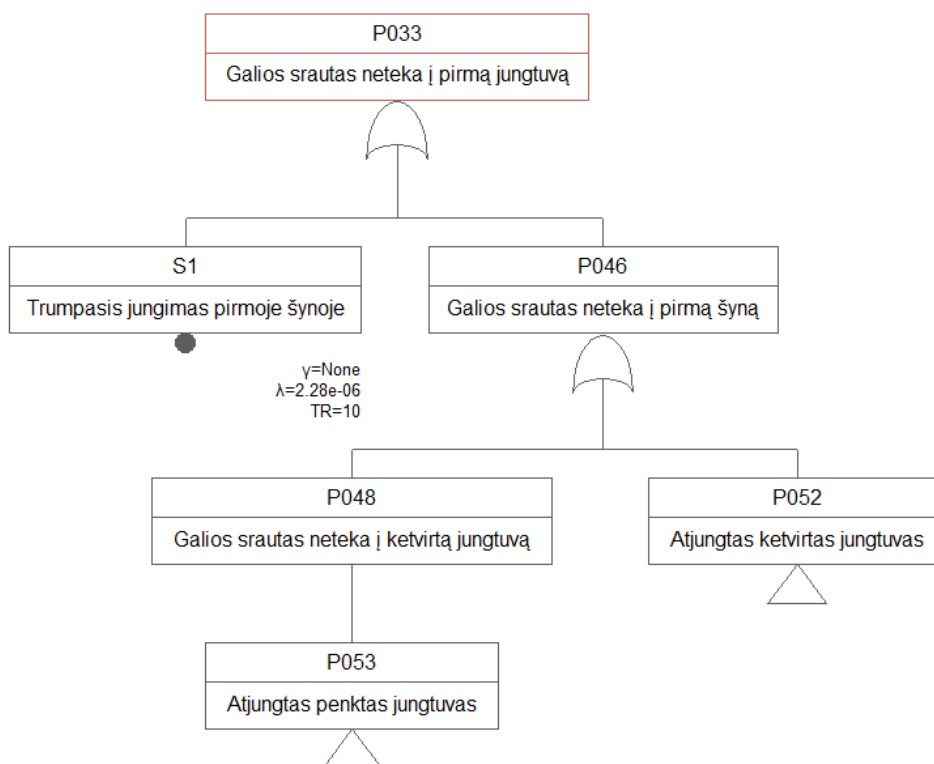


2.16 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas antras jungtuvas“ gedimų medis



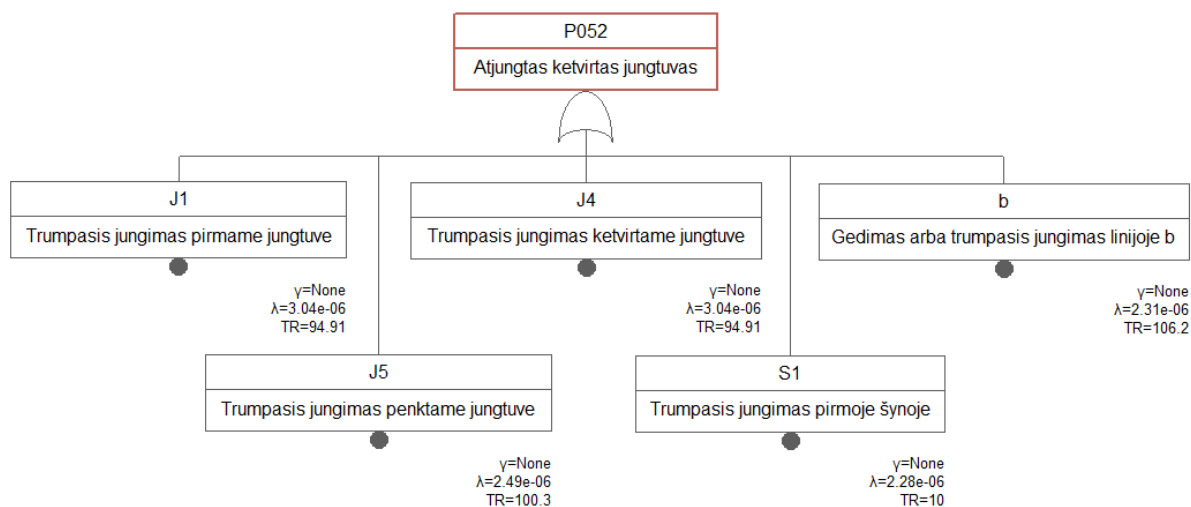
2.17 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas pirmas jungtuvas“ gedimų medis

Sumodeliuoti tarpiniai įvykiai „atjungtas antras jungtuvas“ ir „atjungtas pirmas jungtuvas“, pavaizduoti paveiksluose 2.16 ir 2.17, susideda iš penkių bazinių įvykių, iš kurių keturi, įvyksta suveikus apsaugoms ir joms atjungiant nagrinėjamą jungtuvą dėl gedimų gretimuose elementuose, o vienas įvykis yra pačio jungtuvo gedimas dėl trumpojo jungimo. Toliau modelio analizė tęsiama grįžtant prie įvykio „galios srautas neteka į pirmą jungtuvą“ (paveikslas 2.18). Analizuojant modelį tuo pačiu principu, kaip ir prieš tai, šio nepageidaujamo tarpinio įvykio priežastis gali būti įvykiai „trumpasis jungimas pirmoje šnyoje“ arba įvykis „galios srautas neteka į pirmą šyną“, kas yra galios srauto nutraukimo atvejis, net tuomet, kai komponentas sveikas.

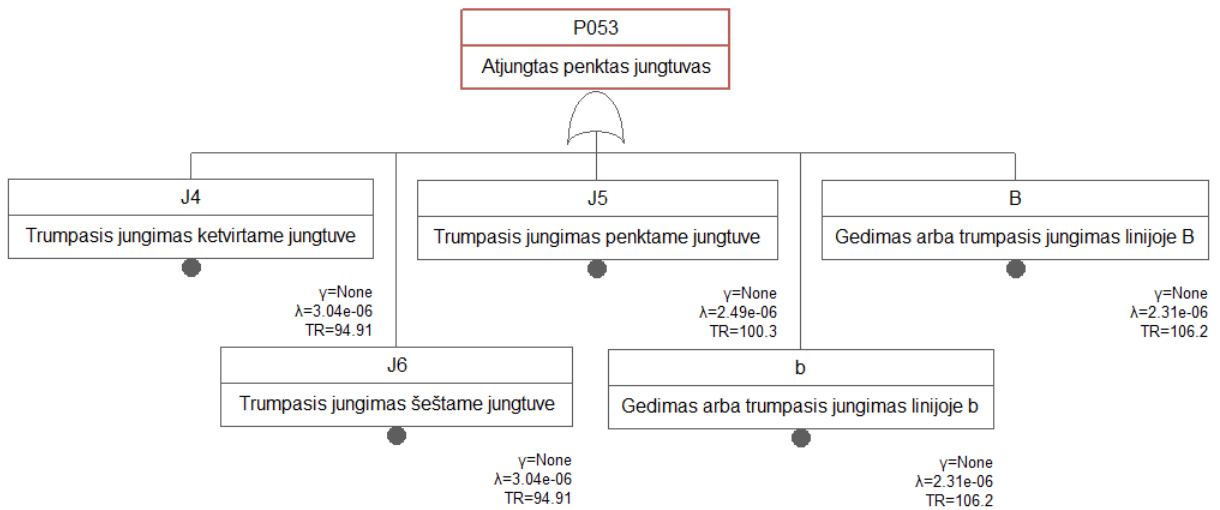


2.18 pav. Įvykio „galios srautas neteka į pirmą jungtuvą“ gedimų medis

Analizė tęsiama atsižvelgiant į galios srauto tekėjimo kryptį ir sustabdoma ties tašku, kuomet energija nėra tiekama iš generavimo šaltinio linijos B, tai yra, ties tarpiniu įvykiu „atjungtas penktas jungtuvas“ (paveikslai 2.18 ir 2.20). Galios srauto nepatiekimas į penktą jungtuvą, kai jis veikia, yra priskiriamas įvykiui „atjungtas penktas jungtuvas“ ir yra nevertinamas, nes gedimų medžio apačioje visos galimos galios srauto nepatiekimo į penktą jungtuvą priežastys yra įtraukiamos į šį tarpinį įvykį, kuris neturi būti kartojamas.



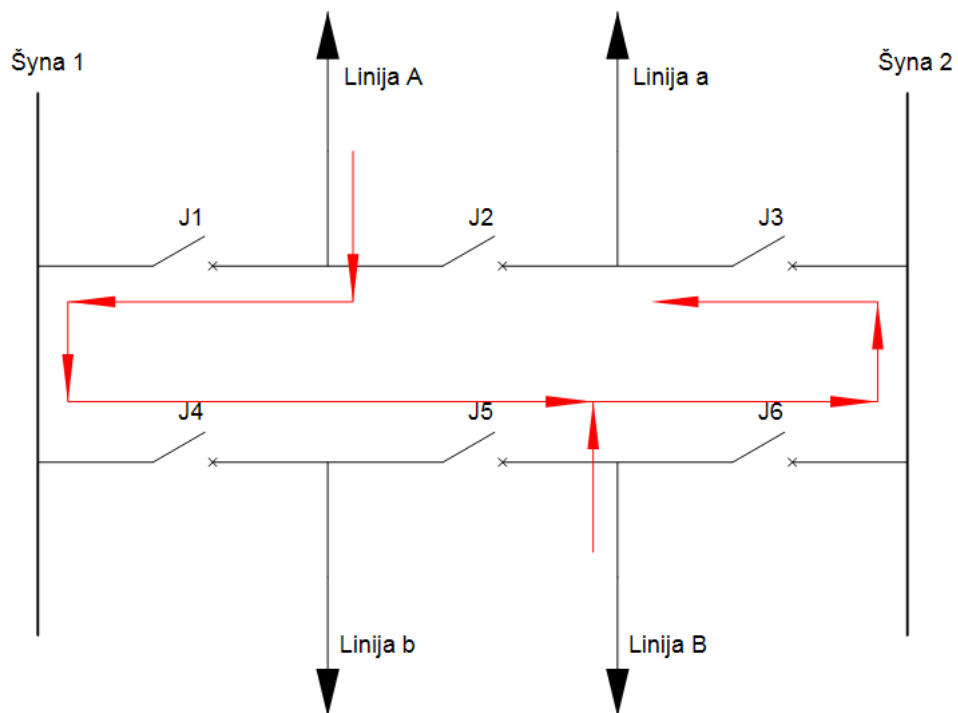
2.19 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas ketvirtas jungtuvas“ gedimų medis



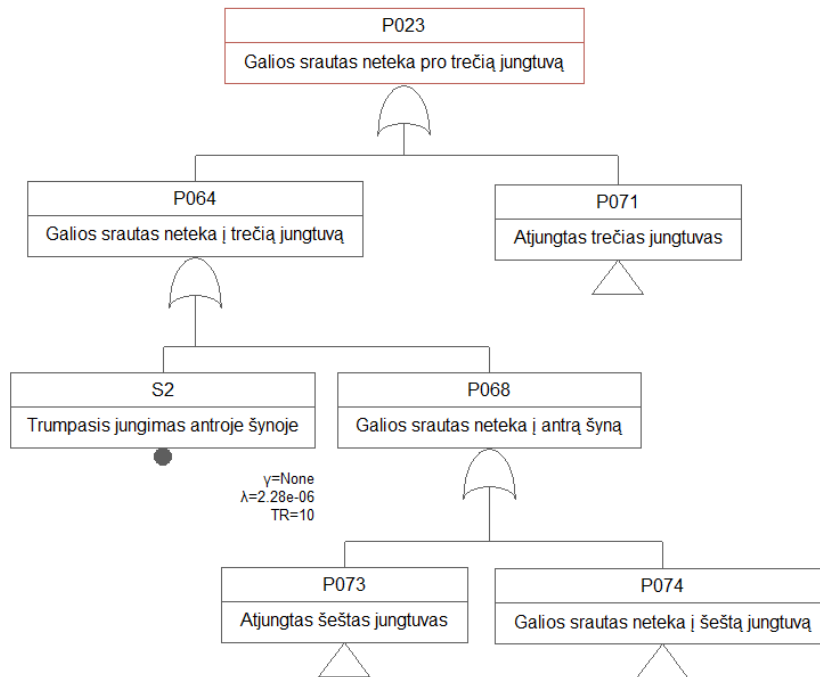
2.20 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas penktas jungtuvas“ gedimų medis

Svarbu pažymėti tai, kad modelyje, pavaizduotame paveiksle 2.13, po įvykiu „galios srautas neteka į liniją a“, du tarpiniai įvykiai „galios srautas neteka pro antrą jungtuvą“ ir „galios srautas neteka pro trečią jungtuvą“ yra sujungti logine jungtimi „IR“.

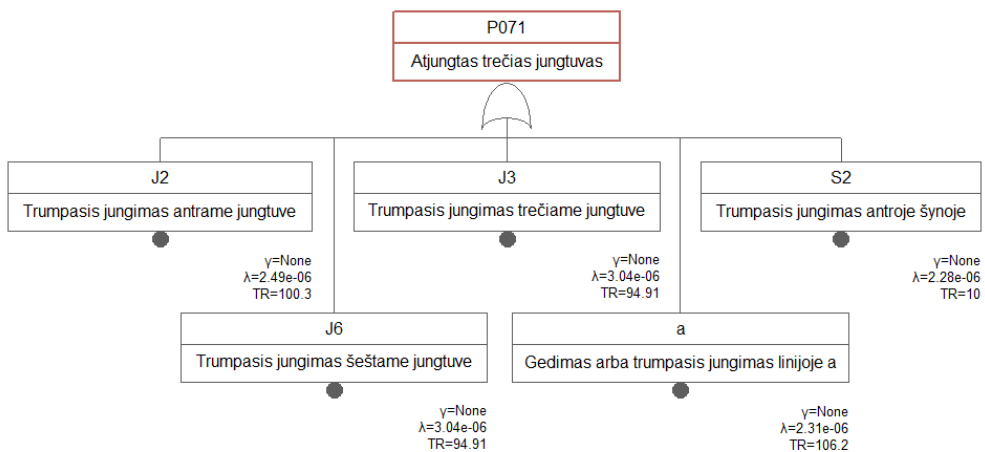
Analizuojamas tarpinis įvykis „galios srautas neteka pro trečią jungtuvą“. Šis įvykis analizuojamas tokia pačia tvarka, kaip ir prieš tai aptartas įvykis „galios srautas neteka pro antrą jungtuvą“, šiuo atveju laikant, kad galios srautas teka prieš laikrodžio rodyklę (paveikslas 2.21). Trečio jungtuvo šakos gedimų medžio modelis, sudarytas programoje „Arbre Analyste“, pateikiamas 2.22 paveiksle.



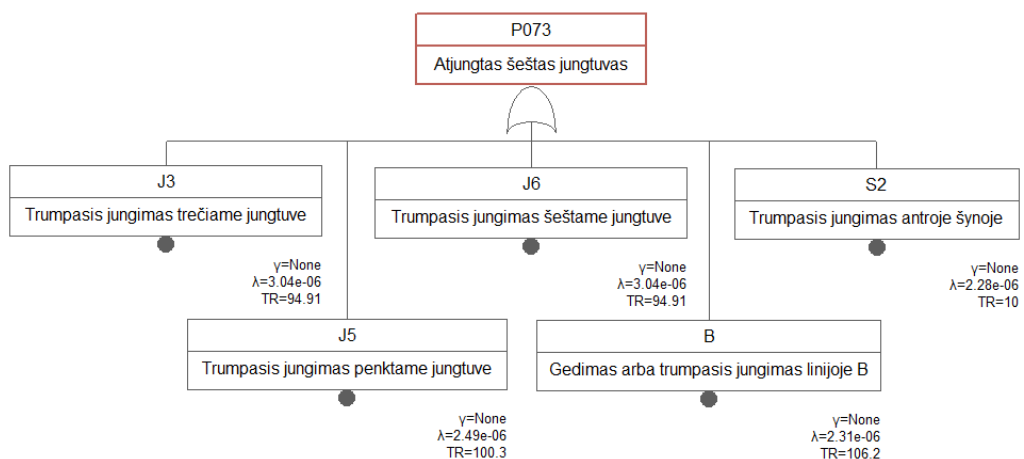
2.21 pav. Galios srauto tekėjimo kryptis pro trečią jungtuvą iš abiejų šaltinių linijų supaprastintoje pusantrų jungtuvo schemoje



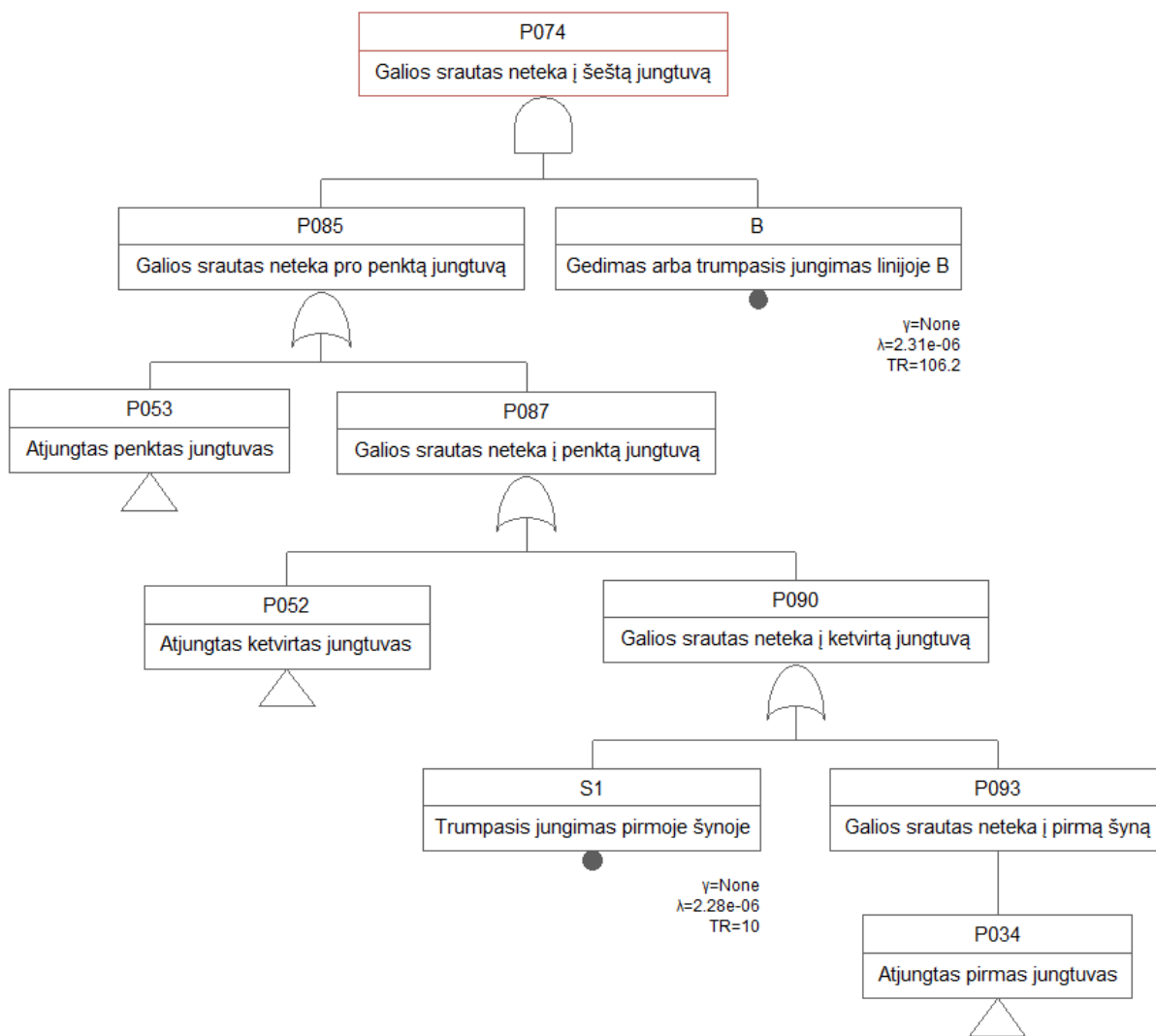
2.22 pav. Galios srauto netekėjimo pro trečią jungtuvą gedimų medis



2.23 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas trečias jungtuvas“ gedimų medis



2.24 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas šeštas jungtuvas“ gedimų medis



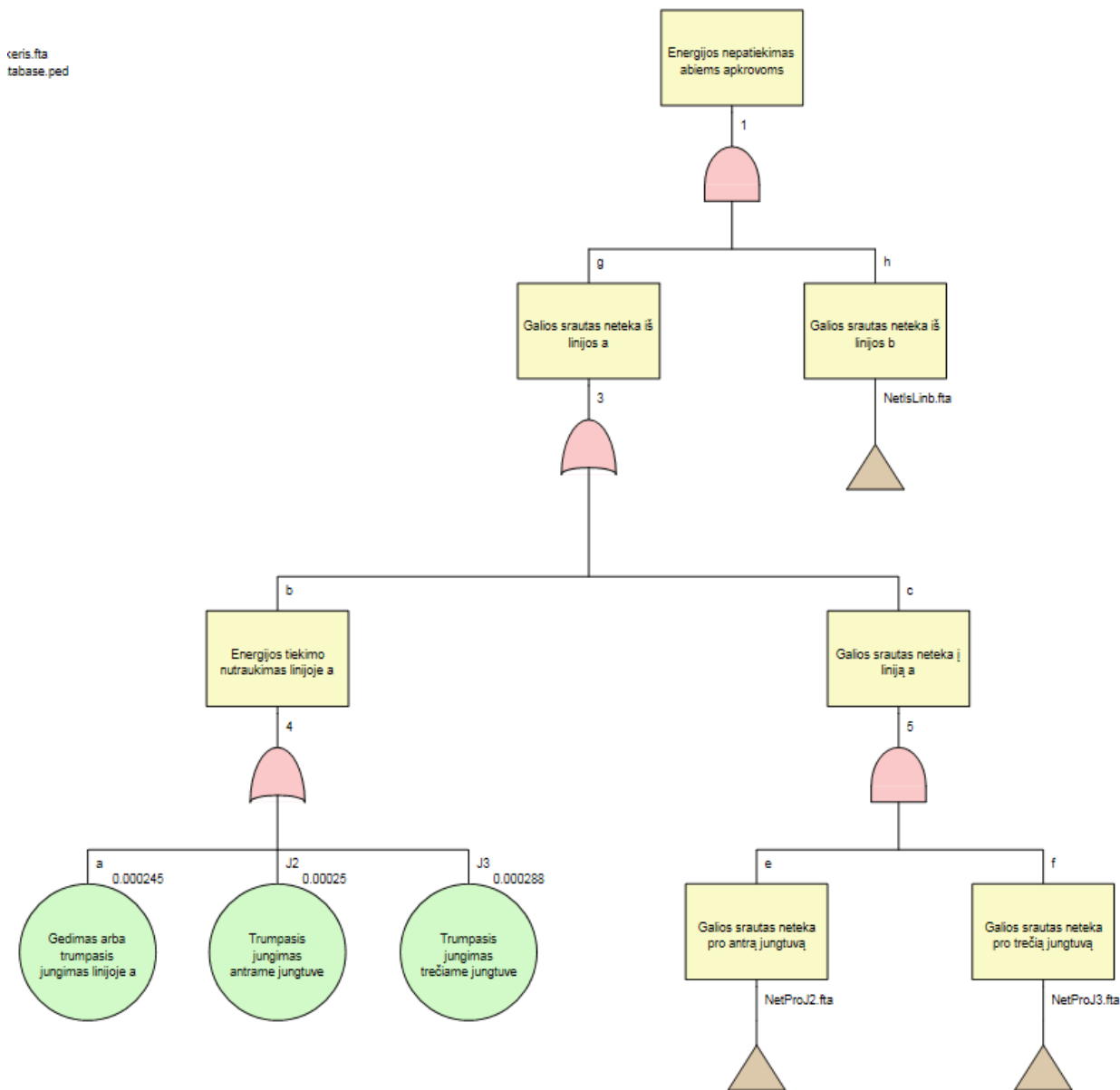
2.25 pav. Įvykio „galios srautas neteka į šeštą jungtuvą“ gedimų medis

Tolesni tarpiniai įvykiai, tarp jų ir pavaizduoti paveiksluose 2.24 ir 2.25 analizuojami bei modeliuojami tuo pačiu principu, kaip ir prieš tai nagrinėti gedimų medžio įvykiai. Gedimų medžio modelis linijai b sudaromas tokiu pačiu principu, kaip ir prieš tai aprašytas linijai a ir yra pateiktas pirmame priede.

2.4. Transformatorių pastotės pusantro jungtuvo schemos analizė gedimų medžio metodu su programa „OpenFTA“

Aukštos įtampos transformatorių pastočių schemų modeliavimas programa „OpenFTA“, atliekant gedimų medžio analizę, suteikia galimybę ne tik atlikti pagrindinį gedimo tikimybės vertinimą, bet ir atlikti išsamesnę analizę Monte - Karlo metodu, kuris negali būti atliekamas daugeliu kitų programų.

Gedimų medžio modeliavimas programa „OpenFTA“ atliekamas tuo pačiu principu, kaip ir prieš tai atliktas programa „Arbre Analyste“. Visi nagrinėjami įvykiai (medžio šakos) sudaromi visiškai taip pat, kaip prieš tai programa „Arbre Analyste“. Dėl šios priežasties ir numatomos didelės darbo apimties gedimų medžio modeliavimas programa „OpenFTA“ pagrindinėje darbo dalyje nėra vaizduojamas, o pateiktas antrame priede. Paveiksle 2.26 pavaizduotas tik supaprastintos pusantro jungtuvo schemos baigiamojo įvykio gedimų medis, sudarytas su programa „OpenFTA“.

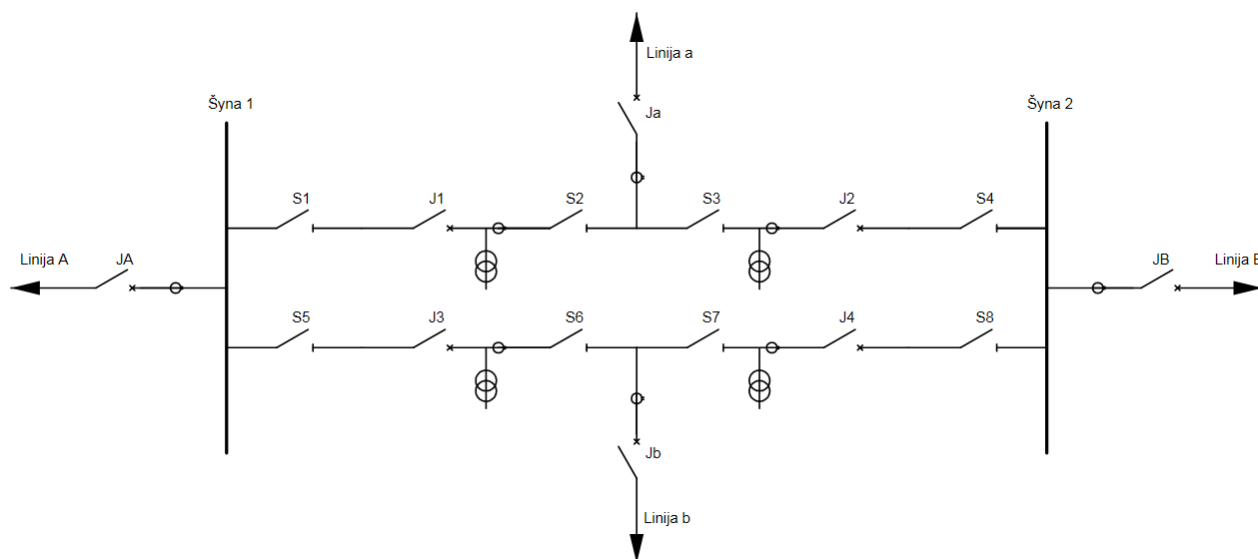


2.26 pav. Supaprastintos pusantro jungtuvo schemos baigiamojo įvykio gedimų medis

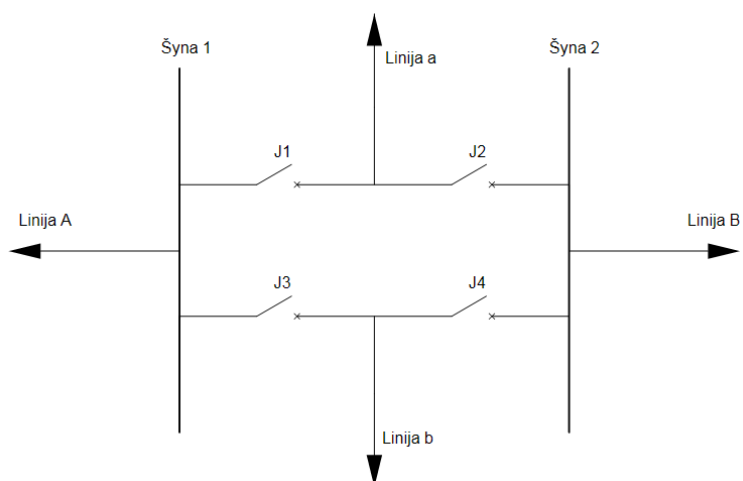
2.5. Transformatorių pastotės daugiakampio su keturiais jungtuvais schemos analizė gedimų medžio metodu su programa „Arbre Analyste“

Naudojant programą „Arbre Analyste“ gedimų medžio metodu nagrinėjamas pastotės daugiakampio su keturiais jungtuvais schemos patikimumas. Šios schemos patikimumo analizė atliekama tokiu pačiu principu, kaip ir pusantro jungtuvo schemos analizė. Svarbu pažymėti, kad visos prielaidos, kurios buvo nustatytos nagrinėjant pusantro jungtuvo schemą, galioja ir nagrinėjamai daugiakampio schemai.

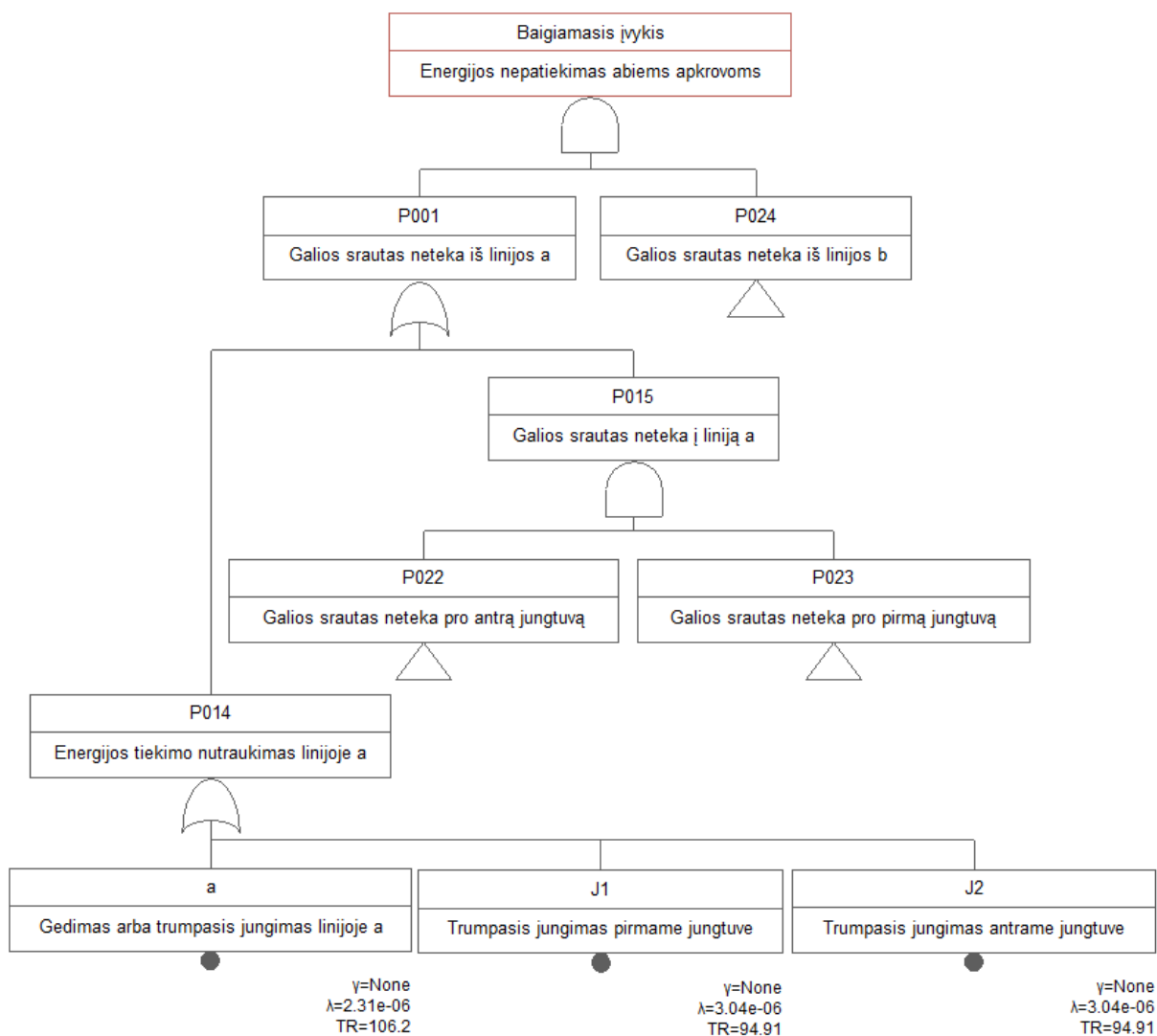
Darbe analizuojama daugiakampio su keturiais jungtuvais schema pateikiama 2.27 paveiksle. Kiekvienos zonos gedimų medžiai atitinka sudarytus pusantro jungtuvo schemai ir yra pateikti 2.11 paveiksle. Kad būtų paprasčiau atlikti modeliavimą, kaip jau minėta, bus naudojama supaprastinta daugiakampio su keturiais jungtuvais schema, kuri pateikiama 2.28 paveiksle.



2.27 pav. Transformatorių pastotės daugiakampio su keturiais jungtuvais schema



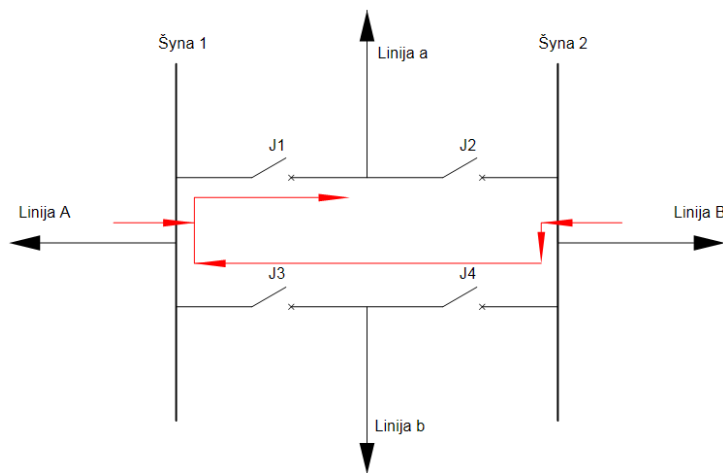
2.28 pav. Supaprastinta daugiakampio su keturiais jungtuvais schema



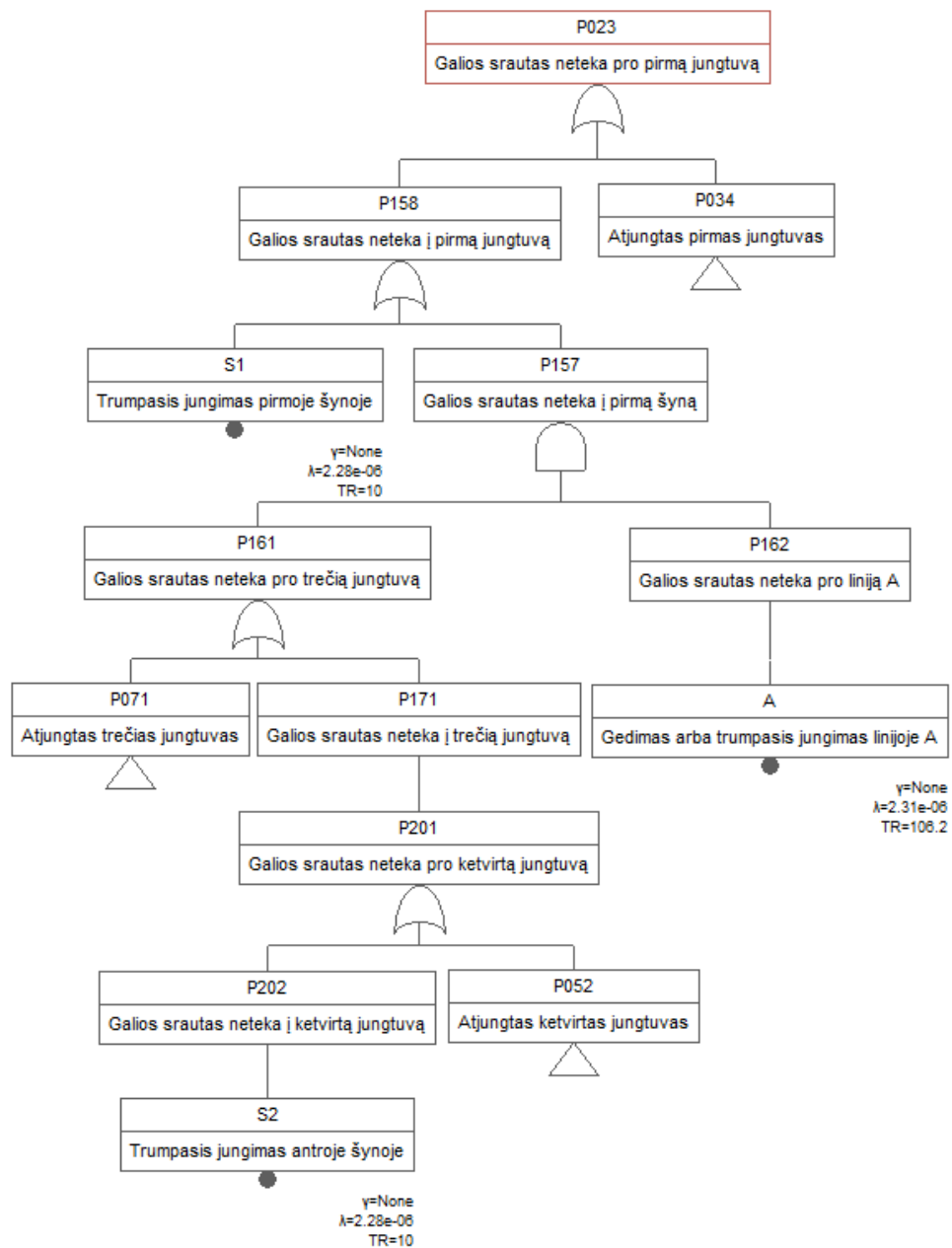
2.29 pav. Supaprastintos daugiakampio su keturiais jungtuvais schemos baigiamojo įvykio gedimų medis

Baigiamasis įvykis yra apibrėžiamas kaip „energijos nepatiekimas abiem apkrovoms“ (2.29 paveikslas) ir jis įvyksta tada, kai energija nebeteka iškart dvejomis išeinančiomis linijomis, tai yra, kai jos atsijungusios arba sugedusios. Kadangi abi apkrovų linijos schemoje išdėstytos simetriškai, tai detali analizė atliekama tik linijai a, o linijos b gedimų medžio modelis sudarytas programa „Arbre Analyste“ pateikiamas trečiame priede.

Atliekant modeliavimą, laikomasi tokios pačios tvarkos, kaip ir sudarant pusantrą jungtuvo schemos modelį. Galios srauto nutraukimą komponente gali sukelti dvi tiesioginės priežastys – „trumpasis jungimas arba gedimas komponente“ ir „galios srautas neteka į komponentą“. Nagrinėjamu atveju du veiksniai tiesiogiai sukelia įvykį „galios srautas neteka iš linijos a“, kurie yra „galios srautas neteka į liniją a“ ir „energijos tiekimo nutraukimas linijoje a“. Galios srautas į liniją a gali tekėti pro pirmą arba pro antrą jungtuvus.

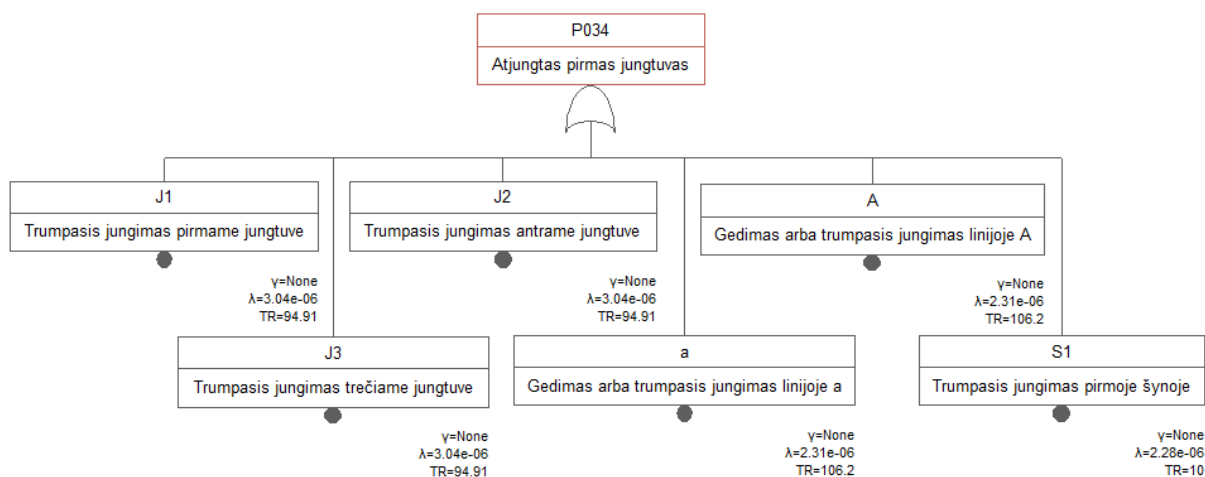


2.30 pav. Galios srauto tekėjimo kryptis pro pirmą jungtuvą iš abiejų šaltinių linijų supaprastintoje daugiakampio su keturiais jungtuvais schemoje

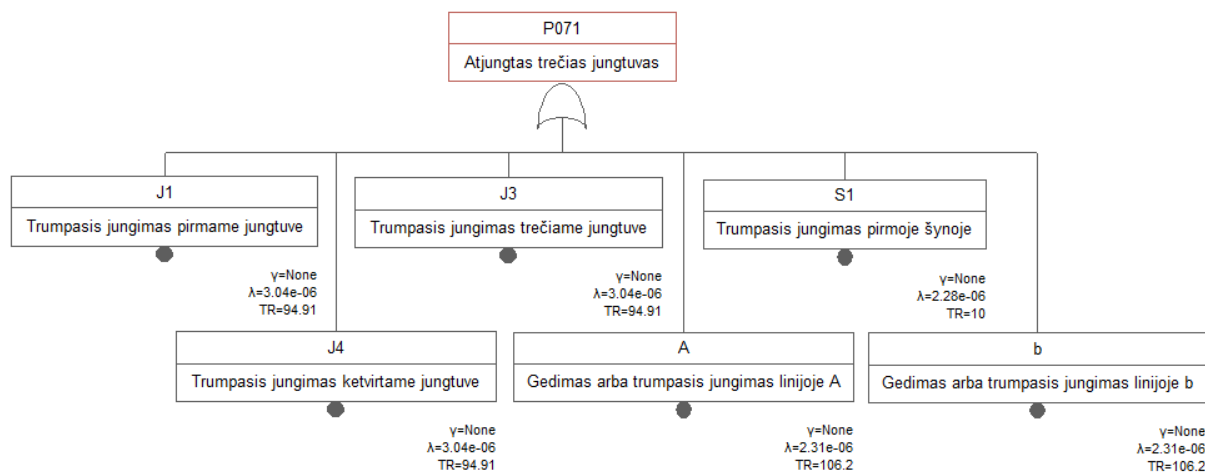


2.31 pav. Galios srauto netekėjimo pro pirmą jungtuvą gedimų medis

Galios srauto tekėjimo kryptis pro pirmą jungtuvą iš abiejų energijos šaltinių pavaizduotas 2.30 paveiksle. Toliau tęsiant modelio analizę (paveikslas 2.31) nustatoma, kad tiesioginės įvykio „galios srautas neteka pro pirmą jungtuvą“ priežastys yra įvykis „atjungtas pirmas jungtuvas“, kuris susideda iš šešių bazinių įvykių (paveikslas 2.32) ir įvykis „galios srautas neteka į pirmą jungtuvą“. Šio įvykio priežastys yra įvykiai „trumpasis jungimas pirmoje šynoje“ ir „galios srautas neteka į pirmą šyną“, kuris nusako situaciją, kai vienu metu įvyksta įvykiai „galios srautas neteka pro trečią jungtuvą“ ir „galios srautas neteka pro liniją A“, kas nusako, kad šioje linijoje įvyko gedimas arba trumpasis jungimas.



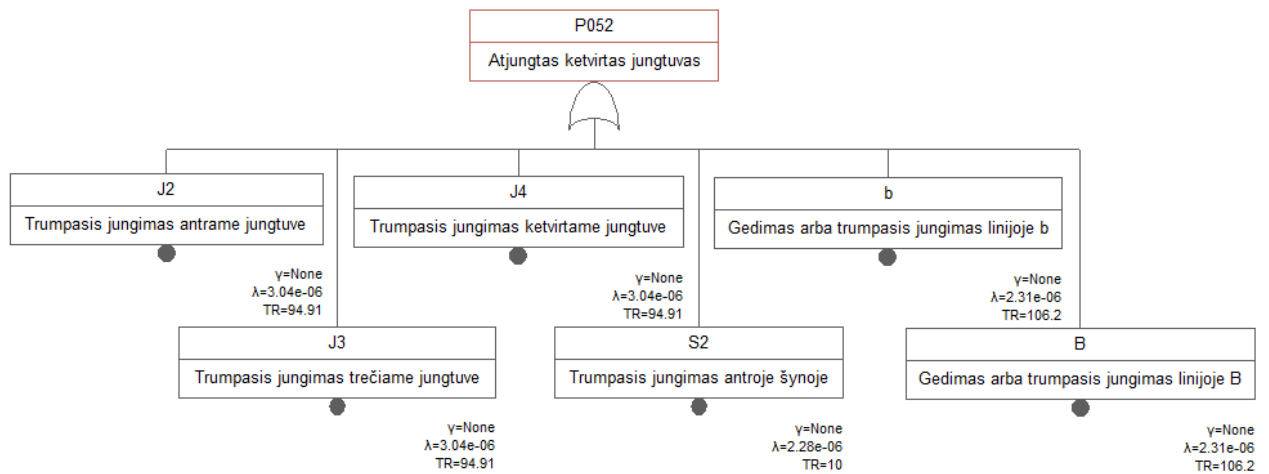
2.32 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas pirmas jungtuvas“ gedimų medis



2.33 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas trečias jungtuvas“ gedimų medis

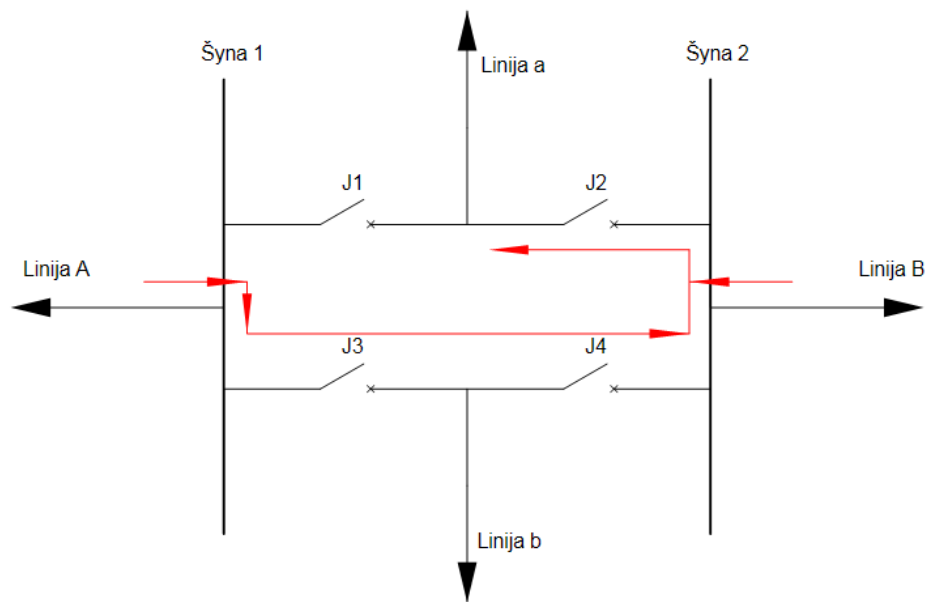
Toliau modelio analizė tęsiama grįžtant prie įvykio „galios srautas neteka pro trečią jungtuvą“, kurį sukelia įvykiai „atjungtas trečias jungtuvas“, pavaizduotas paveiksle 2.33, ir „galios srautas neteka į trečią jungtuvą“. Pastarojo tarpinio įvykio priežastimi yra įvykis „galios srautas neteka pro ketvirtą jungtuvą“, o jo priežastimis gali būti įvykiai „atjungtas ketvirtas

jungtuvas“ (2.34 paveikslas) arba „galios srautas neteka į ketvirtą jungtuvą“, kuri sukelia bazinis įvykis „trumpasis jungimas antroje šynoje“. Analizė sustabdoma ties tašku, kuomet energija nėra tiekama iš generavimo šaltinio linijos B.

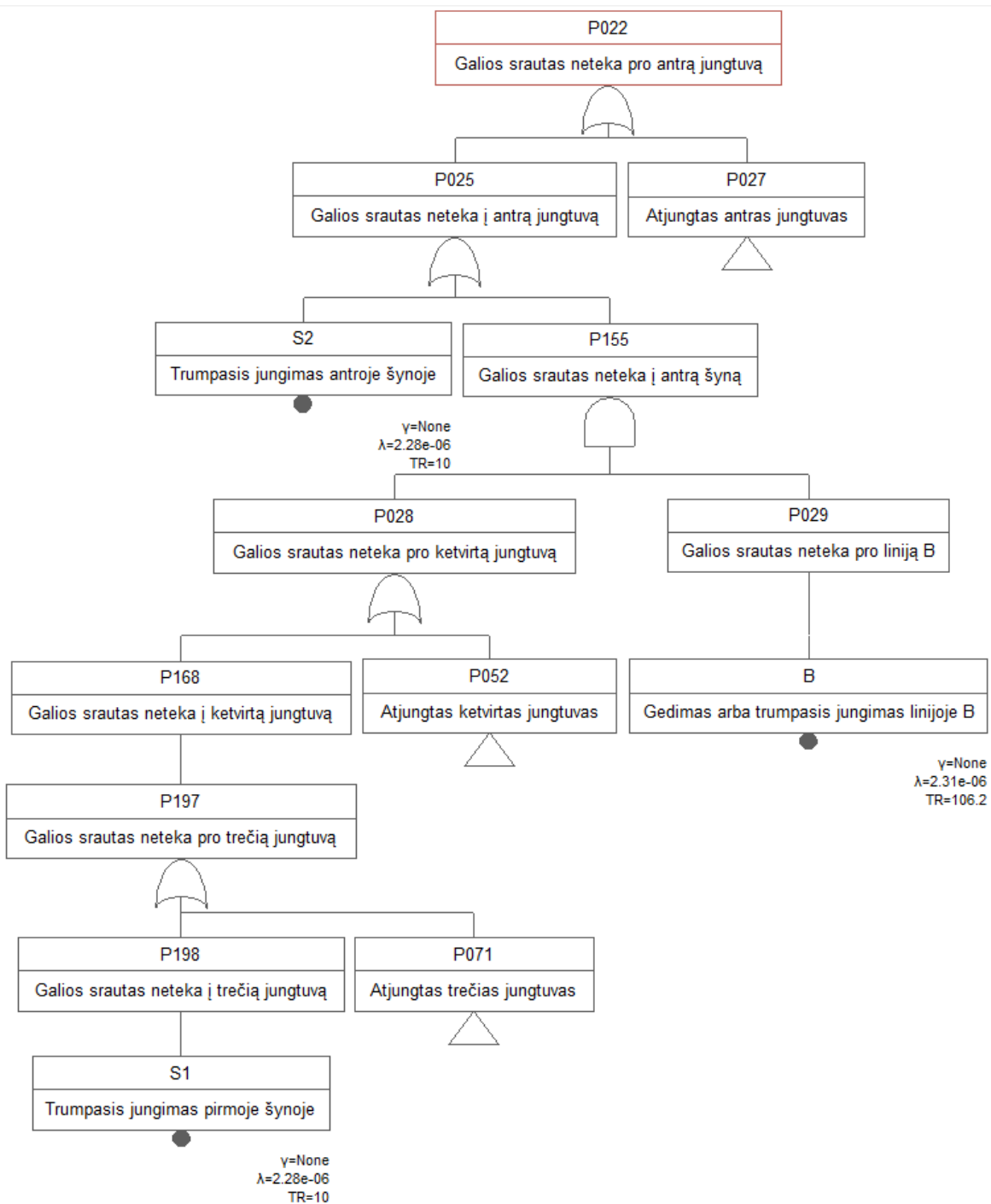


2.34 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas ketvirtas jungtuvas“ gedimų medis

Analizuojamas tarpinis įvykis „galios srautas neteka pro antrą jungtuvą“. Šis įvykis analizuojamas tokia pačia tvarka, kaip ir prieš tai aptartas įvykis „galios srautas neteka pro pirmą jungtuvą“, šiuo atveju laikant, kad galios srautas teka prieš laikrodžio rodyklę (paveikslas 2.35). Antro jungtuvo šakos gedimų medžio modelis, sudarytas programoje „Arbre Analyste“, pateikiamas 2.36 paveiksle.

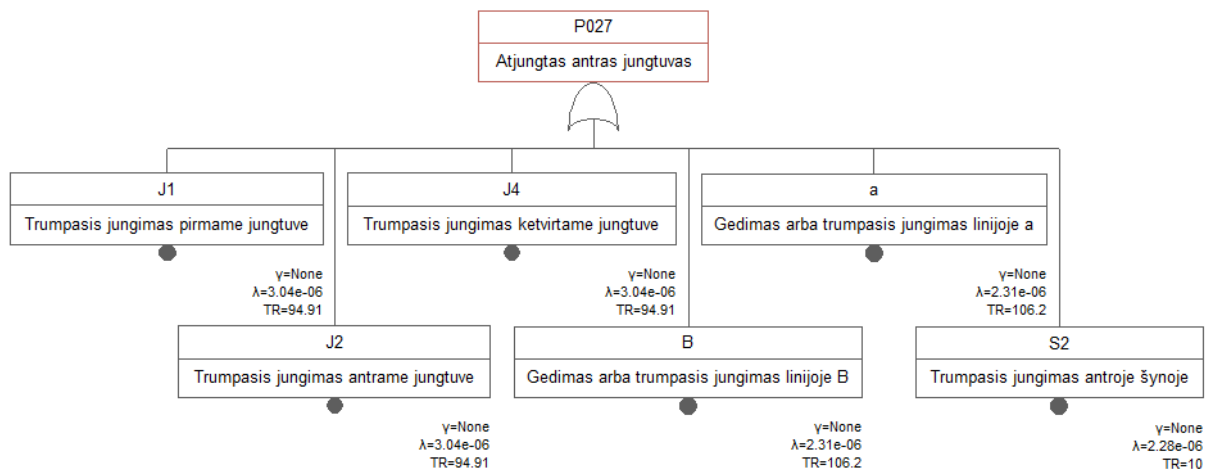


2.35 pav. Galios srauto tekėjimo kryptis pro antrą jungtuvą iš abiejų šaltinių linijų supaprastintoje daugiakampio su keturiais jungtuvais schemoje



2.36 pav. Galios srauto netekėjimo pro antrą jungtuvą gedimų medis

Sumodeliuoti tarpiniai įvykiai „atjungtas pirmas jungtuvas“, „atjungtas trečias jungtuvas“ ir „atjungtas ketvirtas jungtuvas“, kaip ir „atjungtas antras jungtuvas“ pavaizduotas 2.37 paveiksle, susideda iš šešių bazinių įvykių, iš kurių penki yra sukelti gedimų gretimuose schemos įrenginiuose ir tik vienas įvykis yra pačio jungtuvo gedimas dėl trumpojo jungimo.



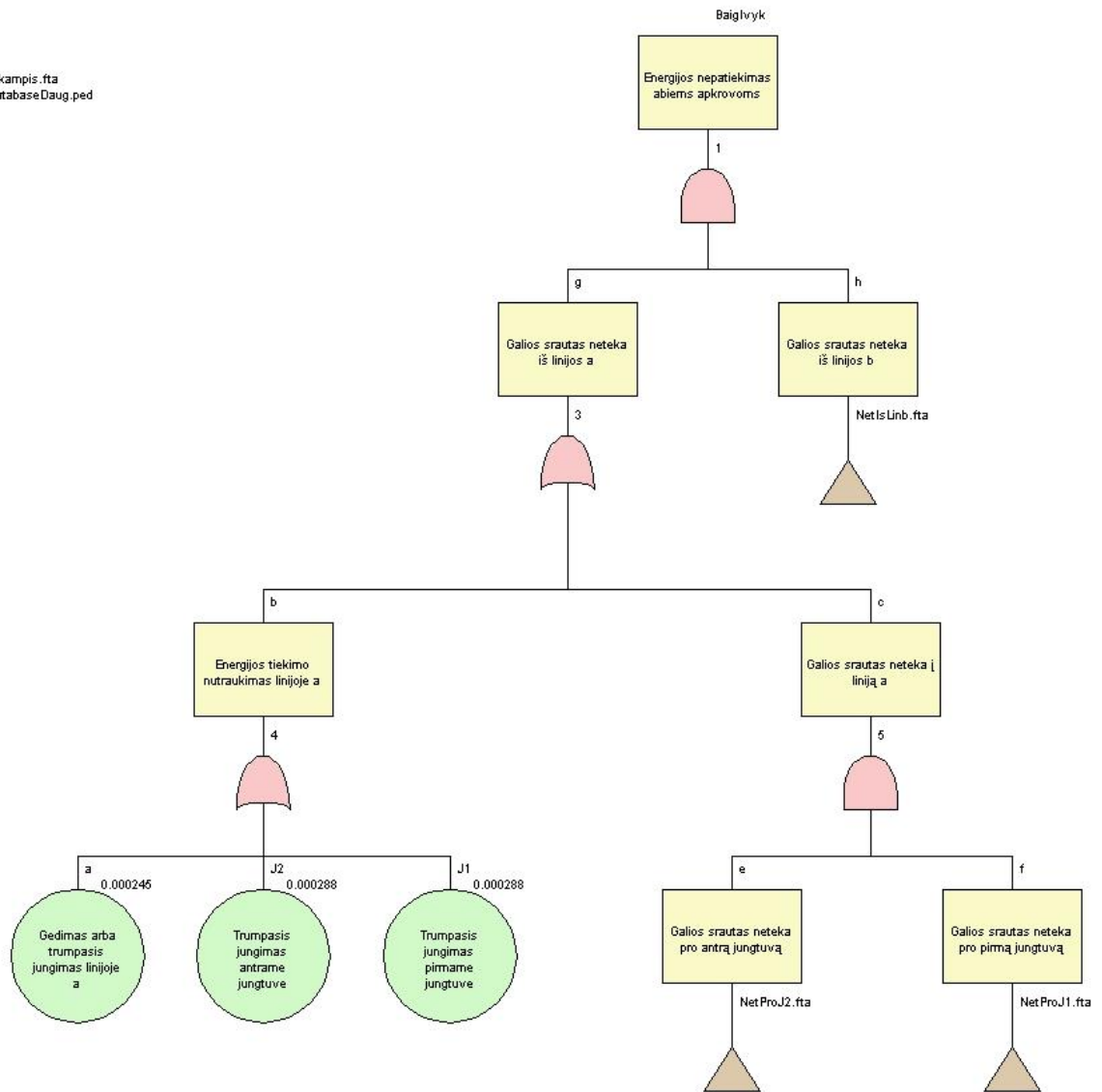
2.37 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas antras jungtuvas“ gedimų medis

Gedimų medžio modelis linijai b sudaromas tokiu pačiu principu, kaip ir prieš tai aprašytas linijai a ir yra pateiktas trečiame priede.

2.6. Transformatorių pastotės daugiakampio su keturiais jungtuvais schemos analizė gedimų medžio metodu su programa „OpenFTA“

Gedimų medžio modeliavimas programa „OpenFTA“ atliekamas tuo pačiu principu, kaip ir prieš tai atliktas programa „Arbre Analyste“. Visi nagrinėjami įvykiai (medžio šakos) sudaromi visiškai taip pat, kaip prieš tai programa „Arbre Analyste“. Dėl šios priežasties ir numatomos didelės darbo apimties gedimų medžio modeliavimas programa „OpenFTA“ pagrindinėje darbo dalyje nėra vaizduojamas, o pateiktas ketvirtame priede. Paveiksle 2.38 pavaizduotas tik supaprastintos daugiakampio su keturiais jungtuvais schemos baigiamojo įvykio gedimų medis, sudarytas su programa „OpenFTA“.

Tree: Daugiakampis.fta
 Database: databaseDaug.ped

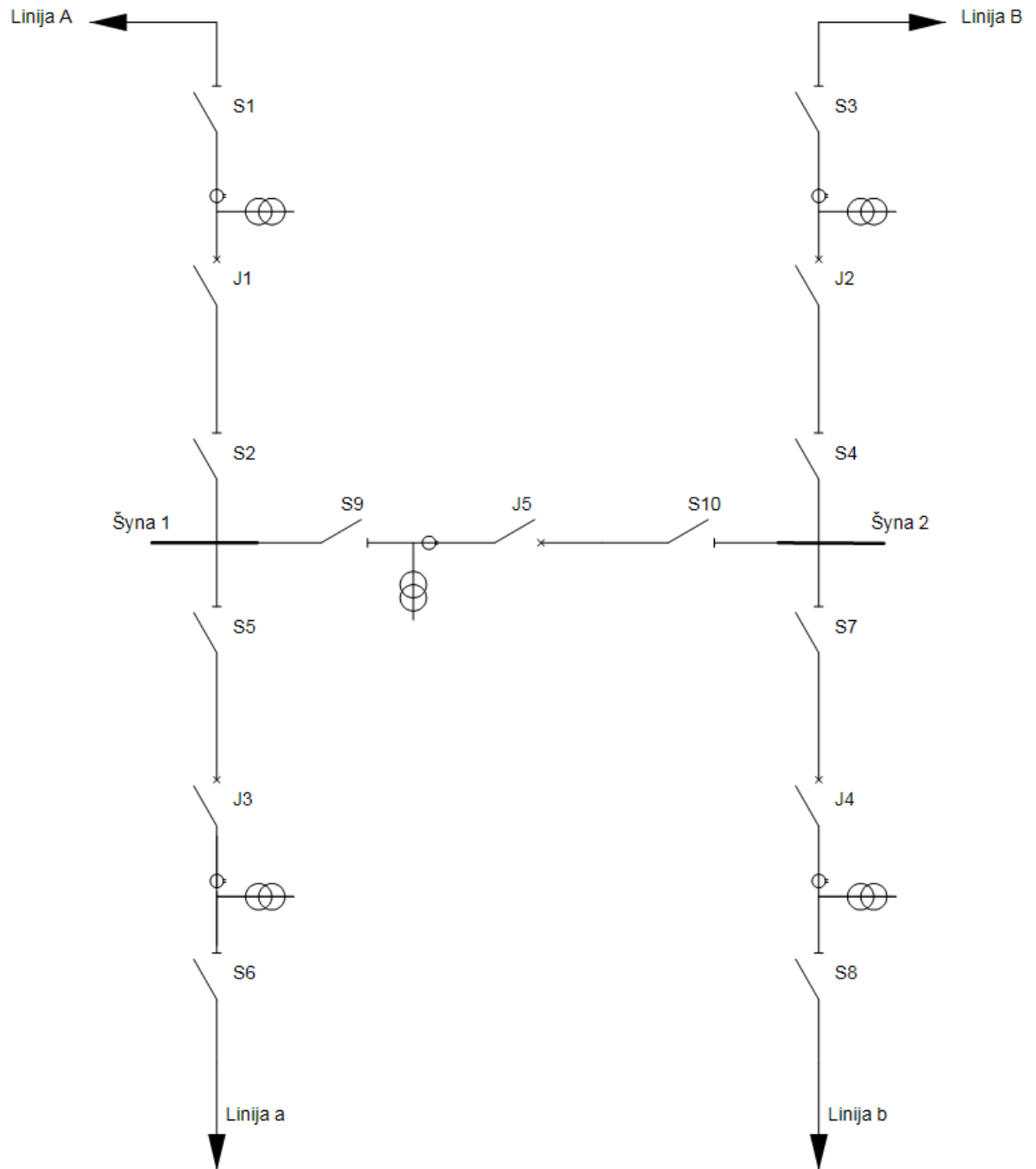


2.38 pav. Supaprastintos daugiakampio su keturiais jungtuvais schemas baigiamojo įvykio gedimų medis

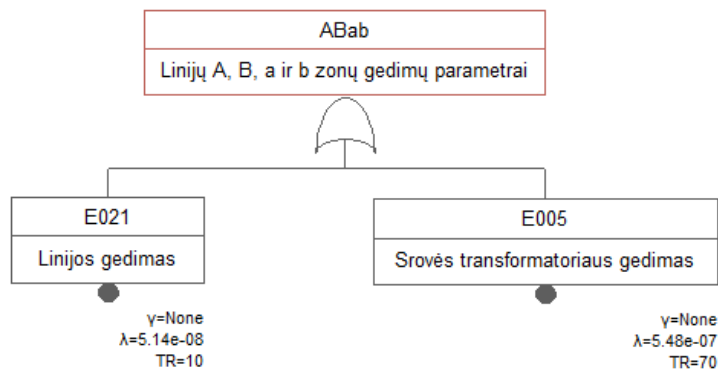
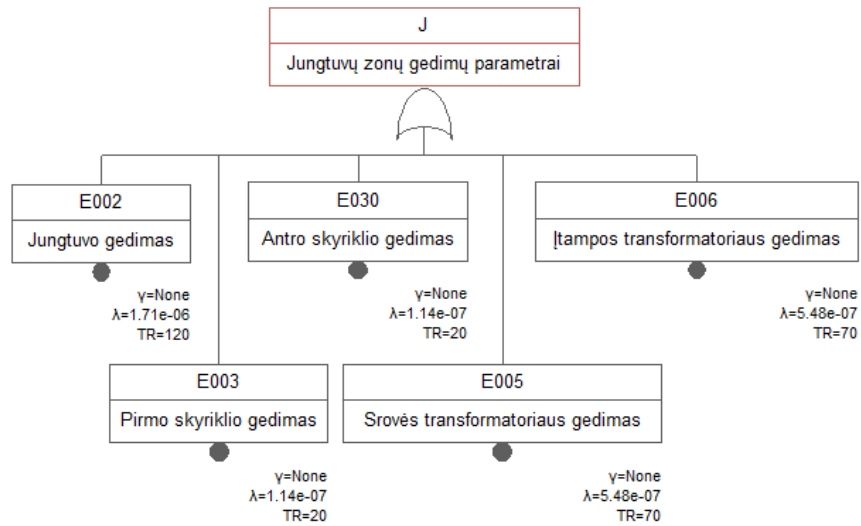
2.7. Transformatorių pastotės tranzitinės schemas analizė gedimų medžio metodu su programa „Arbre Analyste“

Naudojant programą „Arbre Analyste“ gedimų medžio metodu nagrinėjamas pastotės tranzitinės schemas patikimumas. Šios schemas patikimumo analizė atliekama tokiu pačiu principu, kaip ir pusanthro jungtuvo bei daugiakampio su keturiais jungtuvais schemų analizė. Svarbu pažymėti, kad visos prielaidos, kurios buvo nustatytos nagrinėjant pusanthro jungtuvo bei daugiakampio su keturiais jungtuvais schemas galioja ir nagrinėjamai tranzitinei schemei.

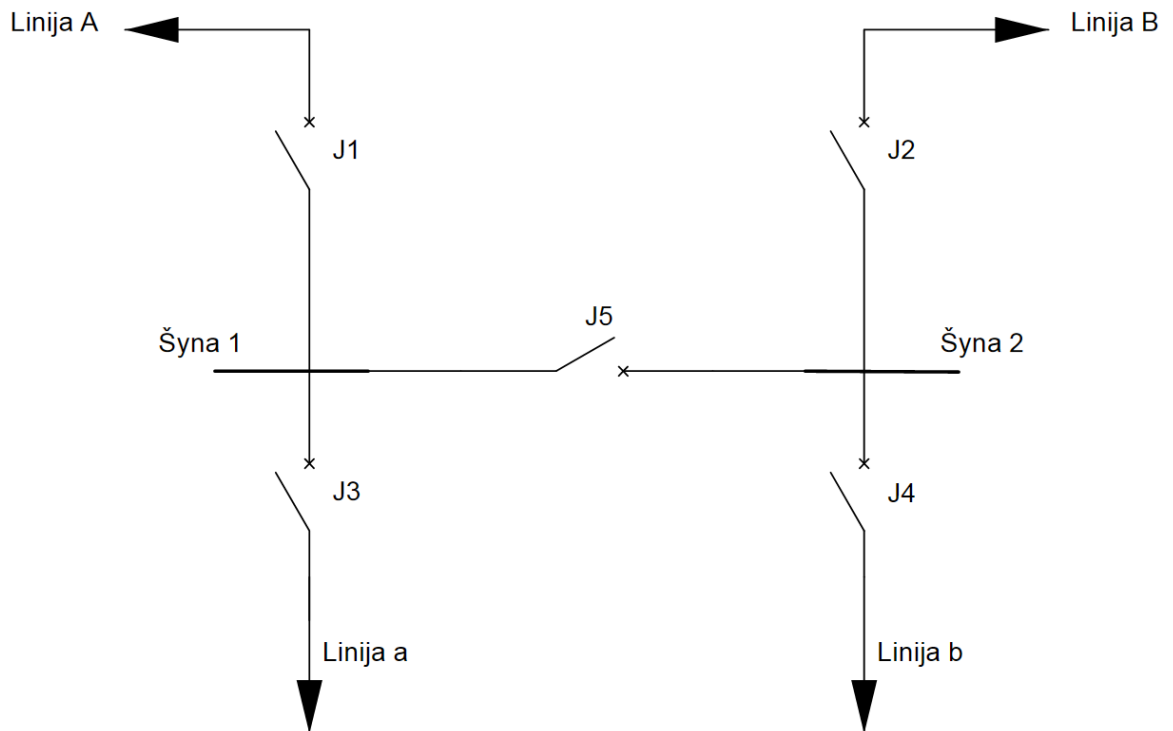
Darbe analizuojama tranzitinė schema pateikiama 2.39 paveiksle. Sudaryti kiekvienos zonos gedimų medžiai pateikiami paveiksle 2.40, kuriais remiantis suskaičiuojami zonų patikimumo rodikliai ir supaprastintoje tranzitinėje schemoje atitinka jungtuvų bei linijų patikimumo rodiklius. Kad būtų paprasčiau atlikti modeliavimą bus naudojama supaprastinta pastotės tranzitinė schema, kuri pateikiama 2.41 paveiksle.



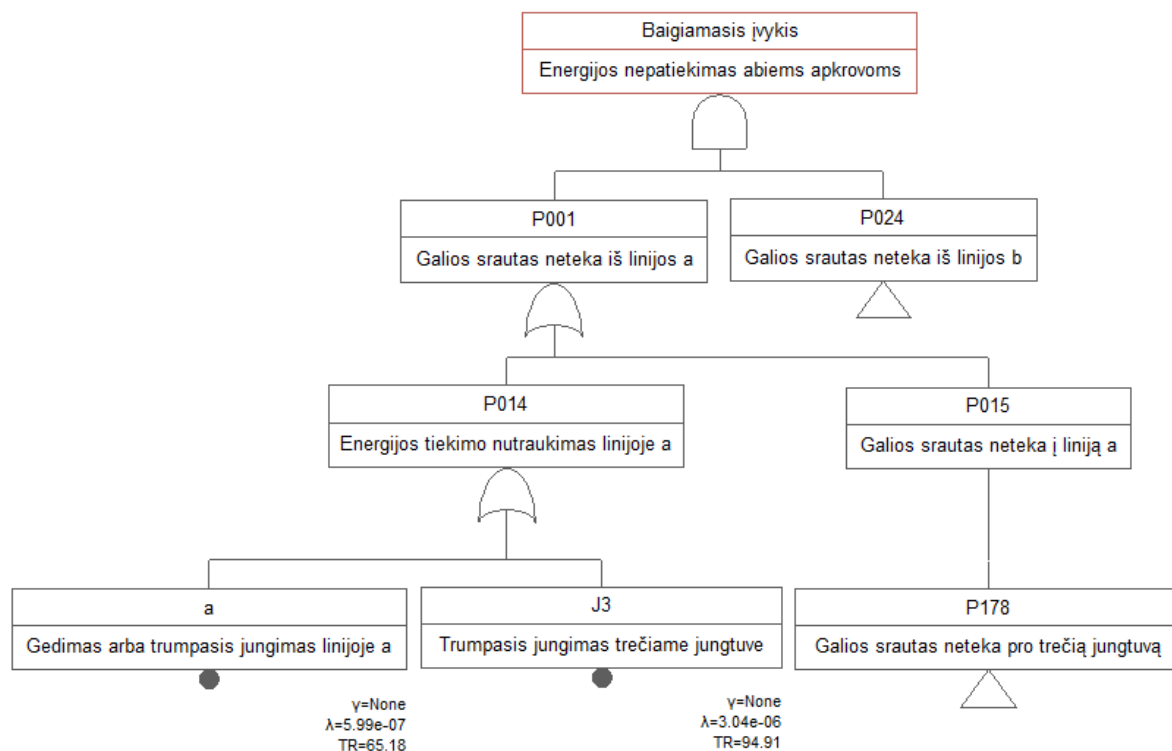
2.39 pav. Transformatorių pastotės tranzitinė schema



2.40 pav. Tranzitinės schemos zonų gedimų medžiai



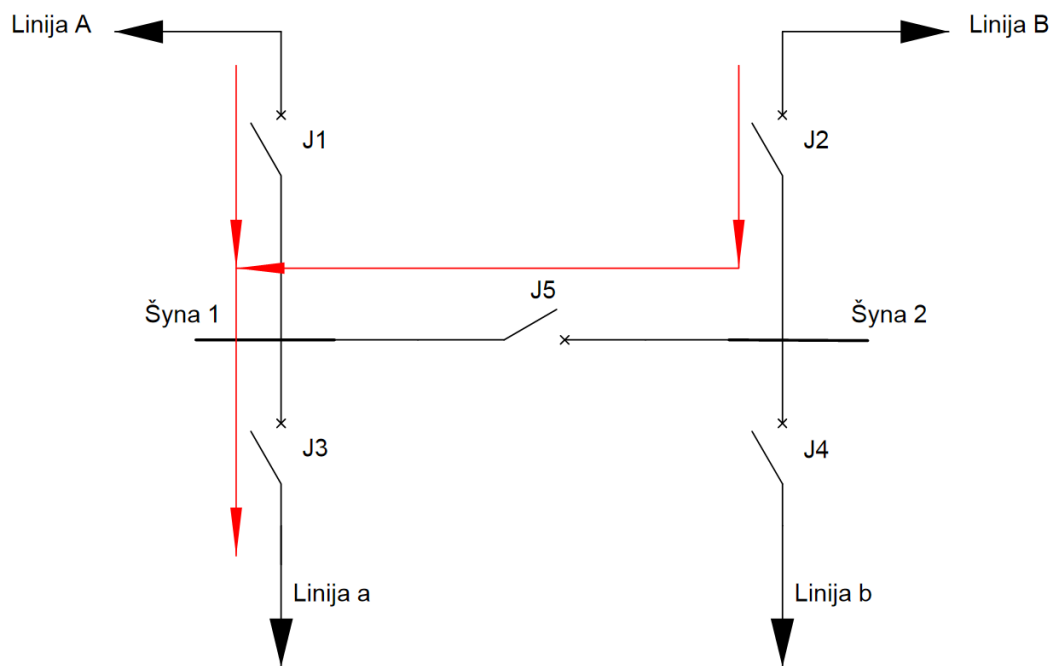
2.41 pav. Supaprastinta tranzitinė schema



2.42 pav. Supaprastintos tranzitinės schemos baigiamojo įvykio gedimų medis

Baigiamasis įvykis yra apibrėžiamas kaip „energijos nepatiekimas abiem apkrovoms“ (2.42 paveikslas) ir jis įvyksta tada, kai energija nebeteka iškart dvejomis išeinančiomis linijomis, tai yra, kai jos atsijungusios arba sugedusios. Kadangi abi apkrovų linijos schemoje išdėstytos simetriškai, tai detali analizė atliekama tik linijai a, o linijos b gedimų medžio modelis sudarytas programa „Arbre Analyste“ pateikiamas penktame priede.

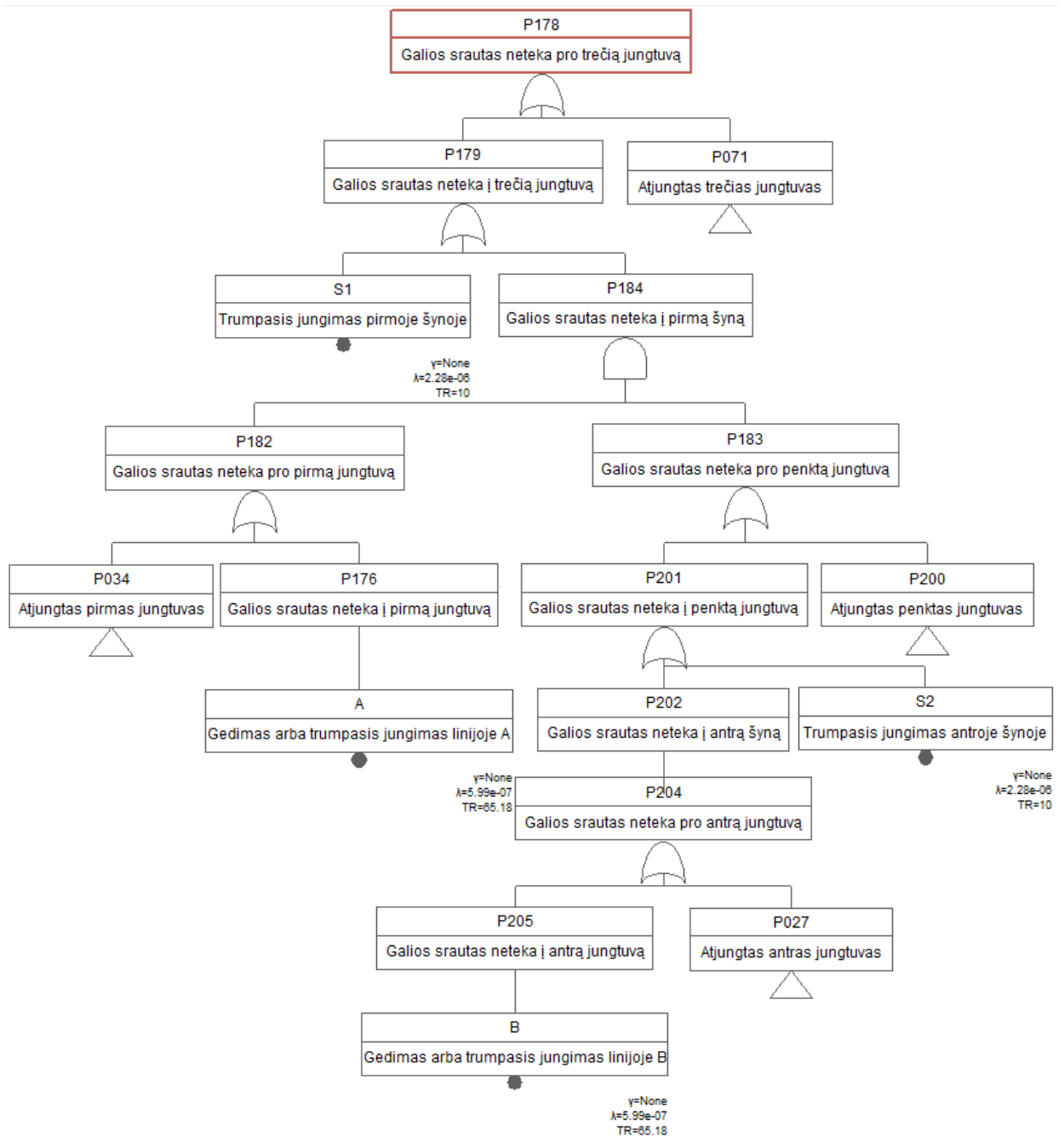
Atliekant modeliavimą laikomasi tokios pačios tvarkos, kaip ir sudarant pusantro jungtuvo bei daugiakampio su keturiais jungtuvais schemų modelius. Galios srauto nutraukimą komponente gali sukelti dvi tiesioginės priežastys - trumpasis jungimas arba gedimas komponente ir galios srautas neteka į komponentą. Nagrinėjamu atveju du veiksniai tiesiogiai sukelia įvykį „galios srautas neteka iš linijos a“, kurie yra „galios srautas neteka į liniją a“ ir „energijos tiekimo nutraukimas linijoje a“. Galios srautas į liniją a gali tekėti tik pro trečią jungtuvą.



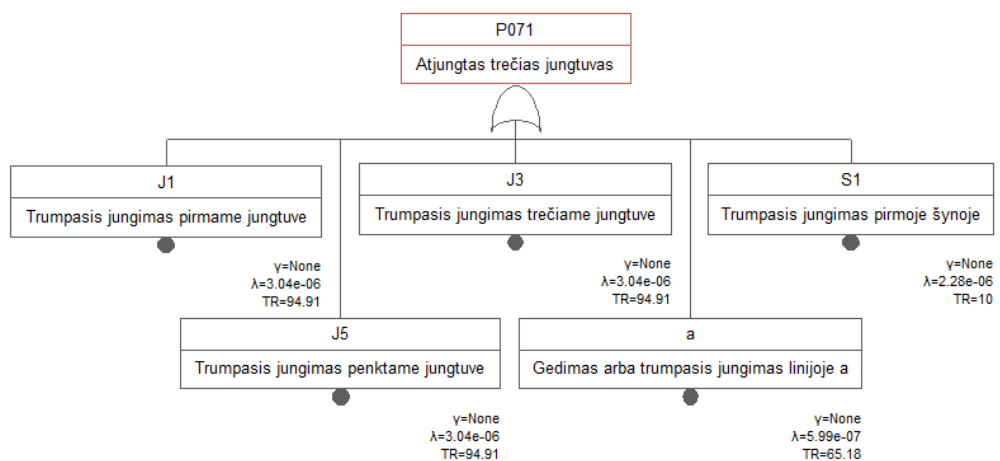
2.43 pav. Galios srauto tekėjimo kryptis pro trečią jungtuvą iš abiejų šaltinių linijų supaprastintoje tranzitinėje schemoje

Galios srauto tekėjimo kryptis pro trečią jungtuvą iš abiejų energijos šaltinių pavaizduotas 2.43 paveiksle. Toliau tęsiant modelio analizę (paveikslas 2.44), nustatoma, kad tiesioginės įvykio „galios srautas neteka pro trečią jungtuvą“ priežastys yra įvykis „atjungtas trečias jungtuvas“, kuris susideda iš penkių bazinių įvykių (paveikslas 2.45) ir įvykis „galios srautas neteka į trečią jungtuvą“. Šio įvykio priežastys yra įvykiai „trumpasis jungimas pirmoje šynoje“ ir „galios srautas neteka į pirmą šyną“, kuris nusako situaciją, kai vienu metu įvyksta įvykiai „galios srautas neteka pro pirmą jungtuvą“ ir „galios srautas neteka pro penktą jungtuvą“. Įvykį „galios srautas neteka pro pirmą jungtuvą“ sukelia įvykiai „atjungtas pirmas jungtuvas“, pavaizduotas paveiksle 2.46, ir „galios srautas neteka į pirmą jungtuvą“. Pastarojo tarpinio įvykio priežastimi yra bazinis įvykis „gedimas arba trumpasis jungimas linijoje A“.

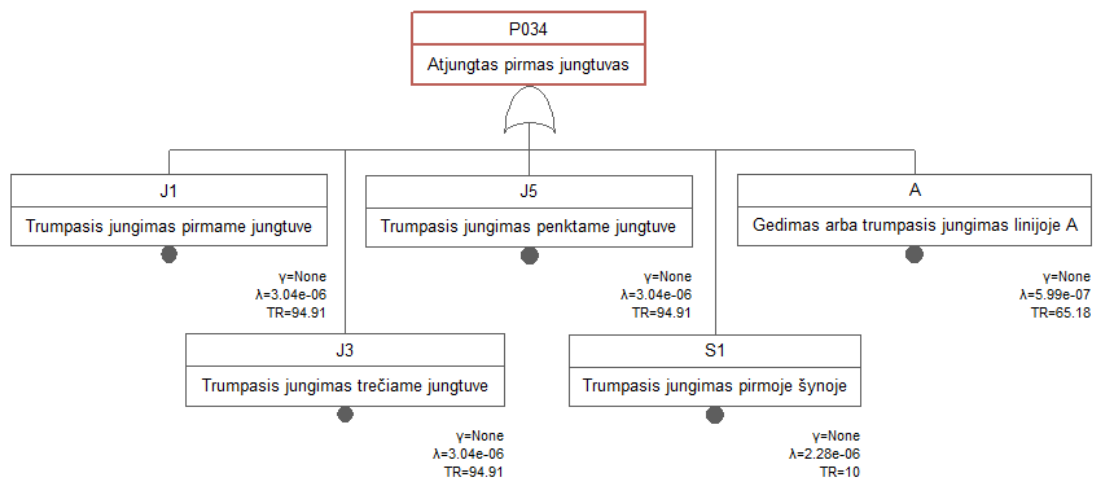
Toliau modelio analizė tęsiama grįžtant prie įvykio „galios srautas neteka pro penktą jungtuvą“, kurį sukelia įvykiai „atjungtas penktas jungtuvas“, kuris susideda iš septynių bazinių įvykių ir yra pavaizduotas paveiksle 2.47, bei „galios srautas neteka į penktą jungtuvą“. Pastarojo tarpinio įvykio priežastimis gali būti įvykis „galios srautas neteka į antrą šyną“ bei bazinis įvykis „trumpasis jungimas antroje šynoje“. Įvykio „galios srautas neteka į antrą šyną“ priežastis yra tarpinis įvykis „galios srautas neteka pro antrą jungtuvą“, kurį sukelia įvykiai „atjungtas antras jungtuvas“ (2.48 paveikslas) arba „galios srautas neteka į antrą jungtuvą“, kurį sukelia bazinis įvykis „gedimas arba trumpasis jungimas linijoje B“. Ties šiuo tašku energijos tiekimo į liniją a analizė yra sustabdoma.



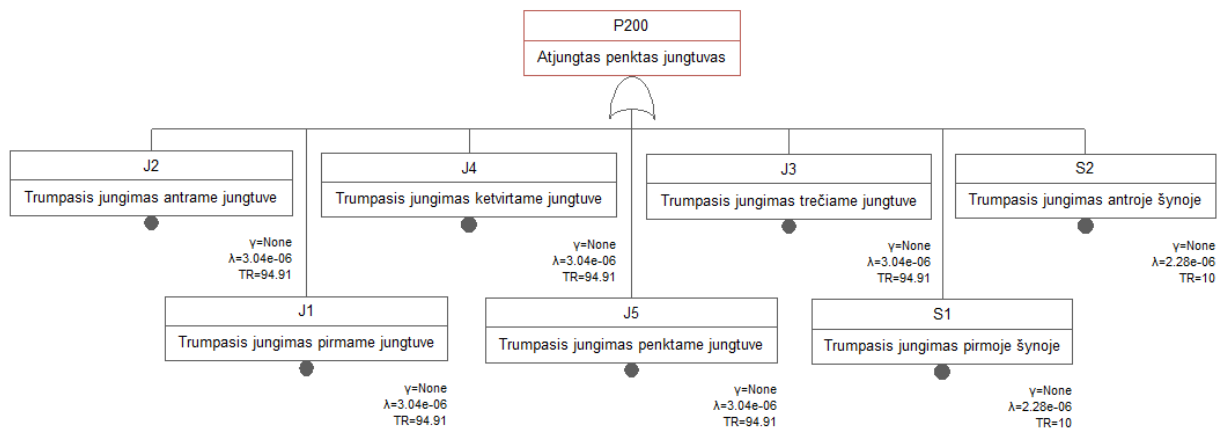
2.44 pav. Galios srauto netekėjimo pro trečią jungtuvą gedimų medis



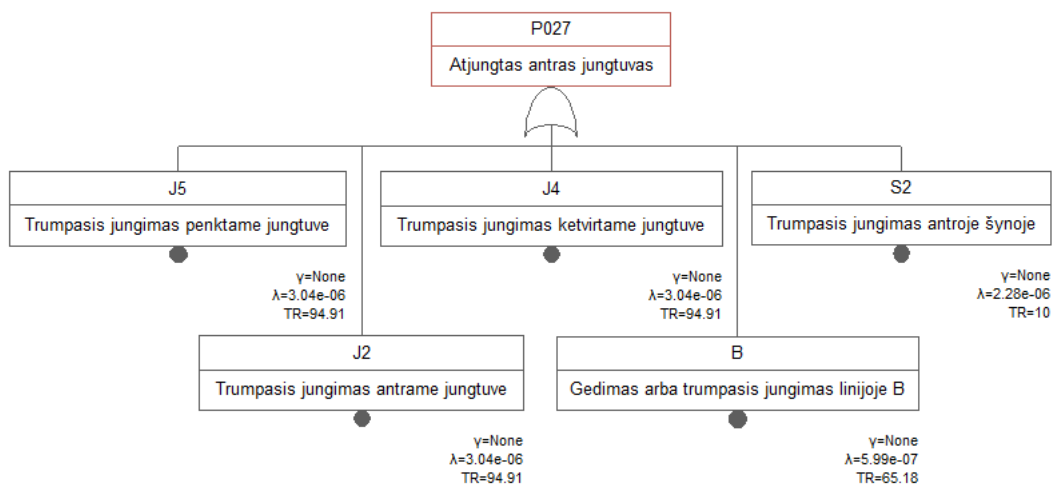
2.45 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas trečias jungtuvas“ gedimų medis



2.46 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas pirmas jungtuvas“ gedimų medis



2.47 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas penktas jungtuvas“ gedimų medis

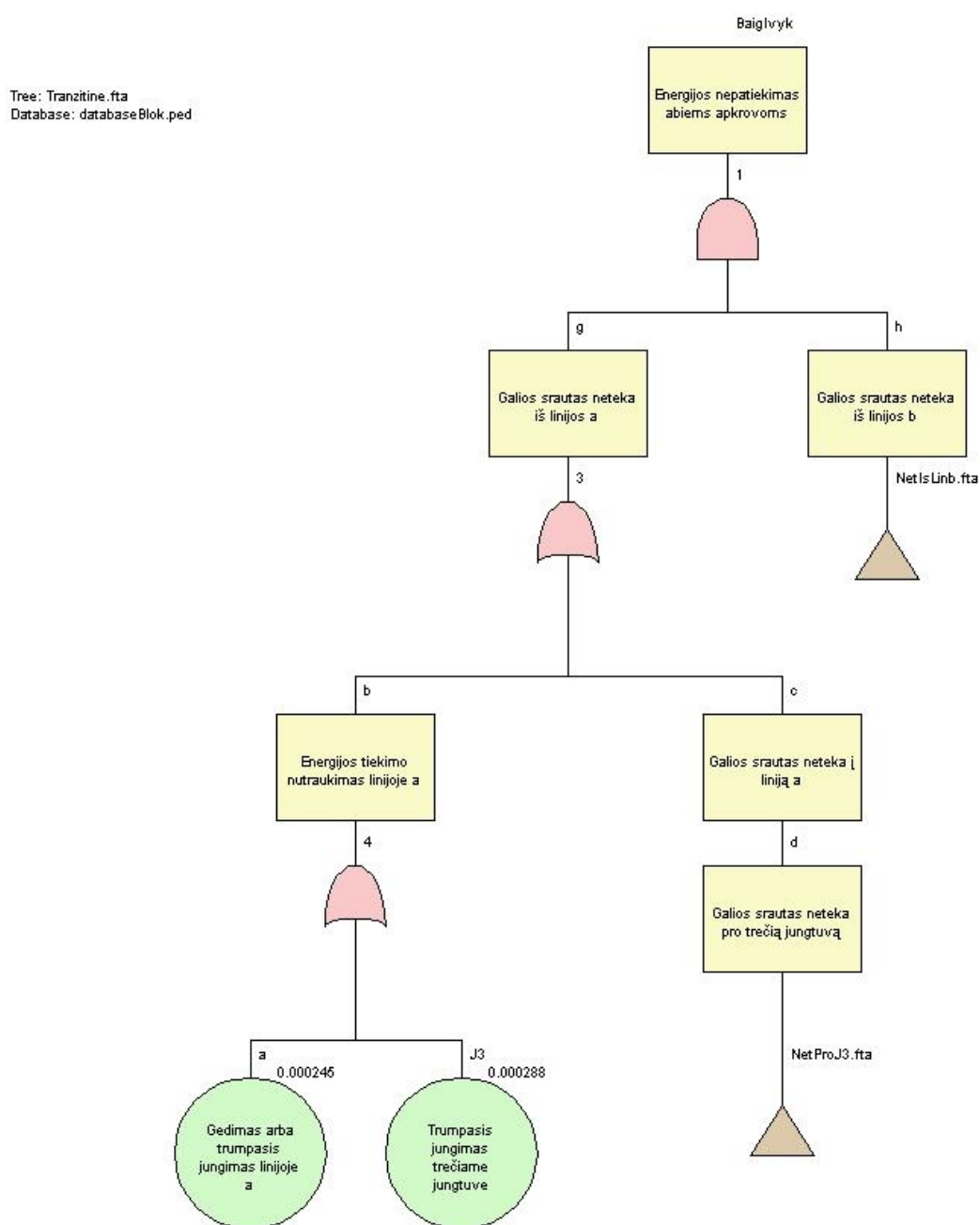


2.48 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas antras jungtuvas“ gedimų medis

Gedimų medžio modelis linijai b sudaromas tokiu pačiu principu, kaip ir prieš tai aprašytas linijai a ir yra pateiktas penktame priede.

2.8. Transformatorių pastotės tranzitinės schemos analizė gedimų medžio metodu su programa „OpenFTA“

Gedimų medžio modeliavimas programa „OpenFTA“ atliekamas tuo pačiu principu, kaip ir prieš tai atliktas programa „Arbre Analyste“. Visi nagrinėjami įvykiai (medžio šakos) sudaromi visiškai taip pat, kaip prieš tai programa „Arbre Analyste“. Dėl šios priežasties ir numatomos didelės darbo apimties gedimų medžio modeliavimas programa „OpenFTA“ pagrindinėje darbo dalyje nėra vaizduojamas, o pateiktas šeštame priede. Paveiksle 2.49 pavaizduotas tik supaprastintos tranzitinės schemos baigiamojo įvykio gedimų medis, sudarytas su programa „OpenFTA“.

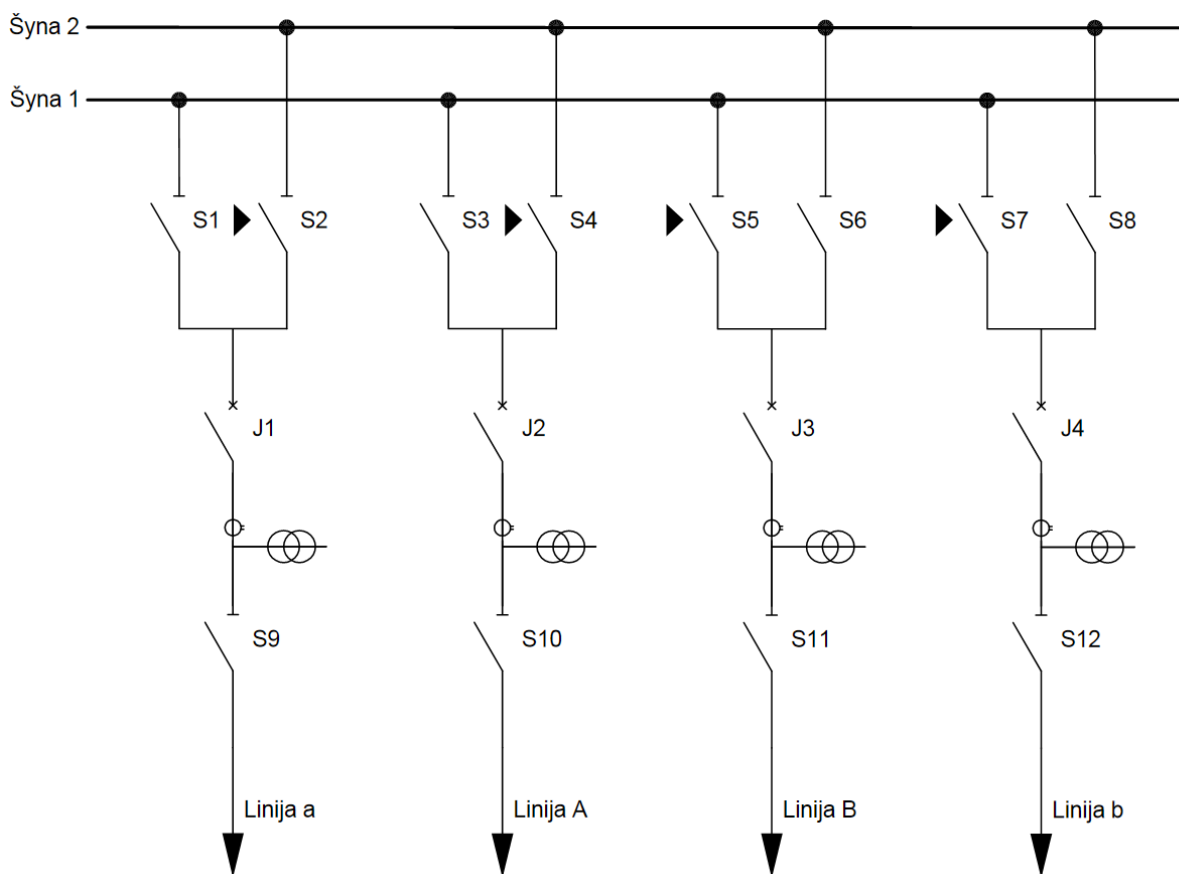


2.49 pav. Supaprastintos tranzitinės schemos baigiamojo įvykio gedimų medis

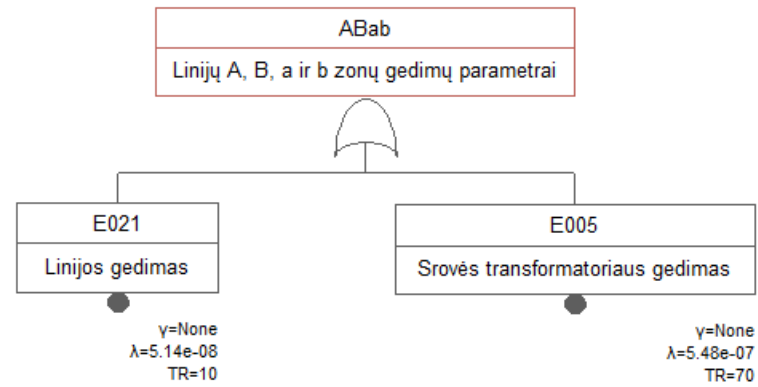
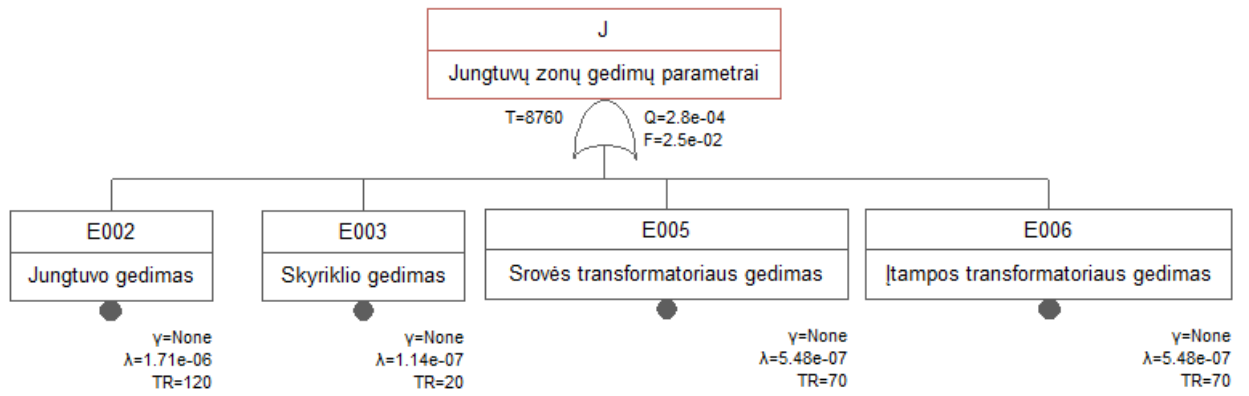
2.9. Transformatorių pastotės mazginės schemos analizė gedimų medžio metodu su programa „Arbre Analyste“

Naudojant programą „Arbre Analyste“ gedimų medžio metodu nagrinėjamas pastotės mazginės su dvigubomis šynomis schemos patikimumas. Šios schemos patikimumo analizė atliekama tokiu pačiu principu, kaip ir pusantro jungtuvo, tranzitinės bei daugiakampio su keturiais jungtuvais schemų analizė. Svarbu pažymėti, kad visos prielaidos, kurios buvo nustatytos nagrinėjant pusantro jungtuvo, tranzitinės bei daugiakampio su keturiais jungtuvais schemas galioja ir nagrinėjamai mazginei schemei.

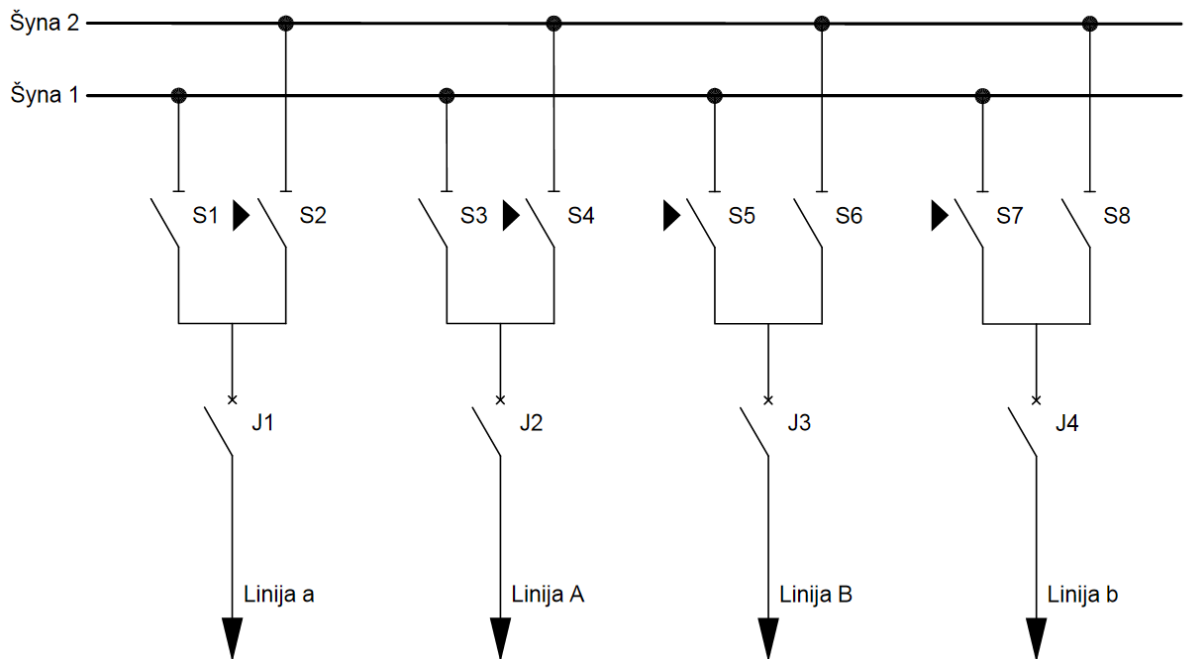
Darbe analizuojama mazginė su dvigubomis šynomis schema pateikiama 2.50 paveiksle. Sudaryti zonų gedimų medžiai pateikiami paveiksle 2.51, kuriais remiantis suskaičiuojami zonų patikimumo rodikliai ir supaprastintoje mazginėje schemeje atitinka jungtuvų bei linijų patikimumo rodiklius. Kad būtų paprasčiau atlikti modeliavimą, bus naudojama supaprastinta pastotės mazginė schema, kuri pateikiama 2.52 paveiksle.



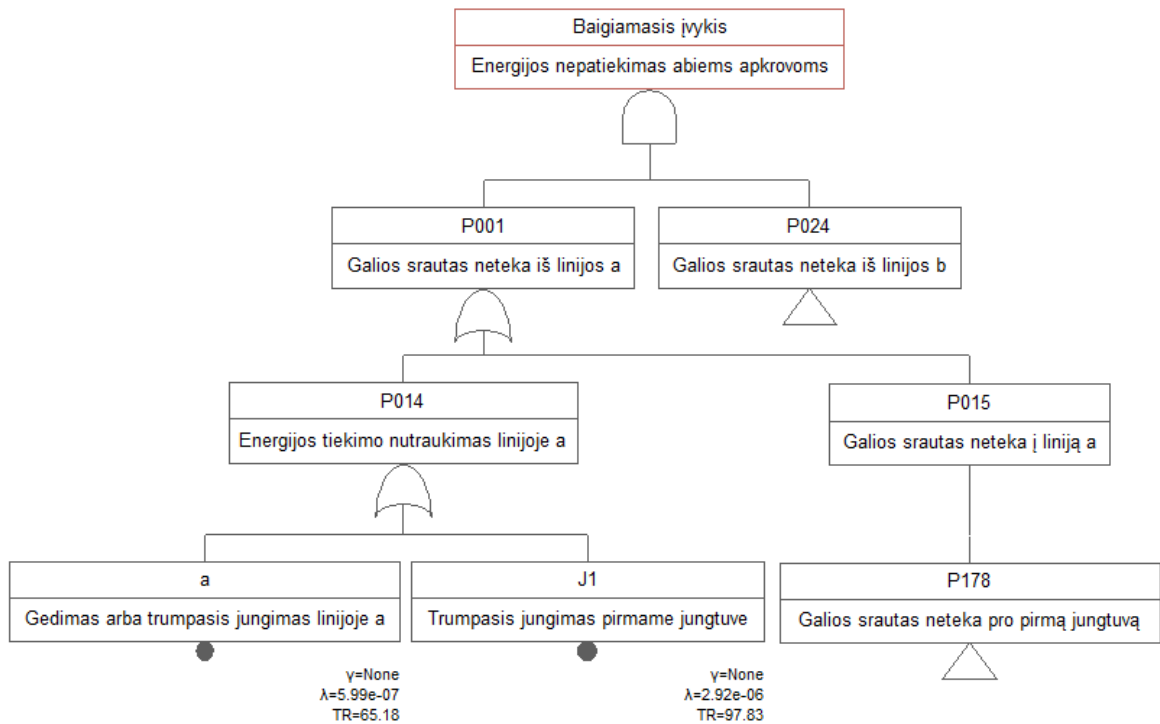
2.50 pav. Transformatorių pastotės mazginė su dvigubomis šynomis schema



2.51 pav. Mazginės schemos zonų gedimų medžiai



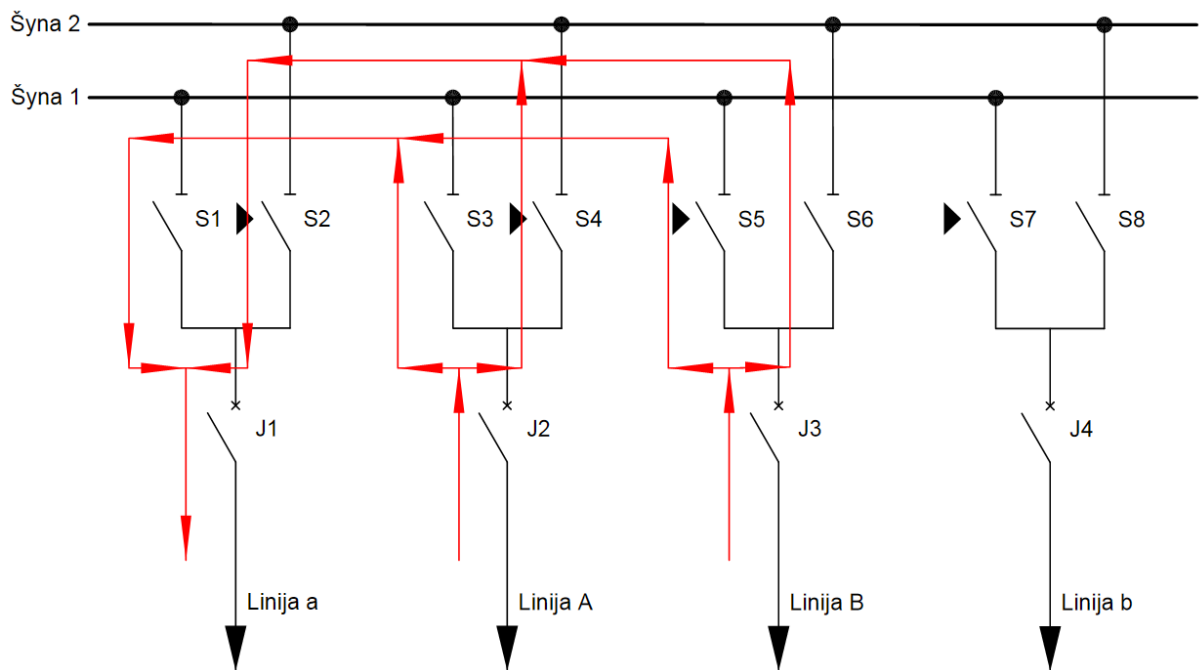
2.52 pav. Supaprastinta mazginė schema



2.53 pav. Supaprastintos mazginės schemos baigiamojo įvykio gedimų medis

Baigiamasis įvykis yra apibrėžiamas kaip „energijos nepateikimas abiemis apkrovoms“ (2.53 paveikslas) ir jis įvyksta tada, kai energija nebeteka iškart dvejomis išeinančiomis linijomis, tai yra, kai jos atsijungusios arba sugedusios. Kadangi abi apkrovų linijos schemoje išdėstytos ta pačia tvarka, tai detali analizė atliekama tik linijai a, o linijos b gedimų medžio modelis sudarytas programa „Arbre Analyste“ pateikiamas septintame priede.

Atliekant modeliavimą, laikomasi tokios pačios tvarkos, kaip ir sudarant pusantro jungtuvo, tranzitinės bei daugiakampio su keturiais jungtuvais schemų modelius. Galios srauto nutraukimą komponente gali sukelti dvi tiesioginės priežastys – „trumpasis jungimas arba gedimas komponente“ ir „galios srautas neteka į komponentą“. Nagrinėjamu atveju du veiksniai tiesiogiai sukelia įvykį „galios srautas neteka iš linijos a“, kurie yra „galios srautas neteka į liniją a“ ir „energijos tiekimo nutraukimas linijoje a“. Galios srautas į liniją a gali tekėti tik pro pirmą jungtuvą.



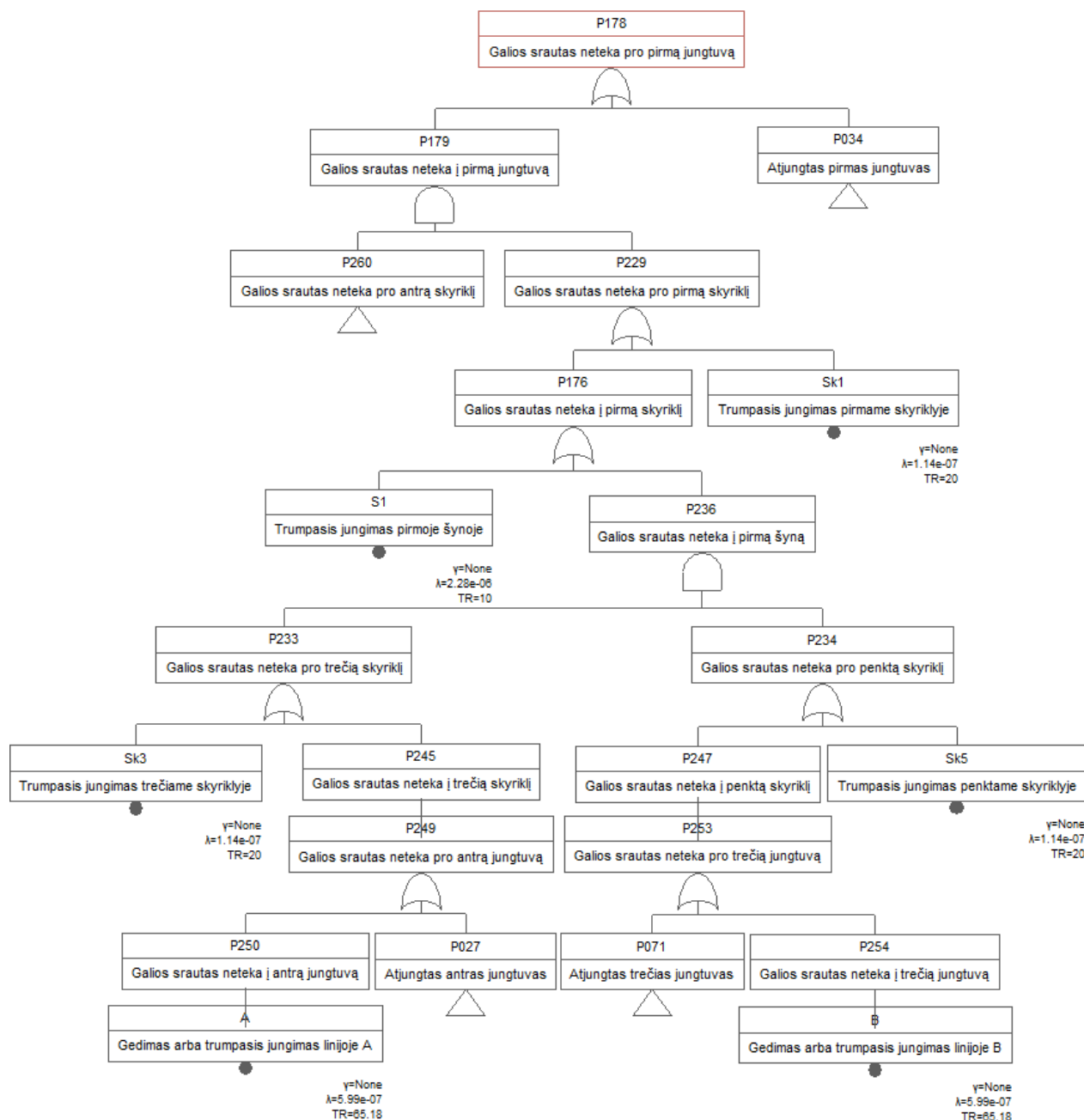
2.54 pav. Galios srauto tekėjimo kryptis pro pirmą jungtuvą iš abiejų šaltinių linijų supaprastintoje mazginėje schemoje

Galios srauto tekėjimo kryptis pro pirmą jungtuvą iš abiejų energijos šaltinių pavaizduotas 2.54 paveiksle. Toliau tęsiant modelio analizę (paveikslas 2.55), nustatoma, kad tiesioginės įvykio „galios srautas neteka pro pirmą jungtuvą“ priežastys yra įvykis „atjungtas pirmas jungtuvas“, kuris susideda iš šešių bazinių įvykių (paveikslas 2.56) ir įvykis „galios srautas neteka į pirmą jungtuvą“. Šio įvykio priežastys yra įvykiai „galios srautas neteka pro antrą skyriklį“ ir „galios srautas neteka pro pirmą skyriklį“. Pastarojo tarpinio įvykio priežastimis gali būti įvykis „galios srautas neteka į pirmą skyriklį“ bei bazinis įvykis „trumpasis jungimas pirmame skyriklyje“. Įvykį „galios srautas neteka į pirmą skyriklį“ sukelia bazinis įvykis „trumpasis jungimas pirmoje šynoje“ bei tarpinis įvykis „galios srautas neteka į pirmą šyną“, kuris nusako situaciją, kai vienu metu įvyksta įvykiai „galios srautas neteka pro trečią skyriklį“ ir „galios srautas neteka pro penktą skyriklį“.

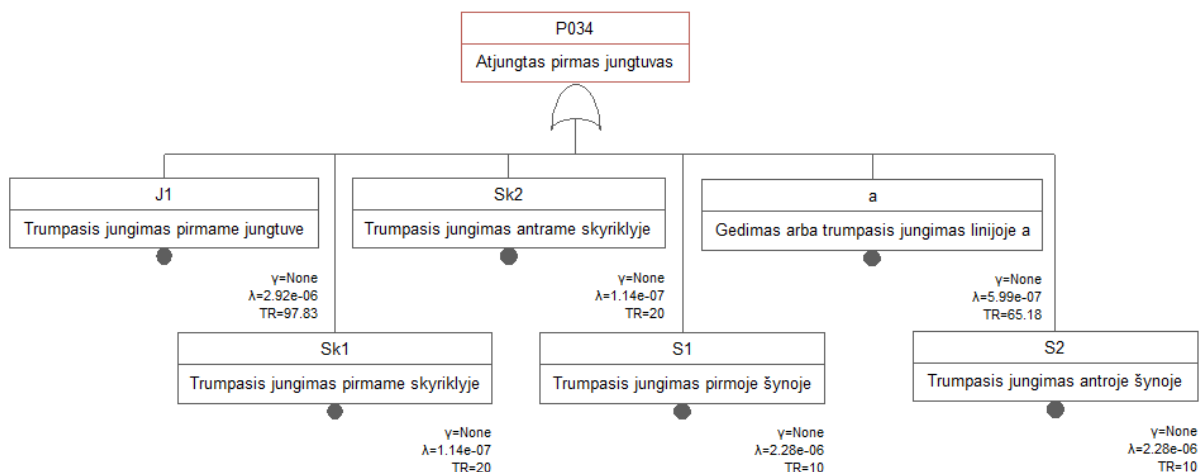
Įvykį „galios srautas neteka pro trečią skyriklį“ sukelia įvykiai „trumpasis jungimas trečiame skyriklyje“ ir „galios srautas neteka į trečią skyriklį“. Pastarojo tarpinio įvykio priežastimi yra įvykis „galios srautas neteka pro antrą jungtuvą“, kurį sukelia įvykiai „atjungtas antras jungtuvas“ (2.57 paveikslas) arba „galios srautas neteka į antrą jungtuvą“, kurį sukelia bazinis įvykis „gedimas arba trumpasis jungimas linijoje A“.

Toliau modelio analizė tęsiama grįžtant prie įvykio „galios srautas neteka pro penktą skyriklį“, kurį sukelia įvykiai „trumpasis jungimas penktame skyriklyje“ bei „galios srautas neteka į penktą skyriklį“. Pastarojo tarpinio įvykio priežastimi yra įvykis „galios srautas neteka

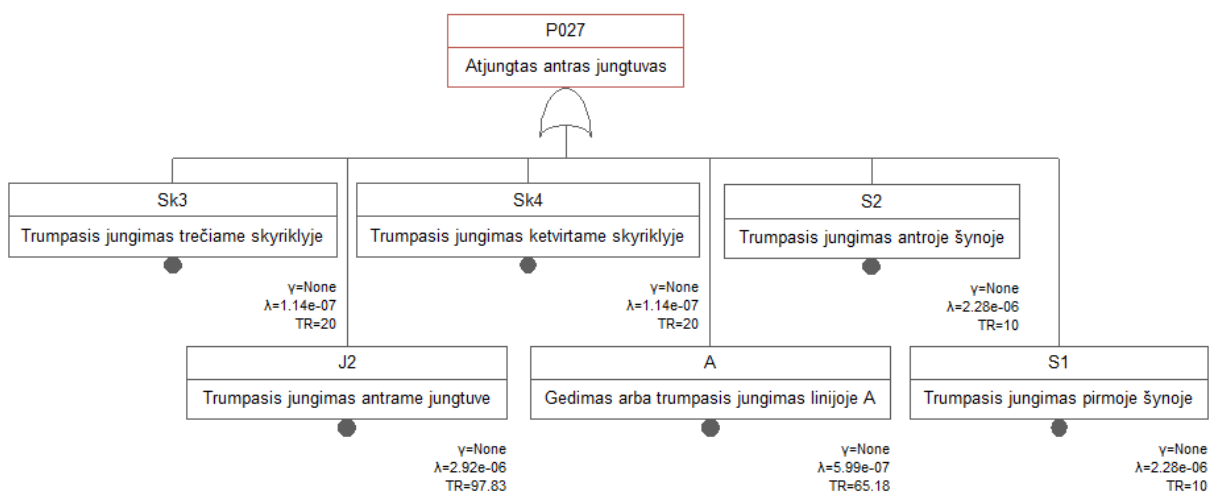
pro trečią jungtuvą“, kuri sukelia įvykiai „atjungtas trečias jungtuvas“ (2.58 paveikslas) arba „galios srautas neteka į trečią jungtuvą“, kuri sukelia bazinis įvykis „gedimas arba trumpasis jungimas linijoje B“.



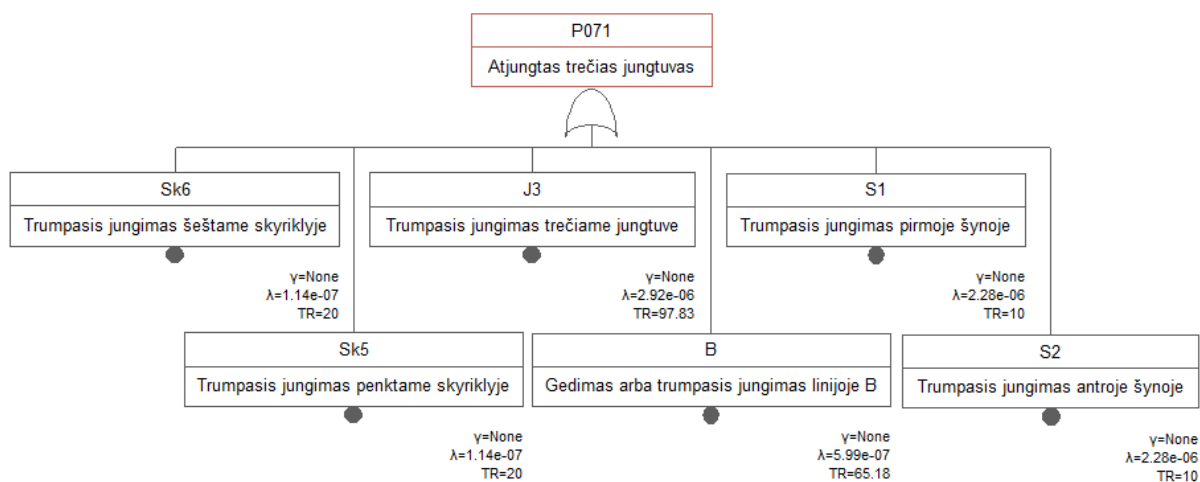
2.55 pav. Galios srauto netekėjimo pro pirmą jungtuvą gedimų medis



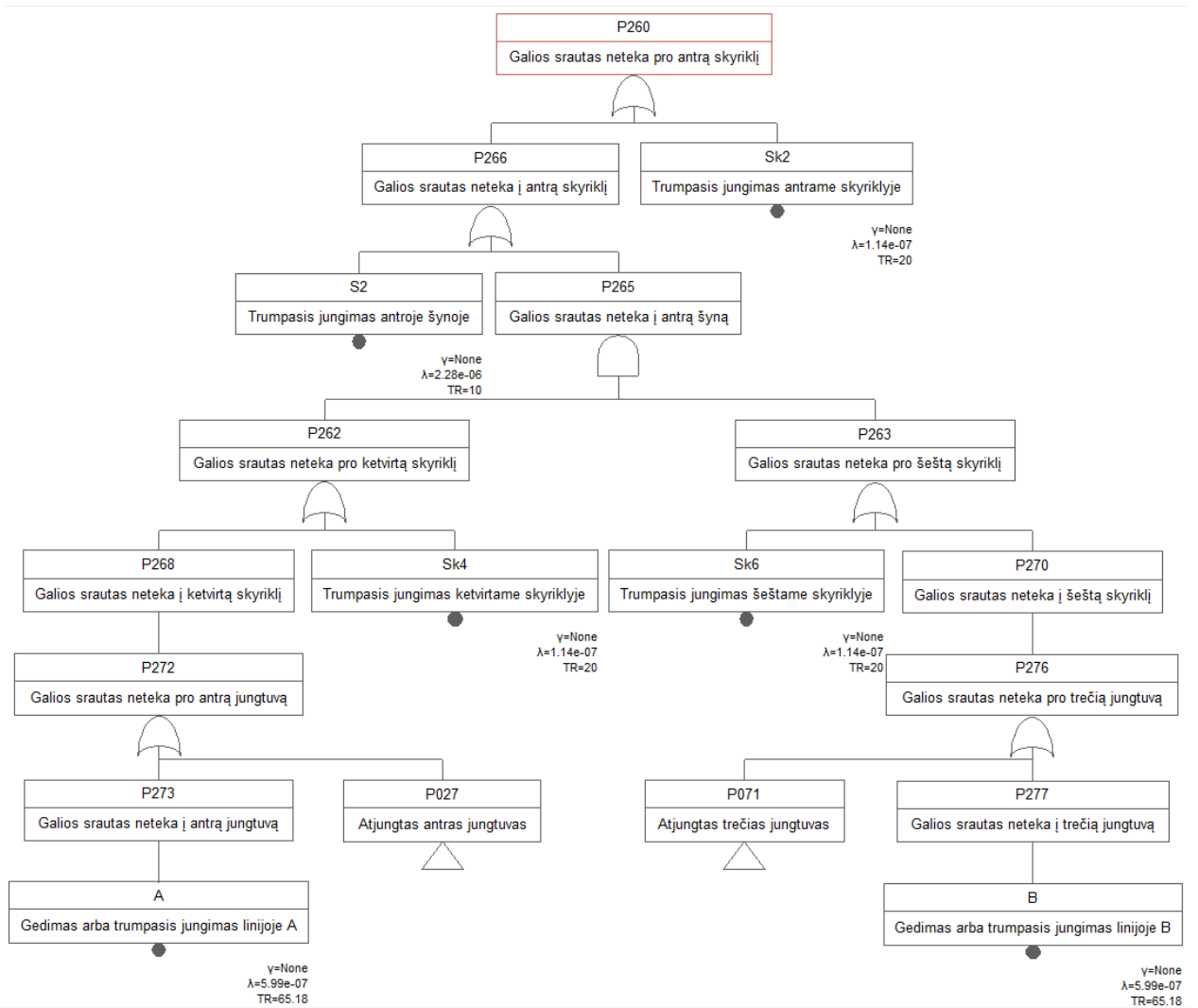
2.56 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas pirmas jungtuvas“ gedimų medis



2.57 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas antras jungtuvas“ gedimų medis



2.58 pav. Tarpinio įvykio „atjungtas trečias jungtuvas“ gedimų medis



2.59 pav. Tarpinio įvykio „galios srautas neteka pro antrą skyriklį“ gedimų medis

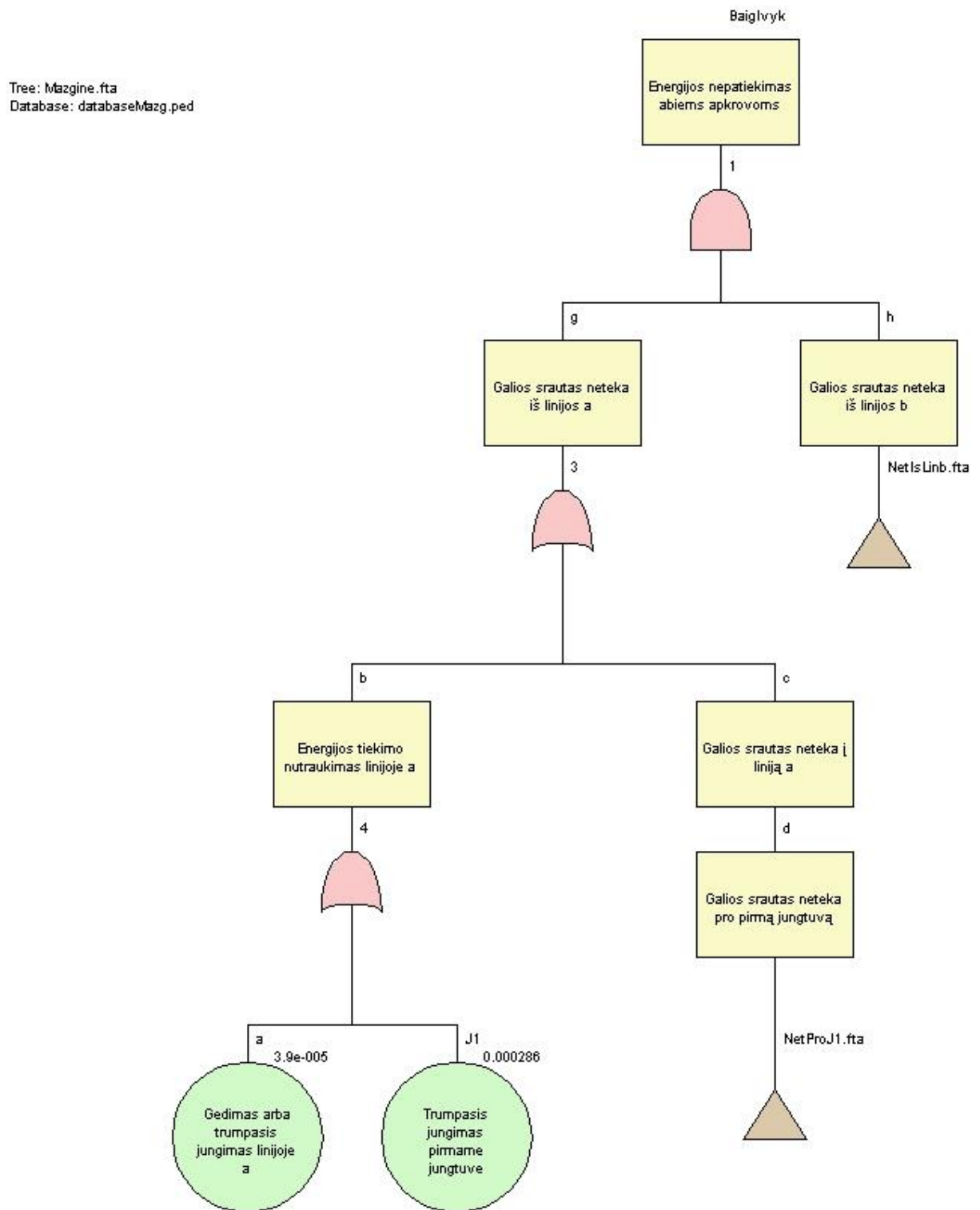
Įvykio „galios srautas neteka pro antrą skyriklį“, kurio gedimų medis pateiktas 2.59 paveiksle, analizė atliekama lygiai tai pat, kaip ir prieš tai aprašyta įvykio „galios srautas neteka pro pirmą skyriklį“ analizė. Dėl šios priežasties šakos gedimų medžio modelis detaliam nagrinėjamas nebus.

Gedimų medžio modelis linijai b sudaromas tokiu pačiu principu, kaip ir prieš tai aprašytas linijai a ir yra pateiktas septintame priede.

2.10. Transformatorių pastotės mazginės schemos analizė gedimų medžio metodu su programa „OpenFTA“

Gedimų medžio modeliavimas programa „OpenFTA“ atliekamas tuo pačiu principu, kaip ir prieš tai atliktas programa „Arbre Analyste“. Visi nagrinėjami įvykiai (medžio šakos) sudaromi visiškai taip pat, kaip prieš tai programa „Arbre Analyste“. Dėl šios priežasties ir

numatomos didelės darbo apimties gedimų medžio modeliavimas programa „OpenFTA“ pagrindinėje darbo dalyje nėra vaizduojamas, o pateiktas aštuntame priede. Paveiksle 2.60 pavaizduotas tik supaprastintos mazginės schemos baigiamojo įvykio gedimų medis, sudarytas su programa „OpenFTA“.



2.60 pav. Supaprastintos mazginės schemos baigiamojo įvykio gedimų medis

3. TYRIMO REZULTATŲ DALIS

3.1. Įvesties duomenys

Visų keturių tipų schemų patikimumui nustatyti darbe naudojamos tokios pačios pradinių (įvesties) duomenų, tai yra, įrenginių patikimumo rodiklių vertės, kurios yra pateiktos 3.1 lentelėje. Darbe yra vertinamos jungtuvų, skyriklių, srovės bei įtampos transformatorių, linijų ir šynų patikimumo rodiklių vertės. Šios vertės darbe parinktos atsižvelgiant į Lietuvoje naudojamų transformatorių pastočių įrenginių patikimumo rodiklių vertes, kurios šiame darbe pateiktos įrenginių patikimumo rodiklių verčių lentelėse 1.2 skyriuje. Taigi modeliavimo procese naudojamos patikimumo rodiklių vertės yra lygios arba artimos realioms, statistiniu būdu surinktoms, Lietuvoje naudojamų įrenginių patikimumo rodiklių vertėms. Darbe atliekant modeliavimą, daroma prielaida, kad apsaugos ir valdymo sistemų bei rezervinių energijos šaltinių patikimumas yra 100 %.

Programoje „Arbre Analyste“, kaip įvesties duomenys patikimumo skaičiavimui, yra naudojami dviejų tipų įrenginių patikimumo rodikliai: schemas elementų gedimų intensyvumas – λ_{Σ} ir vidutinė schemas elementų atkūrimo trukmė (MTTR) – T_{Avid} . Programoje „OpenFTA“ kaip įvesties duomenys naudojami įrenginių gedimo tikimybės – Q, kurios gaunamos programos „Arbre Analyste“ pagalba arba sudauginus tuos pačius šios programos naudojamus įvesties duomenis - vidutinės schemas elementų atkūrimo trukmes ir schemas elementų gedimų intensyvumus. Ankščiau darbe minėta, kad supaprastintų schemų gedimų medžio modelio baziniuose įvykiuose, kaip įvesties duomenys, dažnai buvo naudojami zonų patikimumo rodikliai, kurie gauti iš atskirų tai zonai priklausančių įrenginių (jungtuvų, skyriklių, srovės bei įtampos transformatorių, linijų) patikimumo rodiklių, sudarius atskirus šių zonų gedimų medžių modelius.

3.1 lentelė. Pradiniai įvesties duomenys

Aukštos įtampos schemas komponentas	$\lambda \cdot 10^{-6}$, kartais per valandą	T_{avid} , h
Jungtuvas (orinis)	1,7123	120
Skyriklis	0,1142	20
Srovės ir įtampos transformatoriai	0,548	70
Linija (100 m)	0,0514	10
Šynos	2,2831	10

3.2. Rezultatai ir jų palyginimas

Šiame darbe aukštos įtampos transformatorių pastočių schemų patikimumas yra analizuojamas naudojantis dvejomis skirtingomis kompiuterinėmis programomis - „Arbre Analyste“ ir „OpenFTA“. Abi šios programos yra skirtos atlikti patikimumo analizę, remiantis gedimų medžio metodu.

Analizė, remiantis gedimų medžio ir Monte – Karlo metodais, buvo atlikta keturiems transformatorių pastočių schemų tipams: pusanthro jungtuvo, daugiakampio su keturiais jungtuvais, tranzitinei bei mazginei. Visų keturių tipų schemų patikimumo rodiklių vertės, gautos programa „Arbre Analyste“, esant trims skirtingiems baigiamiesiems įvykiams – „energijos nepatiekimas abiemis apkrovoms“, „energijos nepatiekimas linijai a“ ir „energijos nepatiekimas linijai b“, yra pateikiamos 3.2 lentelėje, kas leidžia tarpusavyje palyginti visų keturių tipų schemų patikimumą. Modeliavimo trukmė nustatyta abiejose programose – vieni kalendoriniai metai arba 8760 valandų.

Programa „Arbre Analyste“ yra gaunami tokie schemas patikimumo rodikliai: visos schemas arba jos dalies gedimo tikimybė – Q ; visos schemas arba jos dalies gedimų intensyvumas – λ_{Σ} ; vidutinis vartotojų (apkrovos) atjungimų dažnis (TOF) – f_{Avid} ; vidutinė visos schemas arba jos dalies atkūrimo trukmė (MTTR) – T_{Avid} ; santykinė maitinimo nutraukimo trukmė – q_{av} . Kai tuo tarpu, programa „OpenFTA“ gaunama tik visos schemas arba jos dalies gedimo tikimybė – Q , tačiau analizė atliekama ne tik gedimų medžio, bet ir Monte – Karlo metodu.

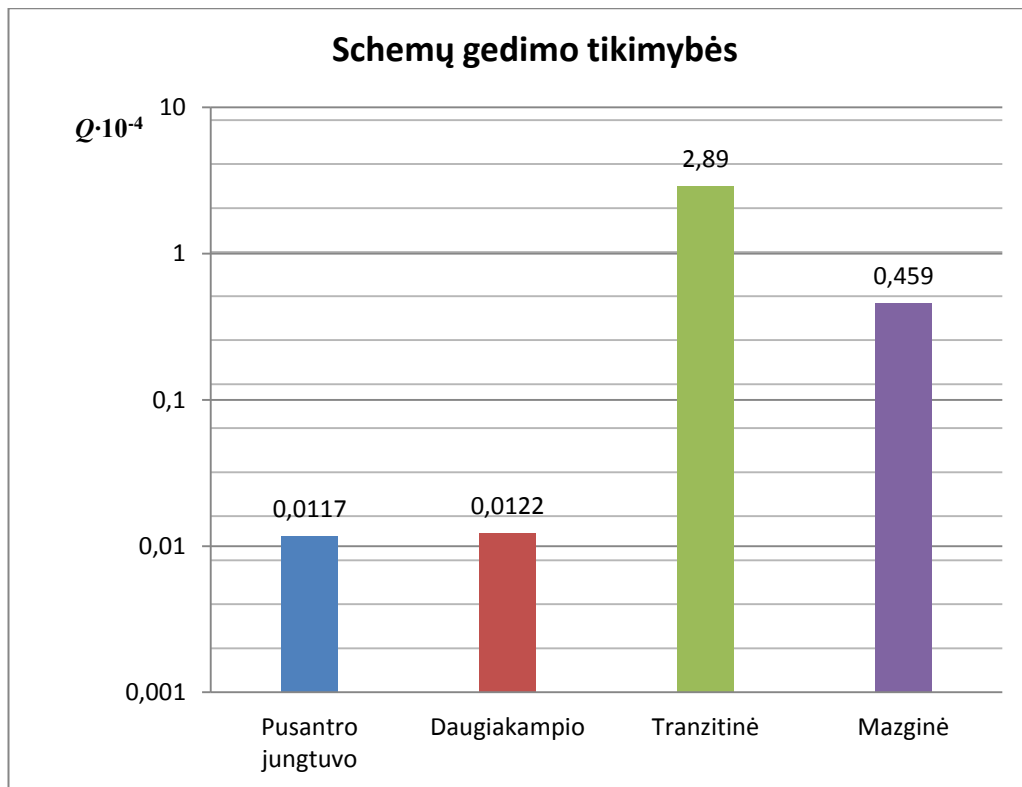
Kompiuterinėmis programomis „Arbre Analyste“ ir „OpenFTA“ gautos visų keturių tipų schemų arba jų dalies gedimo tikimybės Q , taip pat ir Monte – Karlo metodu gautos tikimybės yra pateikiamos 3.3 lentelėje, kas leidžia tarpusavyje palyginti visų keturių tipų schemų patikimumą ir modeliavimo programų skaičiavimo tikslumą.

3.2 lentelė. Programa „Arbre Analyste“ gauti keturių tipų schemų patikimumo rodikliai

Schemas tipas	Baigiamasis įvykis - Energijos nepatiekimas	$Q \cdot 10^{-4}$	$\lambda_{\Sigma} \cdot 10^{-6}$, kartais per valandą	f_{Avids} kartais per valandą	T_{Avids} h	q_{av}
Pusanro jungtuvo	abiems apkrovoms	0,0117	0,0233	0,0002	50,58	0,0102
	linijai a	7,84	7,85	0,0684	100,4	6,864
	linijai b	7,84	7,85	0,0684	100,4	6,864
Daugia-kampio	abiems apkrovoms	0,0122	0,0283	0,0003	43,73	0,0107
	linijai a	8,22	8,41	0,0732	98,45	7,203
	linijai b	8,22	8,41	0,0732	98,45	7,203
Tranzitinė	abiems apkrovoms	2,89	3,05	0,0266	95,14	2,531
	linijai a	9,27	12,1	0,1051	77,66	8,121
	linijai b	9,27	12,1	0,1051	77,66	8,121
Mazginė	abiems apkrovoms	0,459	4,57	0,0398	10,09	0,4019
	linijai a	3,75	8,32	0,0725	45,32	3,284
	linijai b	3,75	8,32	0,0725	45,32	3,284

3.3 lentelė. Programa „Arbre Analyste“ ir „OpenFTA“ gautos schemų gedimo tikimybės

Schemas tipas	Baigiamasis įvykis - Energijos nepatiekimas	Baigiamojo įvykio (schemos gedimo) tikimybė $Q \cdot 10^{-4}$		
		Apskaičiuota programa „Arbre Analyste“	Apskaičiuota programa „OpenFTA“	Apskaičiuota programa „OpenFTA“ Monte – Karlo metodu
Pusanro jungtuvo	abiems apkrovoms	0,0117	0,011629	0,011636 (+/- 0,000176)
	linijai a	7,84	7,832252	7,833067 (+/- 0,004576)
	linijai b	7,84	7,832252	7,833067 (+/- 0,004576)
Daugia-kampio	abiems apkrovoms	0,0122	0,012192	0,012201 (+/- 0,000162)
	linijai a	8,22	8,210845	8,206356 (+/- 0,004225)
	linijai b	8,22	8,210845	8,206356 (+/- 0,004225)
Tranzitinė	abiems apkrovoms	2,89	2,890643	2,886569 (+/- 0,002666)
	linijai a	9,27	11,31521	11,31998 (+/- 0,005011)
	linijai b	9,27	11,31521	11,31998 (+/- 0,005011)
Mazginė	abiems apkrovoms	0,459	0,458171	0,458661 (+/- 0,000791)
	linijai a	3,75	3,752403	3,753038 (+/- 0,001969)
	linijai b	3,75	3,752403	3,753038 (+/- 0,001969)

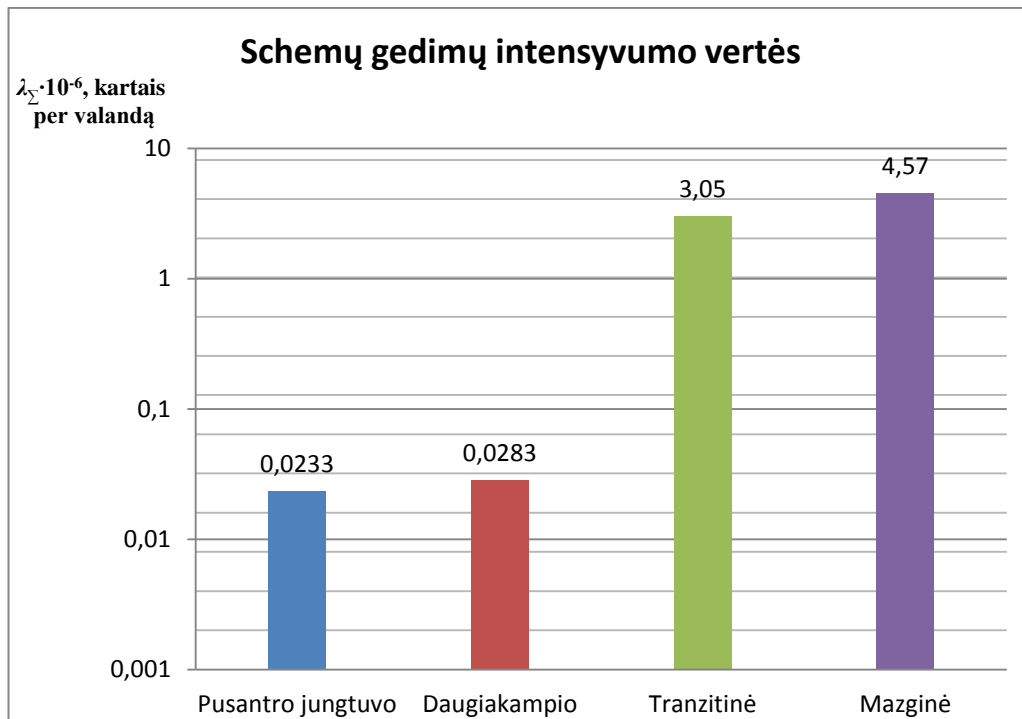


3.1 pav. Programa „Arbre Analyste“ gautų keturių tipų schemų gedimo tikimybių verčių palyginimas

Kaip jau minėta, pirmiausia, darbe aukštos įtampos transformatorių pastochių schemų patikimumas, remiantis gedimų medžio metodu, buvo analizuojamas kompiuterine programa „Arbre Analyste“. Pagal gautas ir 3.2 lentelėje pateiktas visų keturių tipų schemų patikimumo rodiklių vertes, esant baigiamajam įvykiui – „energijos nepatiekimas abiemis apkrovoms“, sudarytos visų šių schemų patikimumo rodiklių palyginimo diagramos, kurios yra pateikiamos 3.1 – 3.5 paveiksluose.

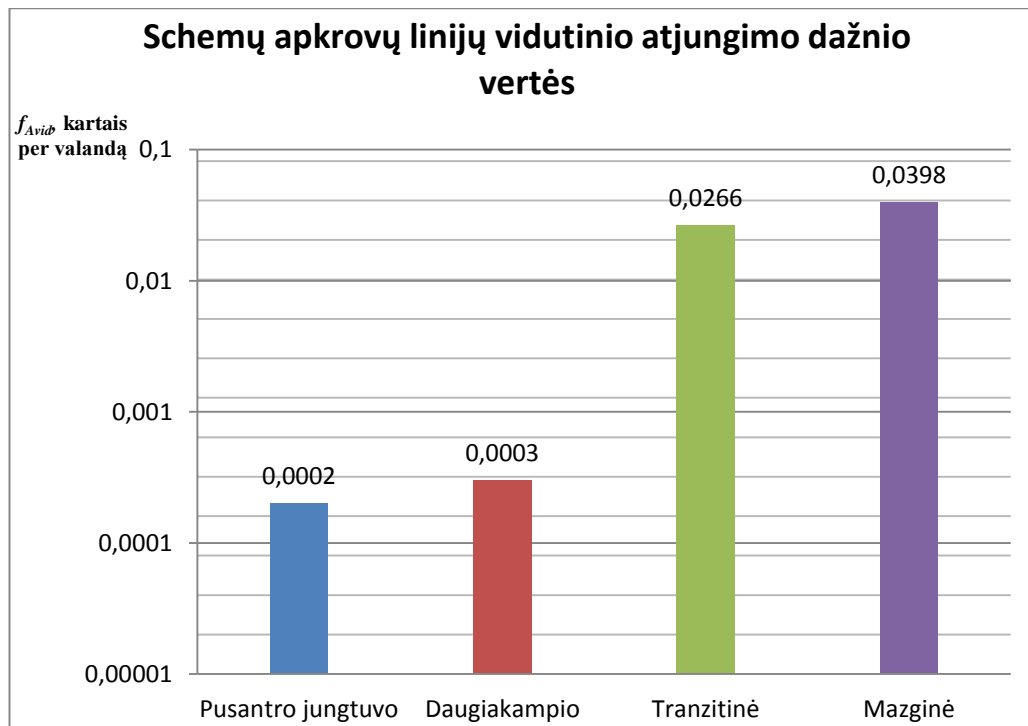
Remiantis 3.2 lentelėje ir 3.1 paveiksle pateikiama informacija nustatyta, kad mažiausia gedimo tikimybė ($Q=0,0117 \cdot 10^{-4}$) aukštos įtampos transformatorių pastotėje gaunama esant keturių linijų pusanro jungtuvo schemas konfigūracijai. Tai reiškia, kad šio tipo transformatorių pastotės schema yra patikimiausia iš visų keturių darbe nagrinėtų schemų tipų. Taip pat analizuojant 3.2 lentelės ir 3.1 paveikslo duomenis matosi, kad esant daugiakampio schemas konfigūracijai gedimo tikimybė gaunama tik šiek tiek didesnė ($Q=0,0122 \cdot 10^{-4}$) nei esant pusanro jungtuvo schemas konfigūracijai, kas nusako aukštą šios schemas patikimumo lygį, kuris yra labai artimas pusanro jungtuvo schemas patikimumui. Mažiausiai patikima iš darbe nagrinėtų schemų, atsižvelgiant į gautas gedimo tikimybių vertes, yra tranzitinė aukštos įtampos transformatorių pastotės schema, kurios gedimo tikimybė yra didžiausia iš visų keturių tipų

schemų ($Q=2,89 \cdot 10^{-4}$) ir yra daugiau nei penkis kartus didesnė už mazginės schemos gedimo tikimybę ($Q=0,459 \cdot 10^{-4}$).



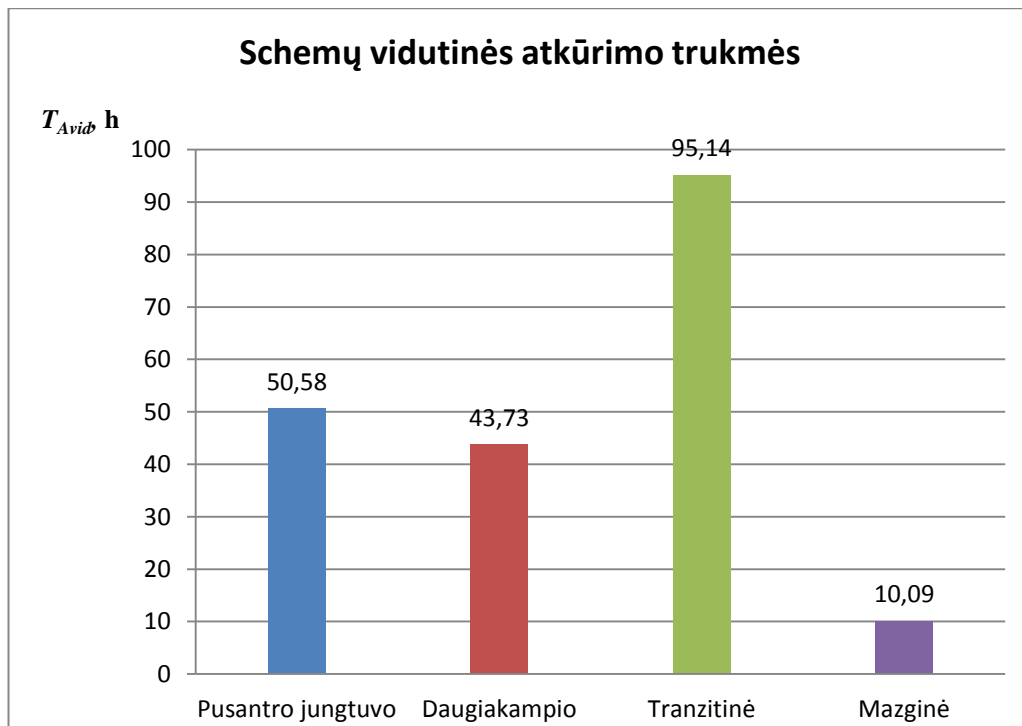
3.2 pav. Programa „Arbre Analyste“ gautų keturių tipų schemų gedimų intensyvumo verčių palyginimas

Nepaisant to, kad gedimo tikimybė yra pagrindinis schemų patikimumą nulemiantis dydis, kaip minėta anksčiau, darbe nustatyti ir kiti papildomi nagrinėjamų schemų patikimumą įvertinantys rodikliai. Vienas jų, tai 3.2 lentelėje ir 3.2 paveiksle pateiktas nustatytas šių schemų gedimų intensyvumas. Analizuojant šiuos duomenis, matyti, kad mažiausias gedimų intensyvumas ($\lambda_{\Sigma}=0,0233 \cdot 10^{-6}$) aukštos įtampos transformatorių pastotėje gaunamas esant pusanthro jungtuvo schemos konfigūracijai. Tai reiškia, kad šio tipo schema yra patikimiausia net pagal dvi patikimumo rodiklių vertes, lyginant ją su kitais trimis darbe nagrinėjamais schemų tipais. Toliau atliekant 3.2 paveikslo analizę, galima pastebėti, kad gauta daugiakampio schemos gedimų intensyvumo vertė ($\lambda_{\Sigma}=0,0283 \cdot 10^{-6}$) yra nedaug didesnė už pusanthro jungtuvo schemos gedimų intensyvumo vertę. Atsižvelgiant tik į gedimų intensyvumo vertes, mažiausiai patikima yra mazginė transformatorių pastotės schema, kurios gedimų intensyvumas ($\lambda_{\Sigma}=4,57 \cdot 10^{-6}$) savo verte yra gana artimas tranzitinės schemos vertei ($\lambda_{\Sigma}=3,05 \cdot 10^{-6}$).



3.3 pav. Programa „Arbre Analyste“ gautų keturių tipų schemų apkrovų linijų vidutinio atjungimo dažnio verčių palyginimas

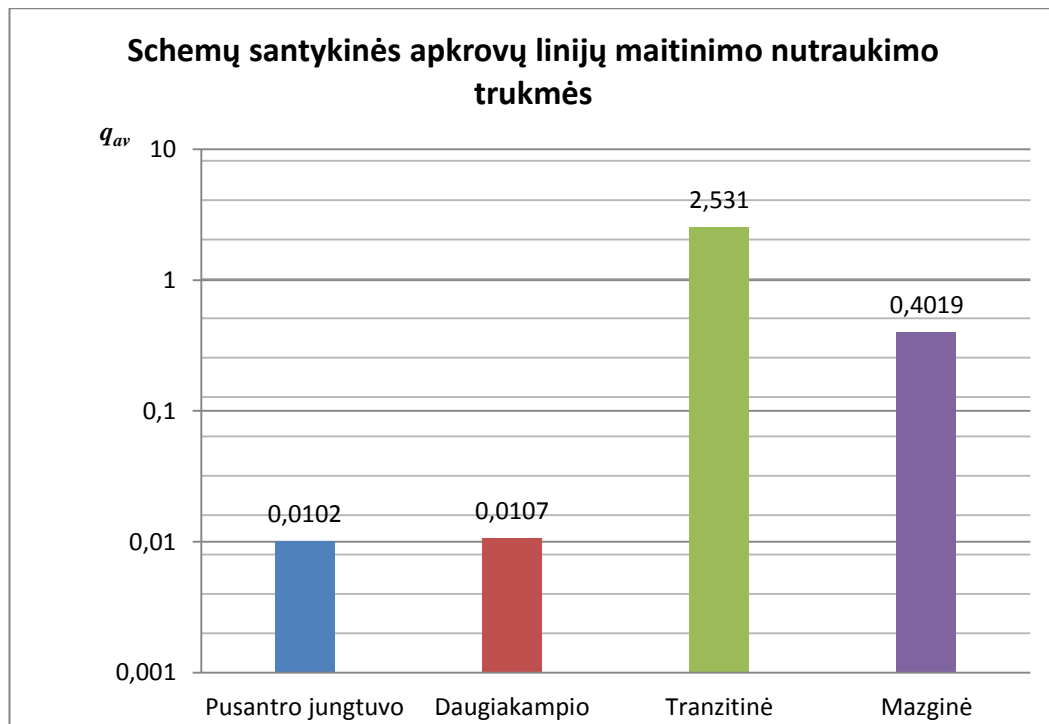
Kitas papildomas nagrinėjamų schemų patikimumą įvertinantis rodiklis yra vidutinis apkrovų linijų atjungimo dažnis, kurio vertės pateikiamos 3.2 lentelėje ir vaizduojamos 3.3 paveiksle. Galima pastebėti, kad atliekant schemų vertinimą pagal šį patikimumo rodiklį, patikimiausia, kaip ir prieš tai pagal aprašytus du patikimumo rodiklius, išlieka pusanro jungtuvo schemas konfigūracija, nes gaunama mažiausia vidutinė apkrovų linijų atjungimo dažnio vertė ($f_{Avid}=0,0002$) iš visų keturių analizuojamų schemų konfigūracijų. Taip pat svarbu pažymėti, kad gauta daugiakampio schemas vidutinė apkrovų linijų atjungimo dažnio vertė ($f_{Avid}=0,0003$) yra beveik lygi pusanro jungtuvo schemas vidutinei apkrovų linijų atjungimo dažnio vertei. Tai rodo, kad aukštos įtampos transformatorių pastotės daugiakampio schemas konfigūracijos patikimumas yra labai aukštas ir artimas pusanro jungtuvo schemas konfigūracijai, nes net trys šių konfigūracijų patikimumo rodiklių vertės yra artimos viena kitai. Mažiausiai patikima, atsižvelgiant tik į vidutines apkrovų linijų atjungimo dažnio vertes, yra mazginė transformatorių pastotės schema, kurios vidutinė apkrovų linijų atjungimų dažnio vertė ($f_{Avid}=0,0398$) yra tame pačiame intervale kaip ir tranzitinės schemas vertė ($f_{Avid}=0,0266$).



3.4 pav. Programa „Arbre Analyste“ gautų keturių tipų schemų vidutinių atkūrimo trukmių palyginimas

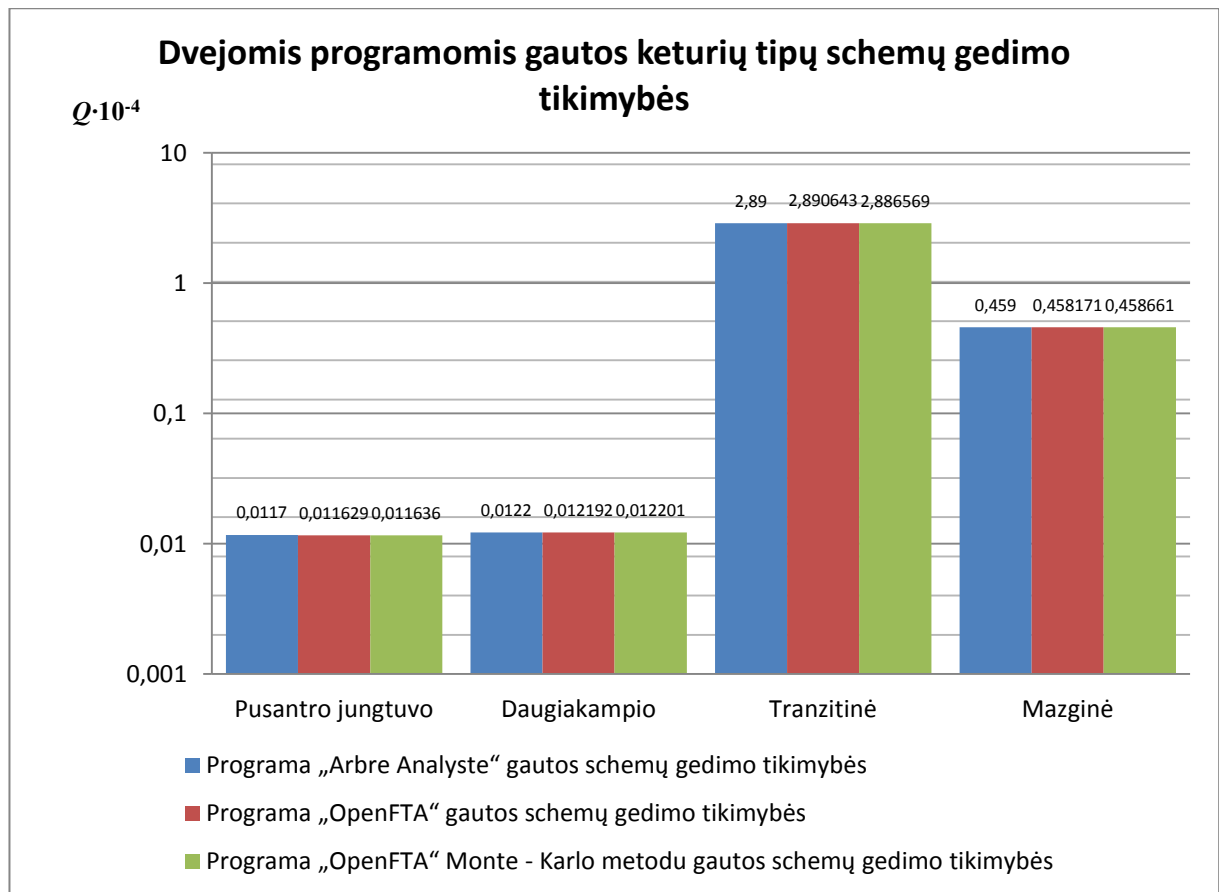
Dar vienas papildomas rodiklis, įvertinantis nagrinėjamų schemų patikimumą, yra vidutinės jų atkūrimo trukmės, kurių vertės pateikiamos 3.2 lentelėje ir pavaizduotos 3.4 paveiksle. Analizuojant šiuos duomenis, nustatyta, kad pagal vidutinę atkūrimo trukmę patikimiausia yra mazginė schema ($T_{Avid}=10,09$ h). O pagal prieš tai aptartus patikimumo rodiklius, buvusi patikimiausia pusanтро jungtuvo schema, pagal šį rodiklį yra priešpaskutinėje vietoje ($T_{Avid}=50,58$ h). Tokie rezultatai gauti dėl to, kad pusanтро jungtuvo schema yra sudėtingesnė nei mazginė ir savo sudėtyje turi daugiau įrenginių (jungtuvai, skyrikliai), kurių kiekis ir išdėstymas tarpusavyje nulemia bendrą sistemos patikimumą ir tuo pačiu vidutinę visos schemos atkūrimo trukmę. Be to, šis patikimumo rodiklis yra daugiau teorinio pobūdžio ir galimybės įvertinti realaus schemos atkūrimo trukmės nesuteikia.

Taip pat nustatyta, kad gauta daugiakampio schemos vidutinės atkūrimo trukmės vertė ($T_{Avid}=43,73$ h) nedaug skiriasi nuo pusanтро jungtuvo schemos vidutinės atkūrimo trukmės vertės. Mažiausiai patikima, atsižvelgiant tik į schemos vidutinės atkūrimo trukmės vertes, yra tranzitinė transformatorių pastotės schema ($T_{Avid}=95,14$ h).



3.5 pav. Programa „Arbre Analyste“ gautų keturių tipų schemų apkrovų linijų santykinių maitinimo nutraukimo trukmių verčių palyginimas

Paskutinis darbe analizuojamas papildomas schemų patikimumą įvertinantis rodiklis yra apkrovų linijų santykinė maitinimo nutraukimo trukmė, kurios vertės pateikiamos 3.2 lentelėje ir vaizduojamos 3.5 paveiksle. Galima pastebėti, kad atliekant schemų vertinimą pagal šį patikimumo rodiklį, patikimiausia, kaip ir pagal daugelį kitų įvertintų patikimumo rodiklių, yra pusanтро jungtuvo schemos konfigūracija. Gauta pusanтро jungtuvo schemos apkrovų linijų santykinės maitinimo nutraukimo trukmės vertė yra mažiausia iš visų keturių nagrinėjamų schemų verčių ($q_{av}=0,0102$). Iš 3.5 paveiksle pateiktos diagramos nustatyta, kad daugiakampio schemos konfigūracijos patikimumas, vertinant santykinę maitinimo nutraukimo trukmę, yra šiek tiek mažesnis už pusanтро jungtuvo schemos patikimumą ($q_{av}=0,0107$). Tai dar kartą įrodo, kad aukštos įtampos transformatorių pastotės daugiakampio schemos konfigūracijos patikimumas yra labai aukštas ir artimas pusanтро jungtuvo schemos konfigūracijos patikimumui. Mažiausiai patikima, atsižvelgiant į apkrovų linijų santykinės maitinimo nutraukimo trukmės vertes, yra tranzitinė transformatorių pastotės schema ($q_{av}=2,531$).



3.6 pav. Programomis „Arbre Analyste“ ir „OpenFTA“, bei Monte – Karlo metodu gautų keturių tipų schemų gedimo tikimybių verčių palyginimas

Darbe keturių tipų schemų patikimumo analizė, kaip jau minėta anksčiau, buvo atlikta dvejomis skirtingomis kompiuterinėmis programomis „Arbre Analyste“ ir „OpenFTA“ gedimų medžio bei Monte - Karlo metodais. Programa „OpenFTA“, kitaip nei programa „Arbre Analyste“, schemų patikimumas yra įvertinamas nustatant tik sistemos gedimo tikimybę. Dėl šios priežasties, atliekant sudarytų modelių ir programų atliekamų skaičiavimų tikslumo palyginimą, yra vertinamos tik nagrinėjamų schemų gedimo tikimybių vertės. Kompiuterinėmis programomis „Arbre Analyste“ ir „OpenFTA“ gautų keturių tipų schemų arba jų dalies gedimo tikimybių vertės yra pateikiamos 3.3 lentelėje. Remiantis šiais duomenimis sudaryta diagrama pateikiama 3.6 paveiksle, kuri leidžia atlikti vizualinį skirtingomis programomis gautų keturių tipų schemų gedimo tikimybių verčių tarpusavio palyginimą. Analizuojant gautus duomenis, nustatyta, kad abejomis programomis gautos gedimų tikimybių vertės yra labai artimos viena kitai. Pavyzdžiui, pusantrų jungtuvo schemas konfigūracijos gedimo tikimybė, gauta programa „Arbre Analyste“, yra lygi 0,0117, o programa „OpenFTA“ - 0,011629 ir Monte - Karlo metodu - 0,011636. Tai parodo, kad schemų gedimų medžių modeliai programomis „Arbre Analyste“ ir „OpenFTA“ buvo sudaryti teisingai ir, kad schemų komponentų rodikliai parinkti bei modelyje panaudoti tinkamai, o minimalūs rezultatų verčių skirtumai galėjo atsirasti dėl taikyto įvesties

duomenų konvertavimo ir apvalinimo, bei pačiose kompiuterinėse programose modeliavimo metu atliekamų schemų supaprastinimo ir duomenų apvalinimo veiksmų.

Galima pastebėti, kad 3.3 lentelėje bei 3.6 paveiksle pateikiamų gedimų tikimybių verčių tikslumas priklauso nuo naudojamos programos. Rezultatai gaunami programa „OpenFTA“ yra tikslesni nei gaunami programa „Arbre Analyste“. Pastarojoje programoje rezultatas pateikiamas keturių skaičių po kablelio tikslumu, kai tuo tarpu programoje „OpenFTA“ rezultatas yra pateikiamas šešių ir daugiau skaičių po kablelio tikslumu. Dėl šios priežasties pastarąja programa atliekami skaičiavimai trunka ilgiau nei programa „Arbre Analyste“ atliekami skaičiavimai.

Monte - Karlo metodu gautų rezultatų tikslumas priklauso nuo atliekamų pakartotinių operacijų (ciklų) skaičiaus. Kuo didesnis šis skaičius - tuo tikslesni ir artimesni realiems gaunami rezultatai. Darbe atliekant skaičiavimus Monte - Karlo metodu buvo parinktas 10 milijonų ciklų skaičius. Didinti atliekamų pakartotinių operacijų skaičiaus daugiau nei nustatyta darbe prasmės nėra, nes rezultatų tikslumas beveik nebekinta ir didelis ciklų skaičius pailgina modeliavimo trukmę, kas yra visiškai neefektyvu. Kadangi Monte - Karlo metodas yra skaitmeninis sistemos veikimo imitavimo metodas, tai jo sugeneruotų rezultatų tikslumui įvertinti yra pateikiama kiekvieno atlikto skaičiavimo paklaida (pateikiama 3.3 lentelėje).

IŠVADOS

1. Atlikta aukštos įtampos transformatorių pastočių patikimumo nustatymo principų ir jose naudojamų įrenginių patikimumo analizė rodo, kad pastočių schemų patikimumui nustatyti tinkamiausi loginių patikimumo schemų analize pagrįsti analitiniai metodai, tarp kurių ir darbe taikoma gedimų medžio analizė. Nustatyta, kad dažniausiai naudojami patikimumo rodikliai pastočių schemoms vertinti yra gedimo tikimybė, gedimų intensyvumas, vidutinė atkūrimo trukmė, vidutinis atjungimo dažnis bei santykinė maitinimo nutraukimo trukmė. Taip pat buvo nustatyta, kad didžiausią įtaką aukštos įtampos transformatorių pastočių schemų patikimumui turi tokie jose naudojami įrenginiai: elektros linijos, srovės ir įtampos transformatoriai, komutaciniai įrenginiai bei šynos. Jų patikimumas nusakomas literatūroje bei žinynuose pateikiamomis gedimų intensyvumo, vidutinės atkūrimo trukmės bei kitomis patikimumo rodiklių vertėmis. Elektros įrenginių būklę, o kartu ir patikimumą, dažnai lemia konstrukcinių ir izoliacinių medžiagų kokybė, eksploataavimo trukmė ir sąlygos, aplinkos veiksniai bei laiku atliekama gedimų priežasčių kontrolė ir analizė.

2. Atlikus aukštos įtampos transformatorių pastočių tipinių schemų variantų, jų patikimumo ir skaičiavimo metodikos apžvalgą, nustatyta, kad pagal daugelį rodiklių mažiausiai patikimos yra schemos, sudarytos iš dvigubos ir viengubos sekcionuotos šynų sistemos bei apeinamųjų šynų sistemos. Taip pat išsiaiškinta, kad patikimos ir santykinai pigios yra šynų ir linijos bei kombinuoto kvadrato schemos. Jos daug pigesnės nei schemos, sudarytos iš surinkimo šynų. Be to nustatyta, kad pačios patikimiausios yra dviejų transformatorių, daugiakampio ir pusanthro jungtuvo schemos. Tačiau, kai elektros linijų yra ne daugiau kaip keturios, šios schemos nedaug patikimesnės už šynų ir linijos bei kombinuoto kvadrato schemas, be to yra gana brangios. Nustatyta, kad daugeliui svarbių elektros energetikos sistemos mazgų, kai prijungimų yra ne daugiau kaip šeši, rekomenduojama naudoti kombinuoto kvadrato bei šynų ir linijos schemas kaip gana patikimas ir ekonomiškas. Atlikus skaičiavimo metodikos apžvalgą nustatyta, kad pastočių schemų patikimumo charakteristikoms apskaičiuoti tinkamiausi yra gedimų medžio analizė ir Monte - Karlo metodas.

3. Sudaryti aukštos įtampos transformatorių pastočių pusanthro jungtuvo, daugiakampio su keturiais jungtuvais, tranzitinės bei mazginės schemų patikimumo modeliai, pritaikant gedimų medžio analizę ir panaudojant kompiuterines modeliavimo programas „Arbre Analyste“ ir „OpenFTA“. Schemos modelių sudarymui ir analizei parinktos atsižvelgiant į aukštas jų patikimumo rodiklių vertes.

4. Atlikti sudarytų keturių tipų (pusantro jungtuvo, daugiakampio su keturiais jungtuvais, tranzitinės bei mazginės) transformatorių pastočių schemų patikimumo skaičiavimai programomis „Arbre Analyste“ ir „OpenFTA“, remiantis gedimų medžio bei Monte - Karlo metodais. Schemų patikimumui nustatyti darbe yra vertinamos jungtuvų, skyriklių, srovės bei įtampos transformatorių, linijų ir šynų patikimumo rodiklių vertės, kurios parinktos atsižvelgiant į Lietuvoje naudojamų transformatorių pastočių įrenginių patikimumo rodiklių vertes ir yra lygios arba artimos realioms, statistiniu būdu surinktomis, vertėms. Schemų patikimumo rodiklių vertės kompiuterinėmis programomis gautos esant trimis skirtingiems baigiamiesiems įvykiams: „energijos nepatiekimas abiem apkrovoms“, „energijos nepatiekimas linijai a“ ir „energijos nepatiekimas linijai b“. Programa „Arbre Analyste“ yra gaunami tokie schemas patikimumo rodikliai: visos schemas arba jos dalies gedimo tikimybė; visos schemas arba jos dalies gedimų intensyvumas; vidutinis vartotojų (apkrovos) atjungimų dažnis; vidutinė visos schemas arba jos dalies atkūrimo trukmė; santykinė maitinimo nutraukimo trukmė. Kai tuo tarpu programa „OpenFTA“ gaunama tik visos schemas arba jos dalies gedimo tikimybė.

5. Atlikus rezultatų, gautų kompiuterinėmis programomis „Arbre Analyste“ ir „OpenFTA“, palyginimą, nustatyta, kad patikimiausia yra aukštos įtampos transformatorių pastotėse naudojama pusantro jungtuvo schemas konfigūracija. Pagal keturis iš penkių darbe vertinamus patikimumo rodiklius (gedimo tikimybę, kuri yra pagrindinis schemų patikimumą įvertinantis rodiklis, gedimų intensyvumą, vidutinį atjungimo dažnį bei santykinę maitinimo nutraukimo trukmę) ši schema yra patikimiausia iš visų keturių darbe analizuotų schemų konfigūracijų (pusantro jungtuvo, daugiakampio su keturiais jungtuvais, tranzitinės bei mazginės). Taip pat nustatyta, kad daugiakampio schemas konfigūracija pasižymi tik šiek tiek mažesniu patikimumu nei pusantro jungtuvo schemas konfigūracija, kas nusako aukštą šios schemas patikimumo lygį. Be to nustatyta, kad iš darbe analizuotų schemų konfigūracijų mažiausius patikimumo rodiklius turi mazginės bei tranzitinės schemų konfigūracijos. Nors darbe šios schemų konfigūracijos, lyginant su pusantro jungtuvo bei daugiakampio, yra mažiau patikimos, tačiau jas lyginant su visomis aukštos įtampos transformatorių pastotėse naudojamomis schemų konfigūracijomis, šios schemų konfigūracijos turi vidutinius patikimumo rodiklius. Nustatyta, kad nors mazginės bei tranzitinės schemų konfigūracijos turi mažiausius patikimumo rodiklius, tačiau pagal pagrindinį schemų patikimumą įvertinantį rodiklį (gedimo tikimybę) bei du papildomus patikimumo rodiklius iš darbe analizuotų keturių tipų schemų konfigūracijų, mažiausiai patikima yra tranzitinė schema. Todėl atlikus gautų rezultatų palyginimą ir įvertinimą, siekiant Lietuvoje padidinti naudojamų aukštos įtampos transformatorių pastočių schemų

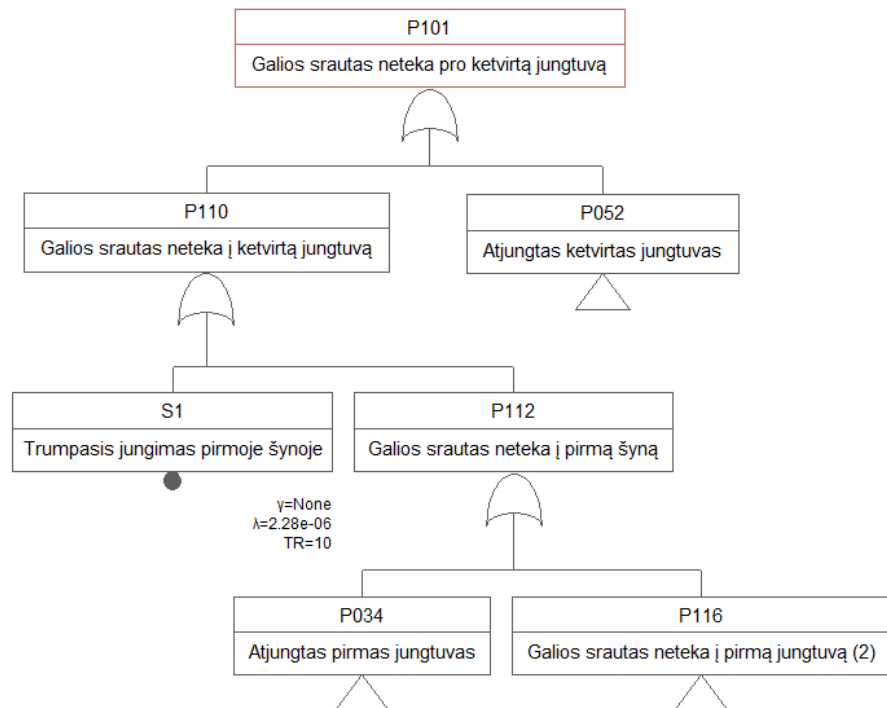
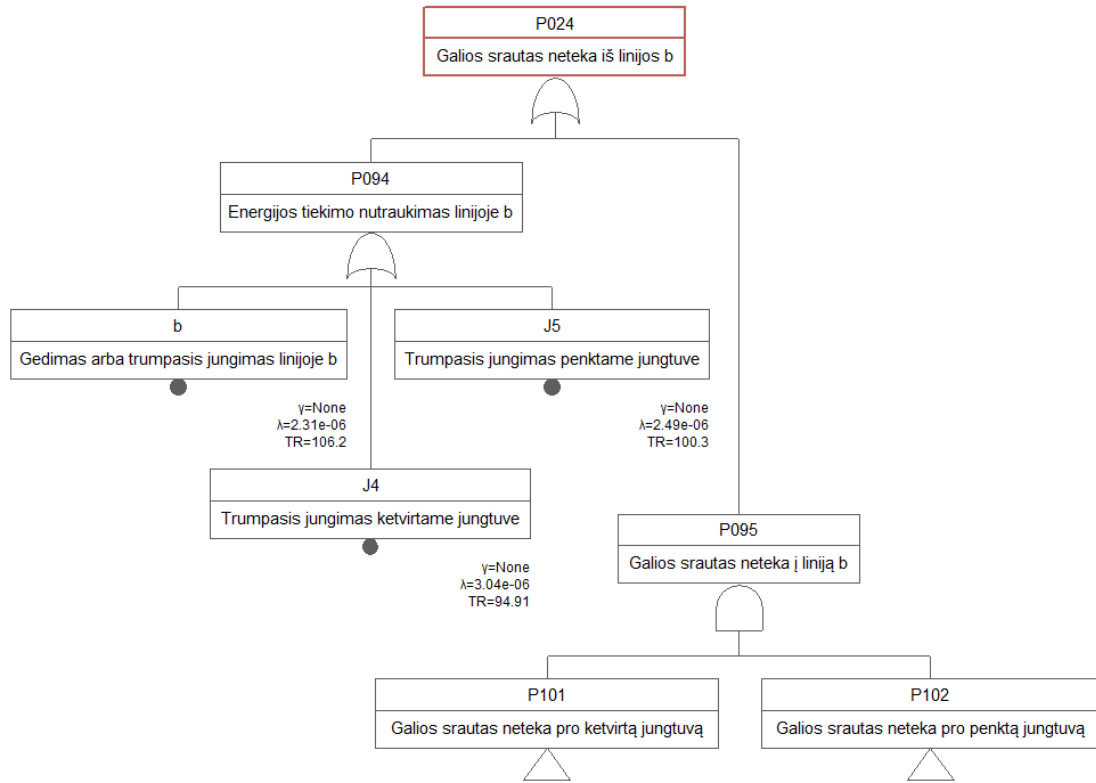
patikimumą, rekomenduojama pakeisti pastotėse naudojamas tranzitinių, blokinių bei kitų tipų schemų konfigūracijas pusantro jungtuvo schemas, kaip užtikrinančios patikimiausią pastotės darbą, konfigūracija arba daugiakampio schemas konfigūracija.

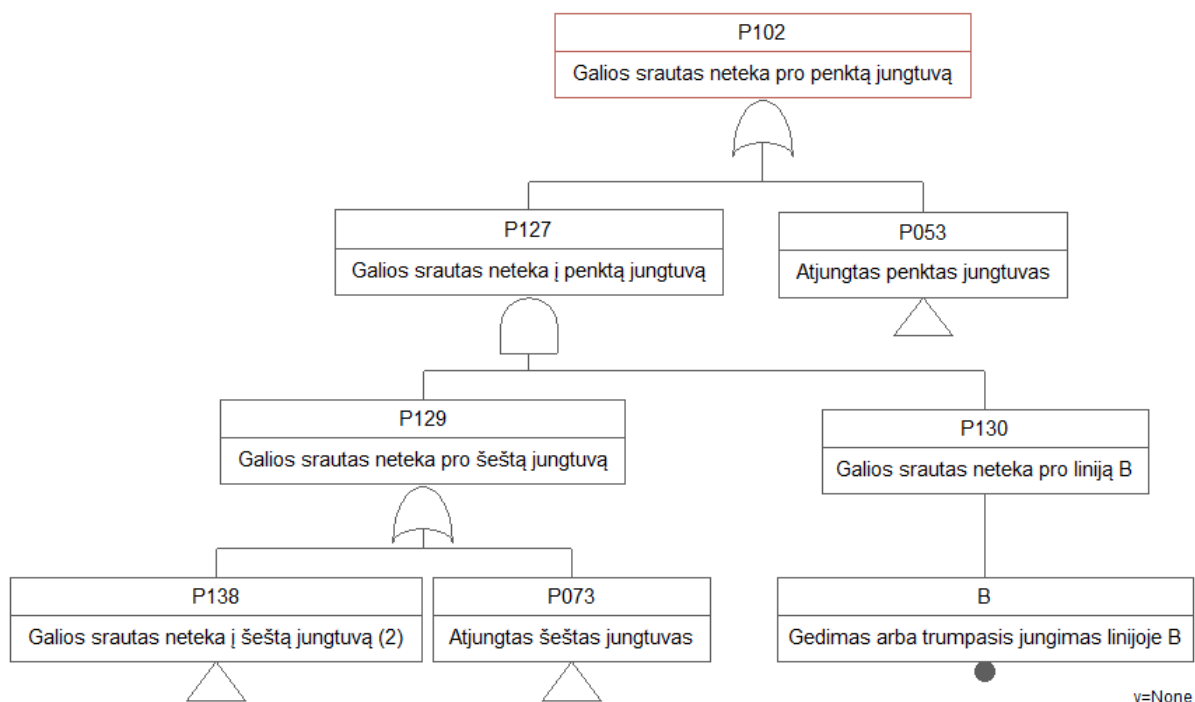
LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Navickas, A. Elektros energetikos sistemų patikimumas. Kaunas: Technologija, 2007, 206 p.
2. Zongyu, L. Reliability Analysis of Breaker Arrangements in High Voltage Stations. Goteborg: Chalmers University of Technology, 2008, 91 p.
3. Billinton, R. Reliability Evaluation of Power System. New York: Plaanum Pres, 1996, 473 p.
4. Leitch Roger, D. Reliability Analysis for Engineers. New York: Oxford University Press, 1995, 248 p.
5. Chen, F. Evaluation of Substation Bus Schemes Considering Reliability. Qingdao, 2010, 6 p.
6. Lewis, E. E. Introduction to Reliability Engineering. Illinois: Northwestern University Evanston, 1994, 464 p.
7. Gečys, S. Elektros įrenginių patikimumas ir eksploatacija. Kaunas: Technologija, 2005, 137 p.
8. Hoyland, A. System Reliability Theory. New York: John Wiley and Sans, 2004, 664 p.
9. Wang, F. Reliability Evaluation of Substations Subject to Protection Failures. Delft: Delft University of Technology, 2012, 110 p.
10. Kumar, N. EHVAC Substation Reliability Evaluation using Simulation Approach-Case Study. Tirupati: SVU College of engineering, 2013, 8 p.
11. Nack, D. Reliability of Substation Configurations. Ames: Iowa State University, 2005, 19 p.
12. Bourezg, A. Reliability analysis of breaker arrangements in distribution substations. Boumerdes: University of Boumerdes, 2014, 7 p.
13. Vikesjo, J. Reliability Comparison Between Different 400 kV of Substation Designs. Goteborg: Chalmers University of Technology, 2008, 66 p.
14. Svinkūnas, G., Navickas, A. Elektros energetikos pagrindai. Kaunas: Technologija, 2013, 228 p.
15. Retterath, B. Decoupled substation reliability assessment. Ames: Iowa State University, 2005, 7 p.
16. Desai, I. Reliability Improvement of Extra High Voltage Substation. Ahmedabad: Nirma University, 2011. 6 p.

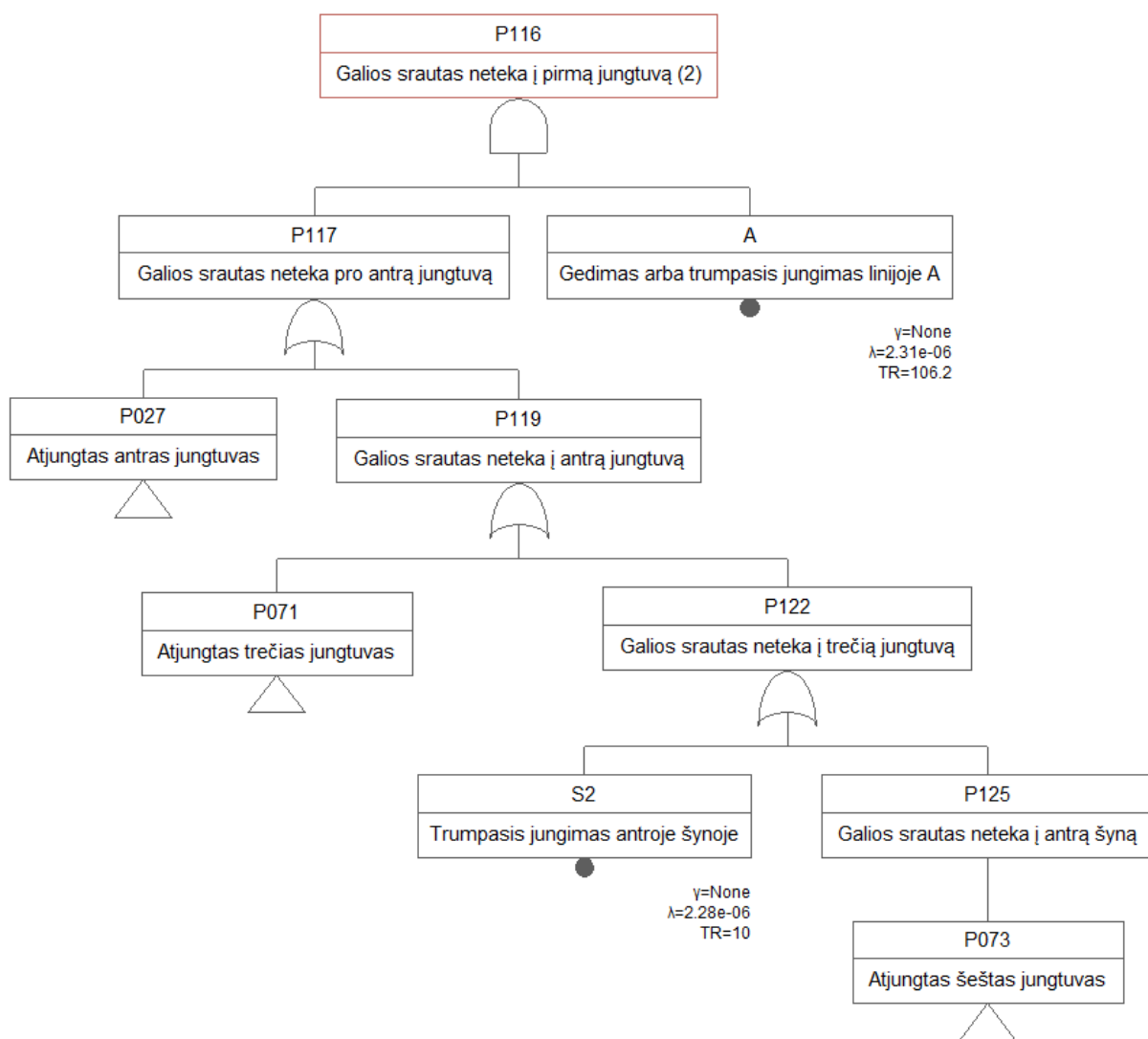
PRIEDAI

Priedas 1. Transformatorių pastotės pusanthro jungtuvo schemos analizės su programa „Arbre Analyste“ gedimų medžio modelis linijai b



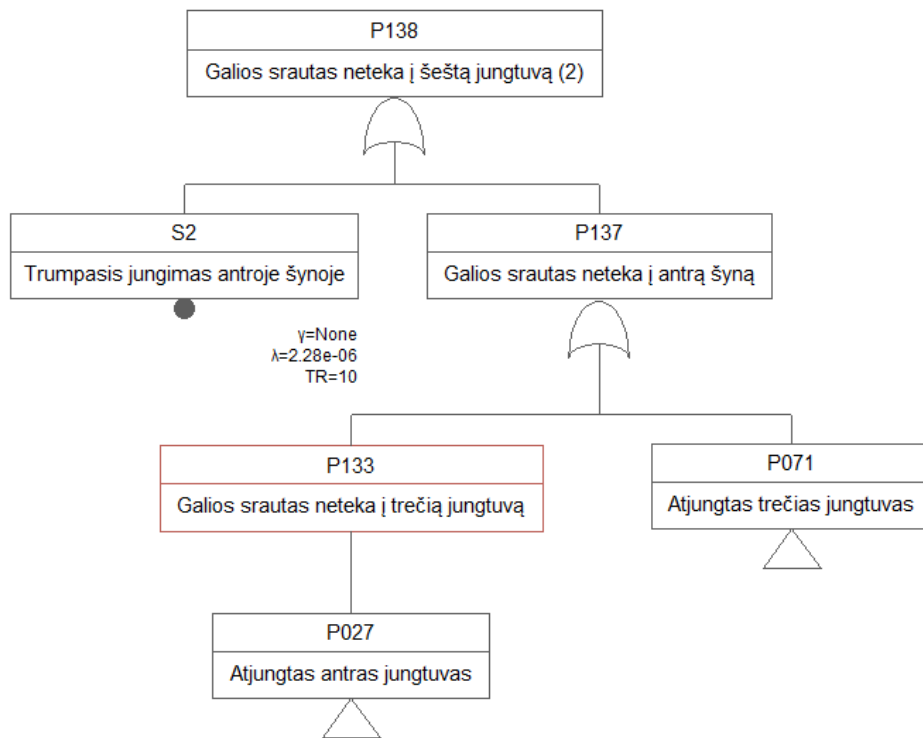


$\gamma=$ None
 $\lambda=2.31e-06$
 $TR=106.2$

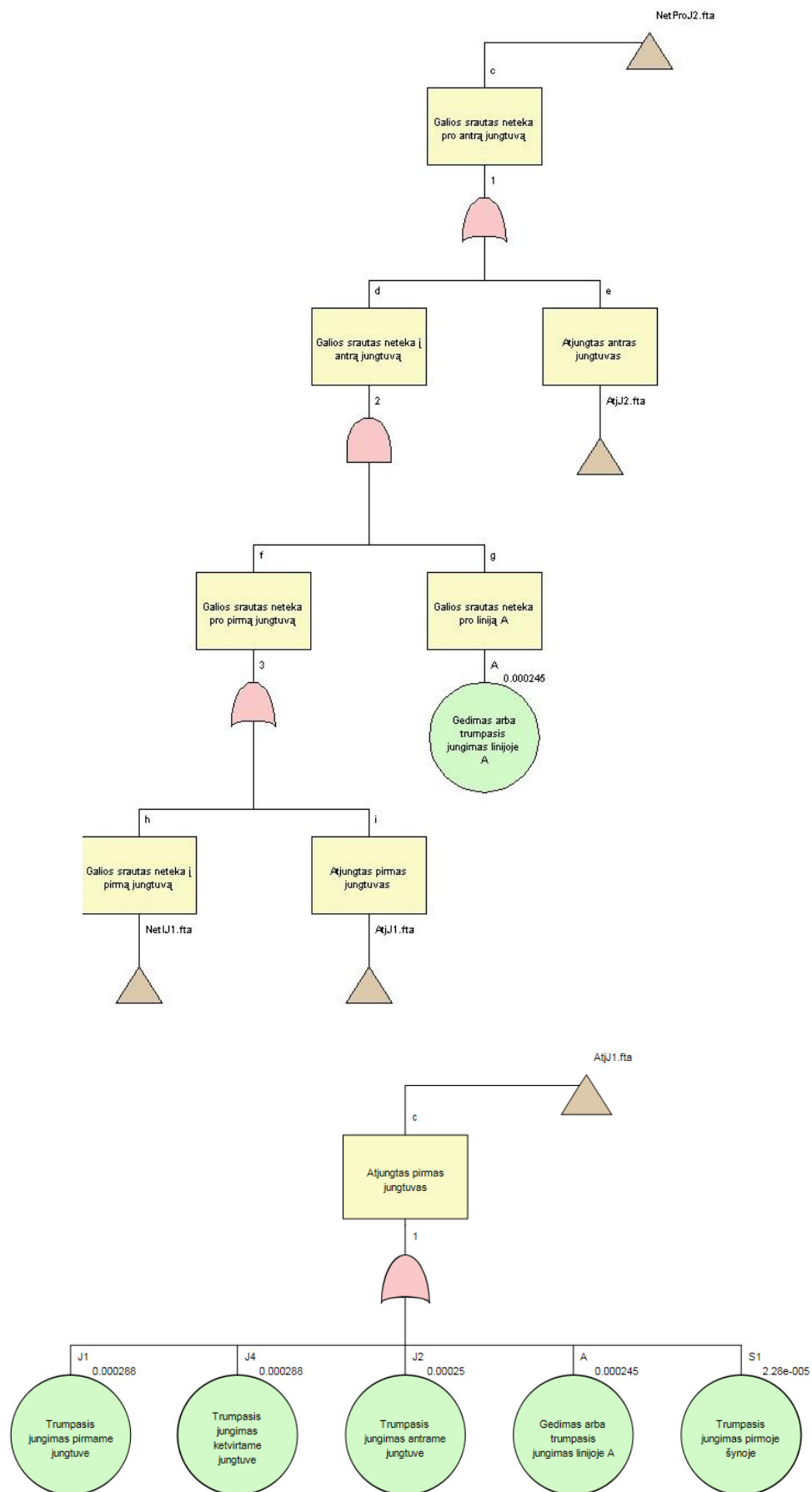


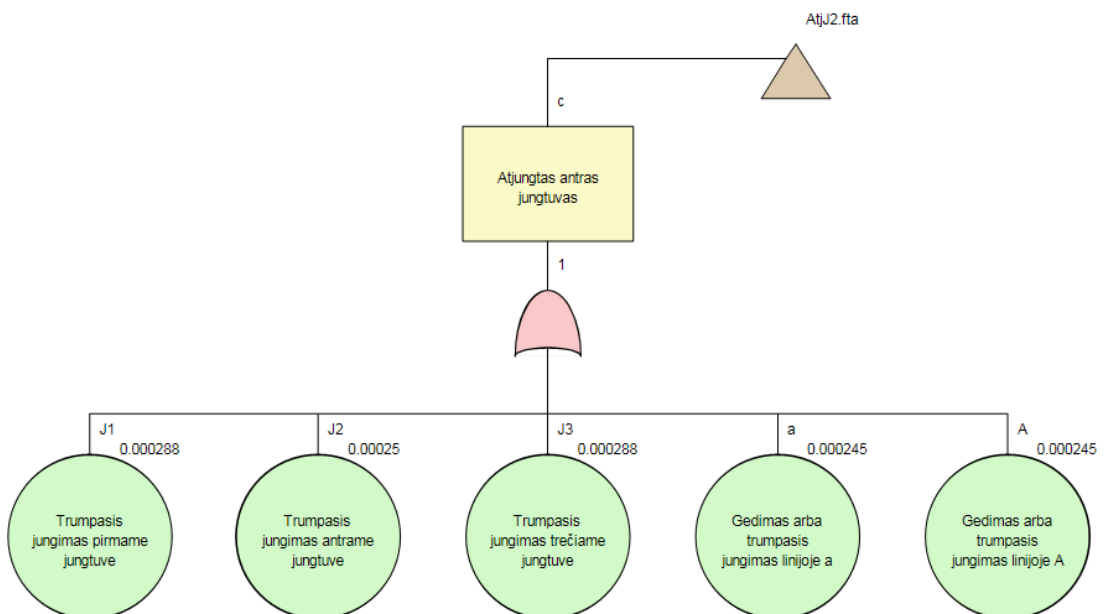
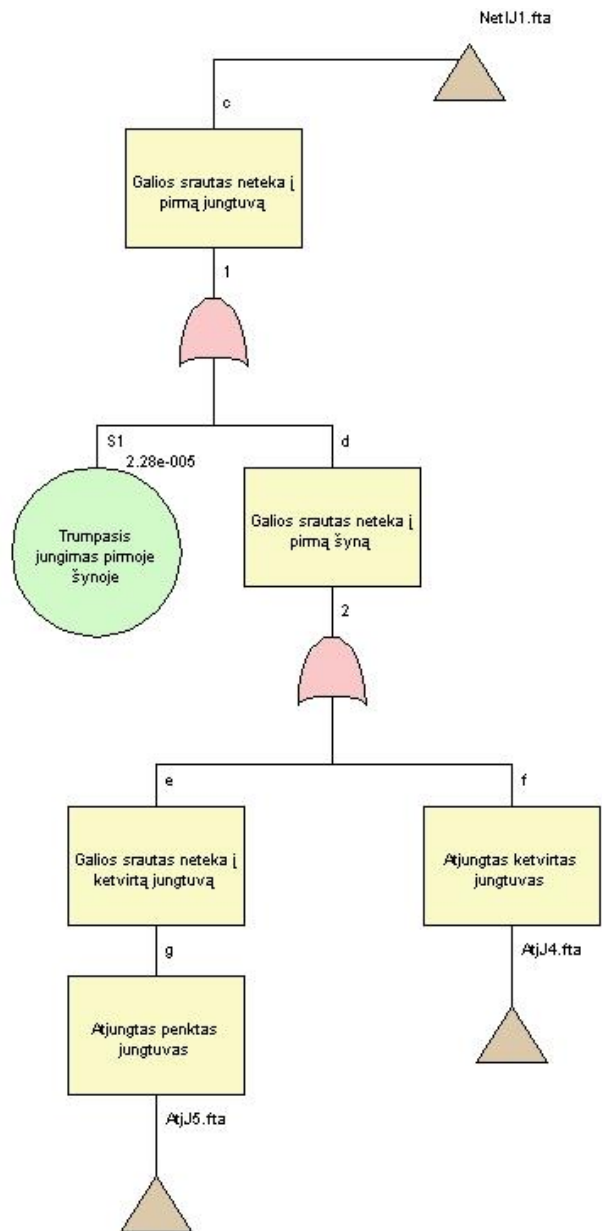
$\gamma=$ None
 $\lambda=2.31e-06$
 $TR=106.2$

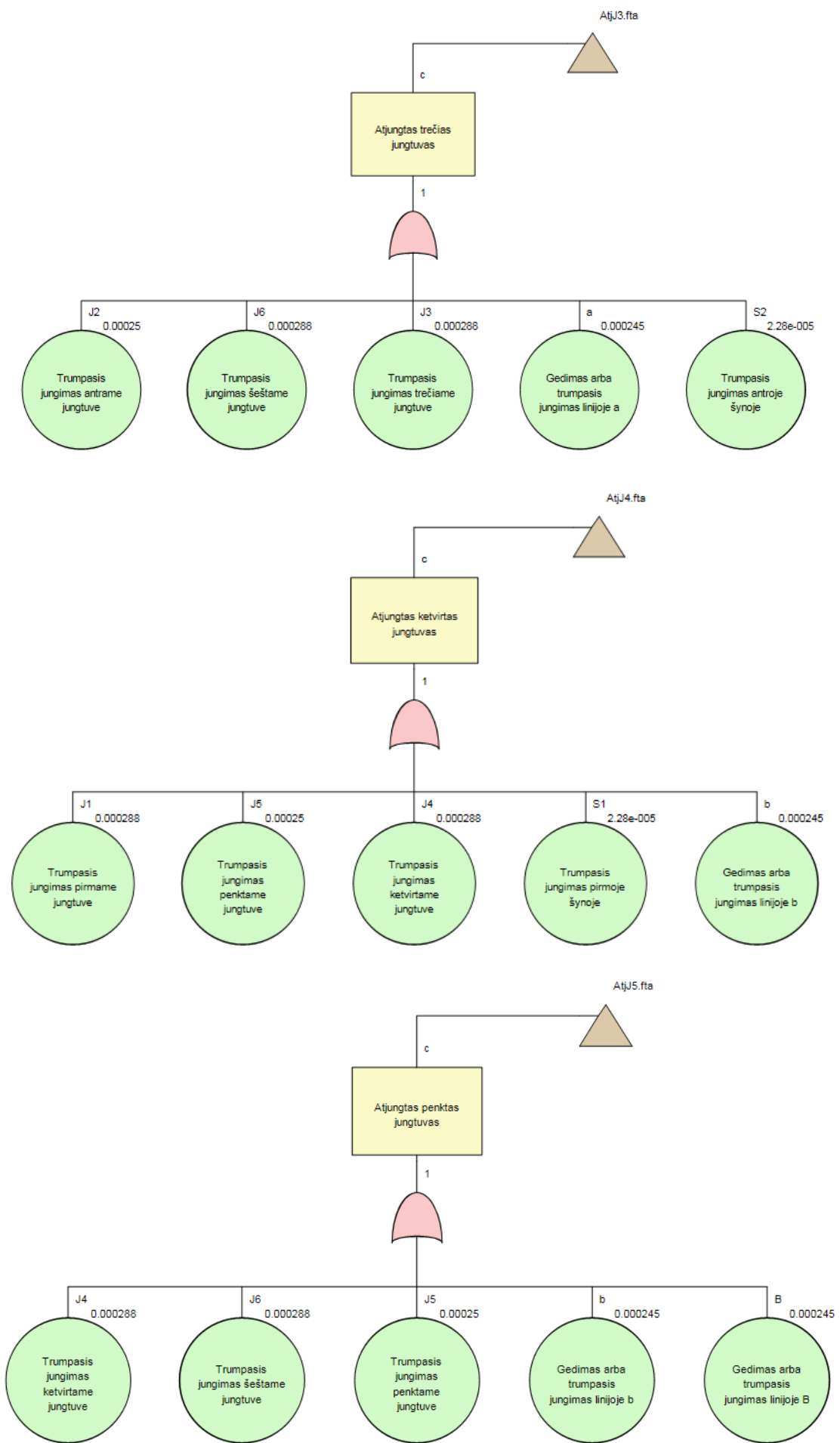
$\gamma=$ None
 $\lambda=2.28e-06$
 $TR=10$

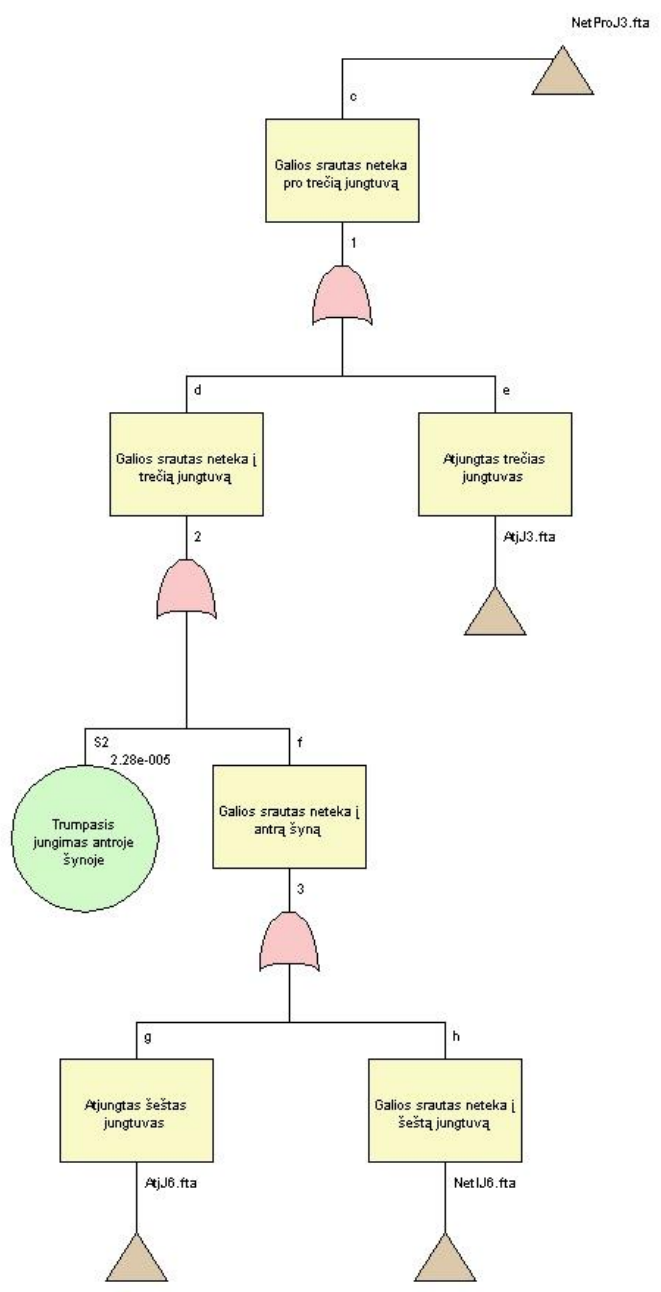
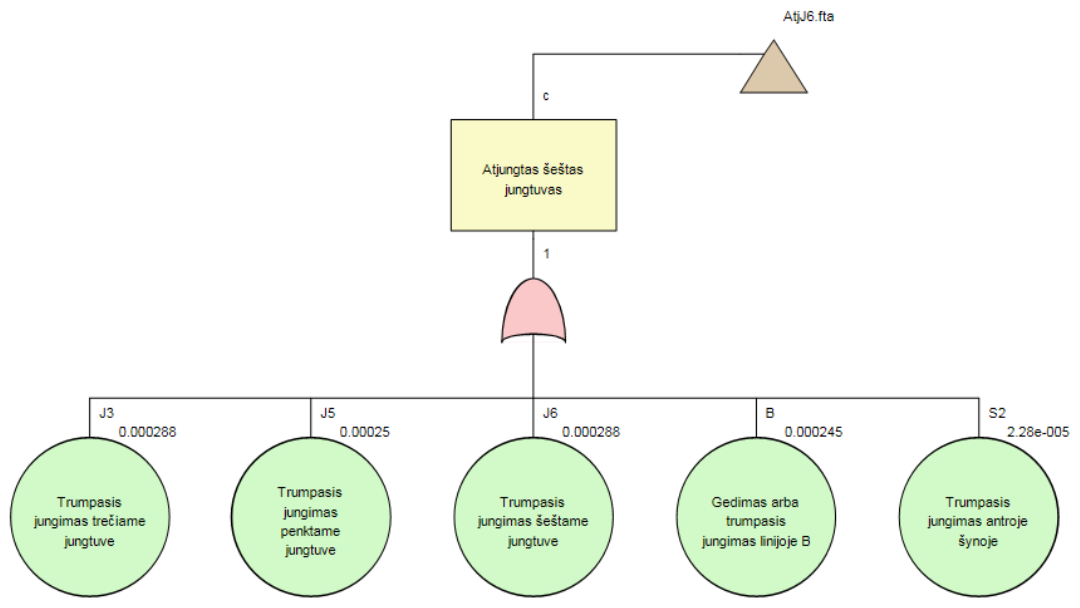


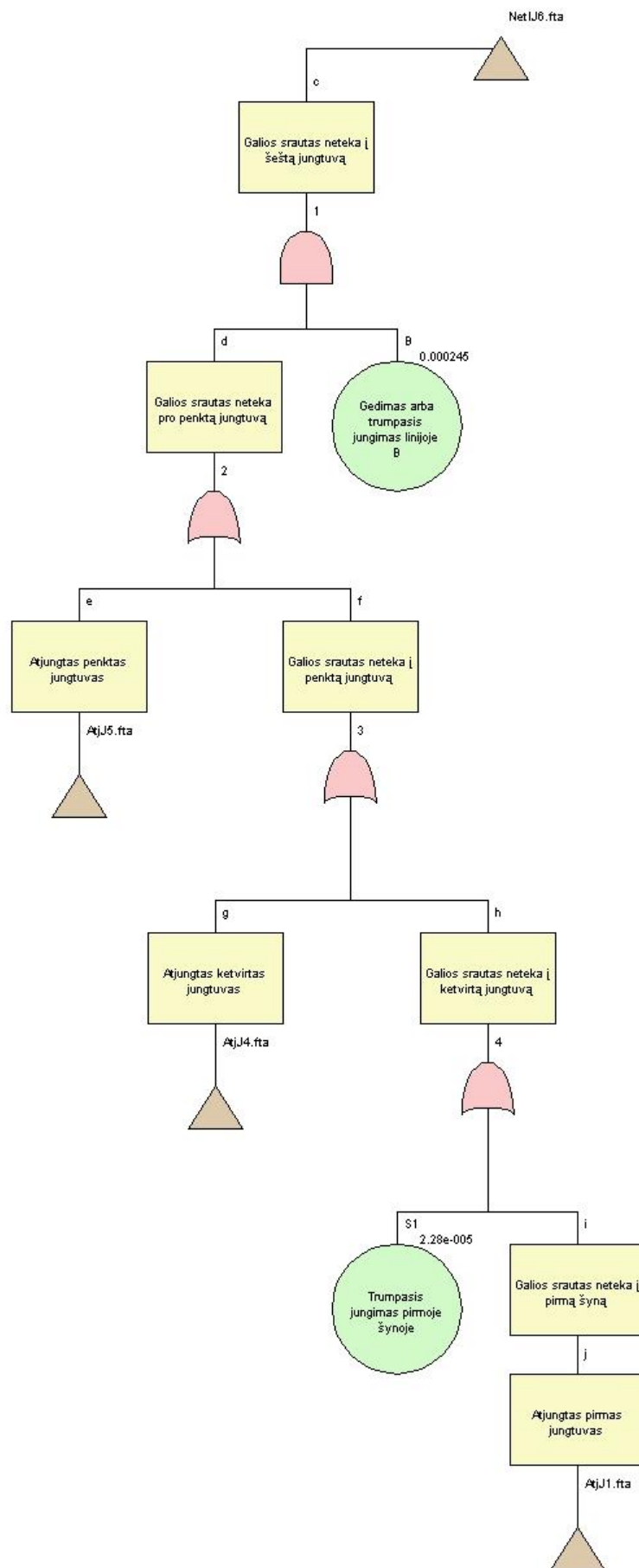
Priedas 2. Transformatorių pastotės pusantrų jungtuvo schemos analizės su programa „OpenFTA“ gedimų medžio modelis



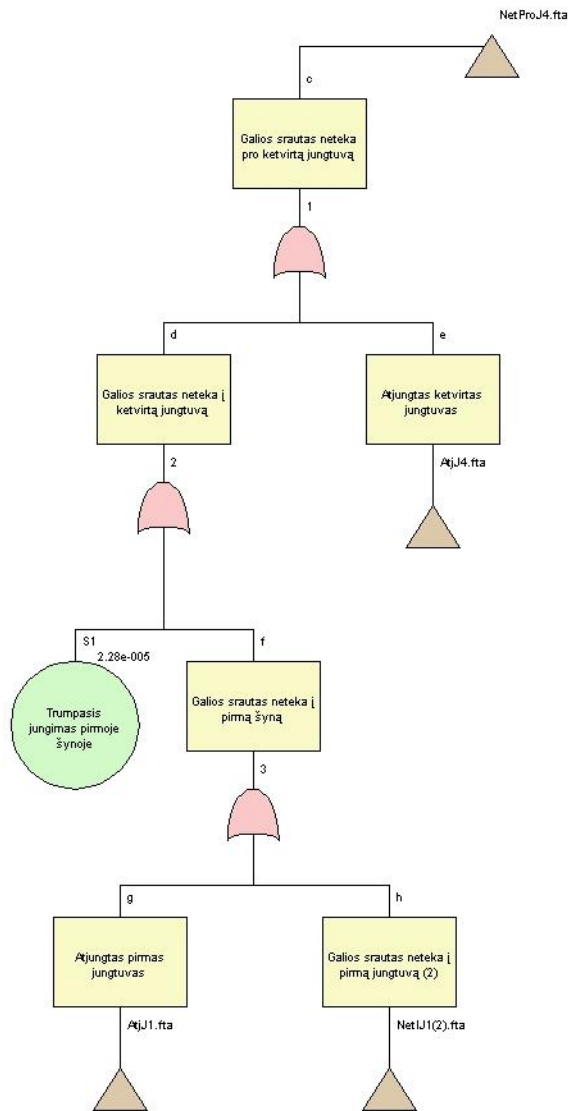
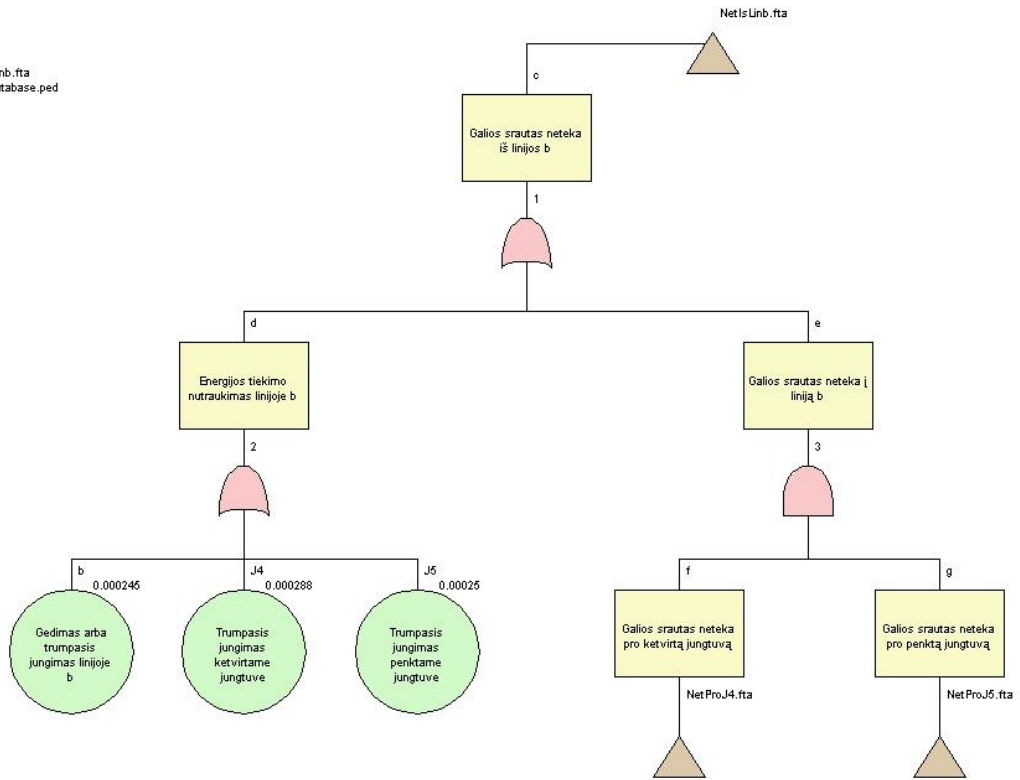


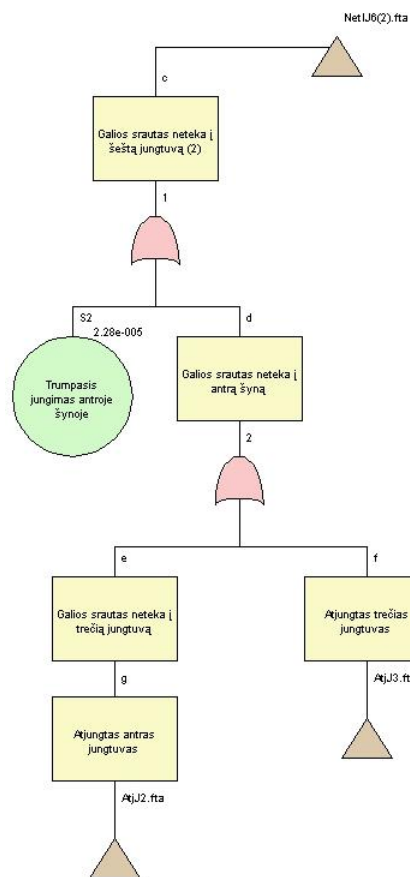
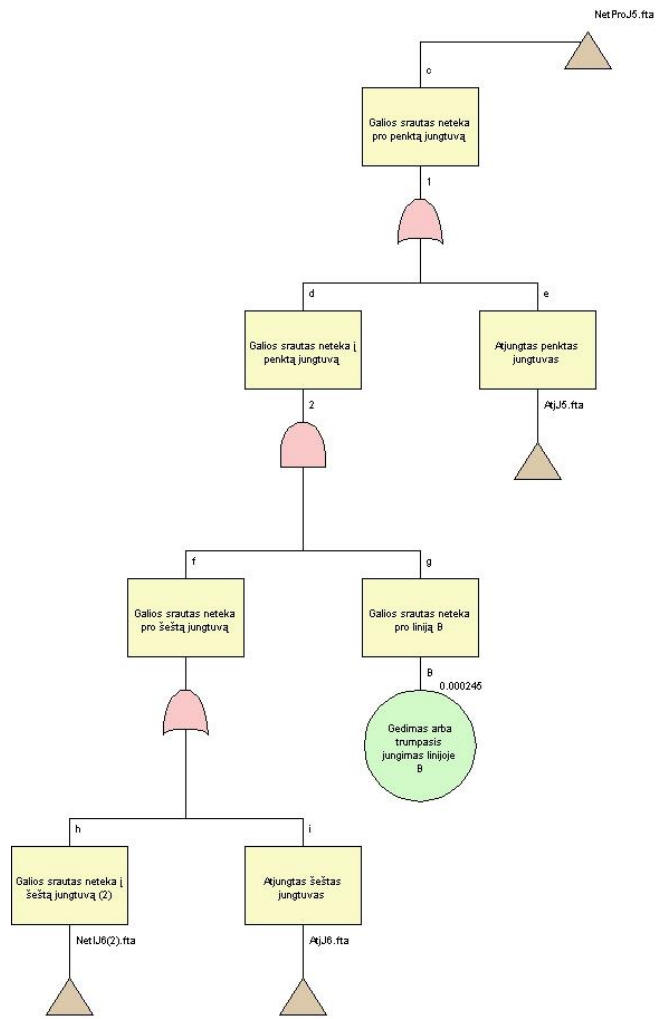


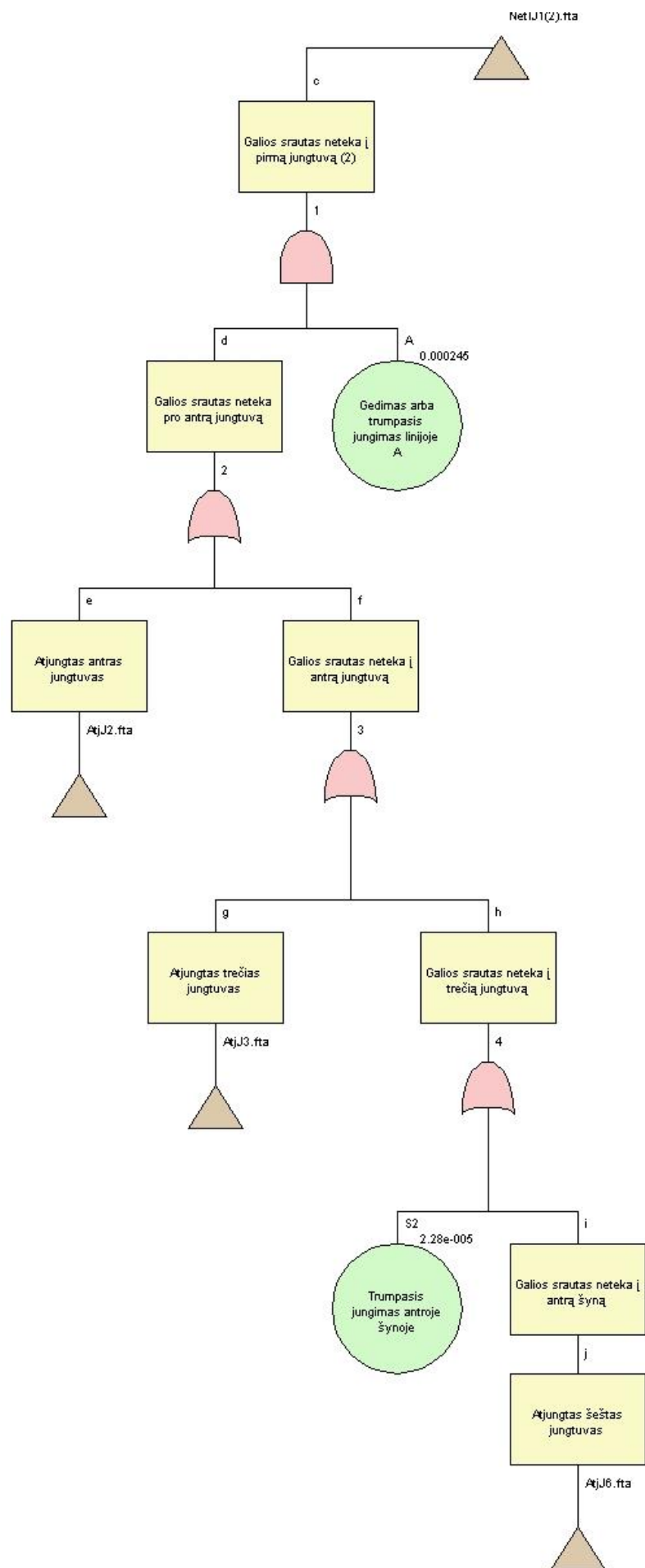




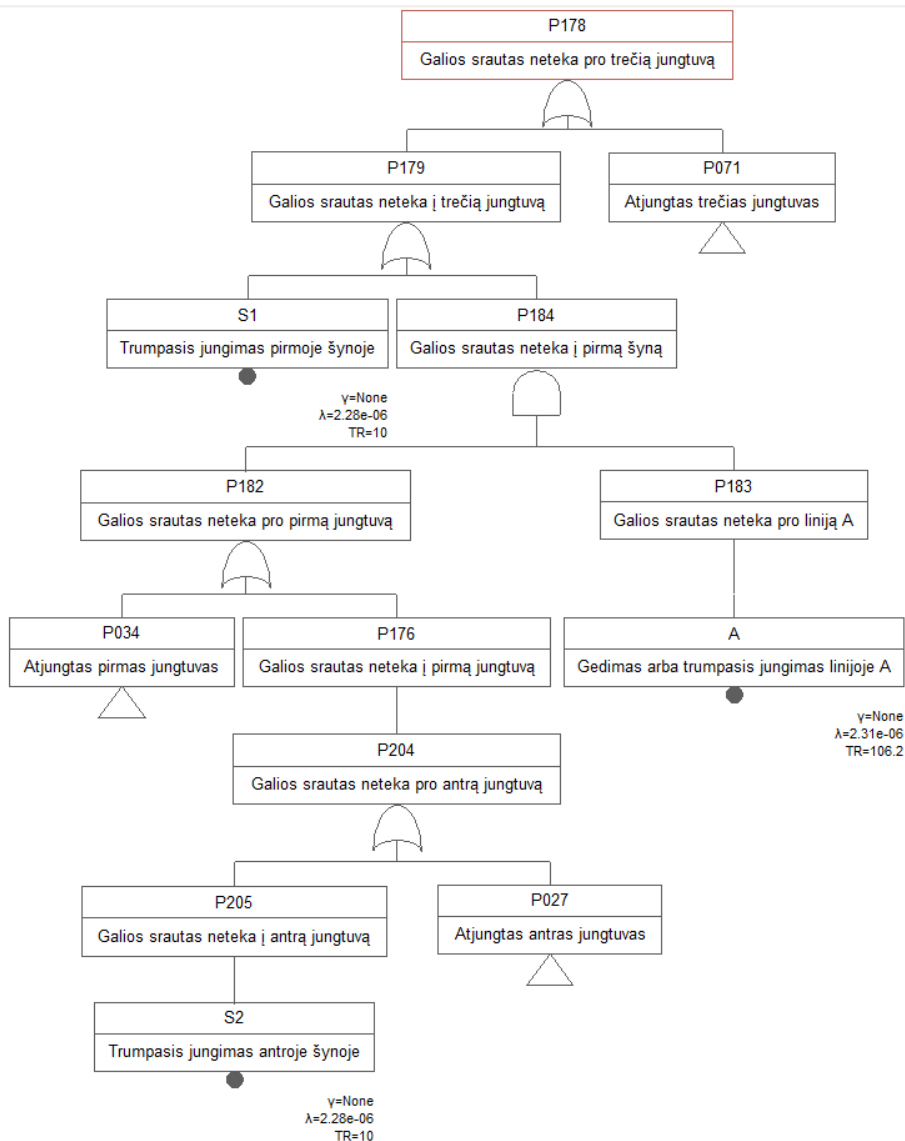
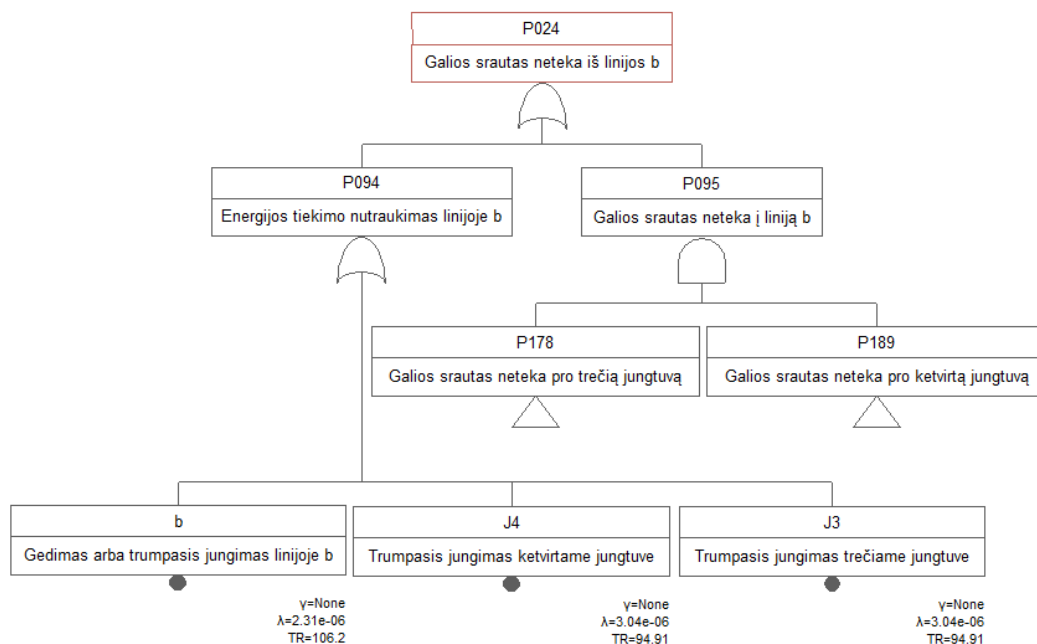
nb.fta
ftabase.ped

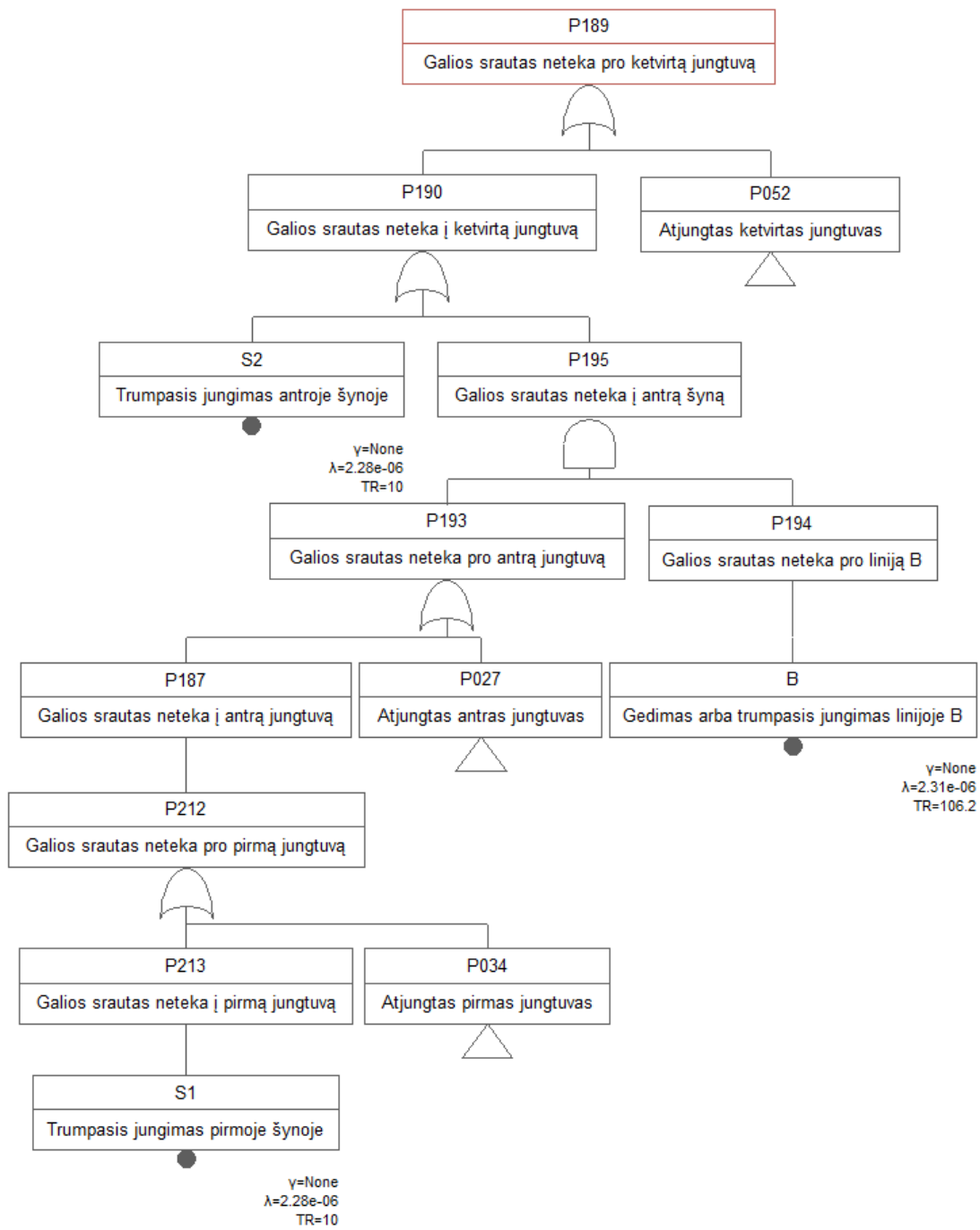






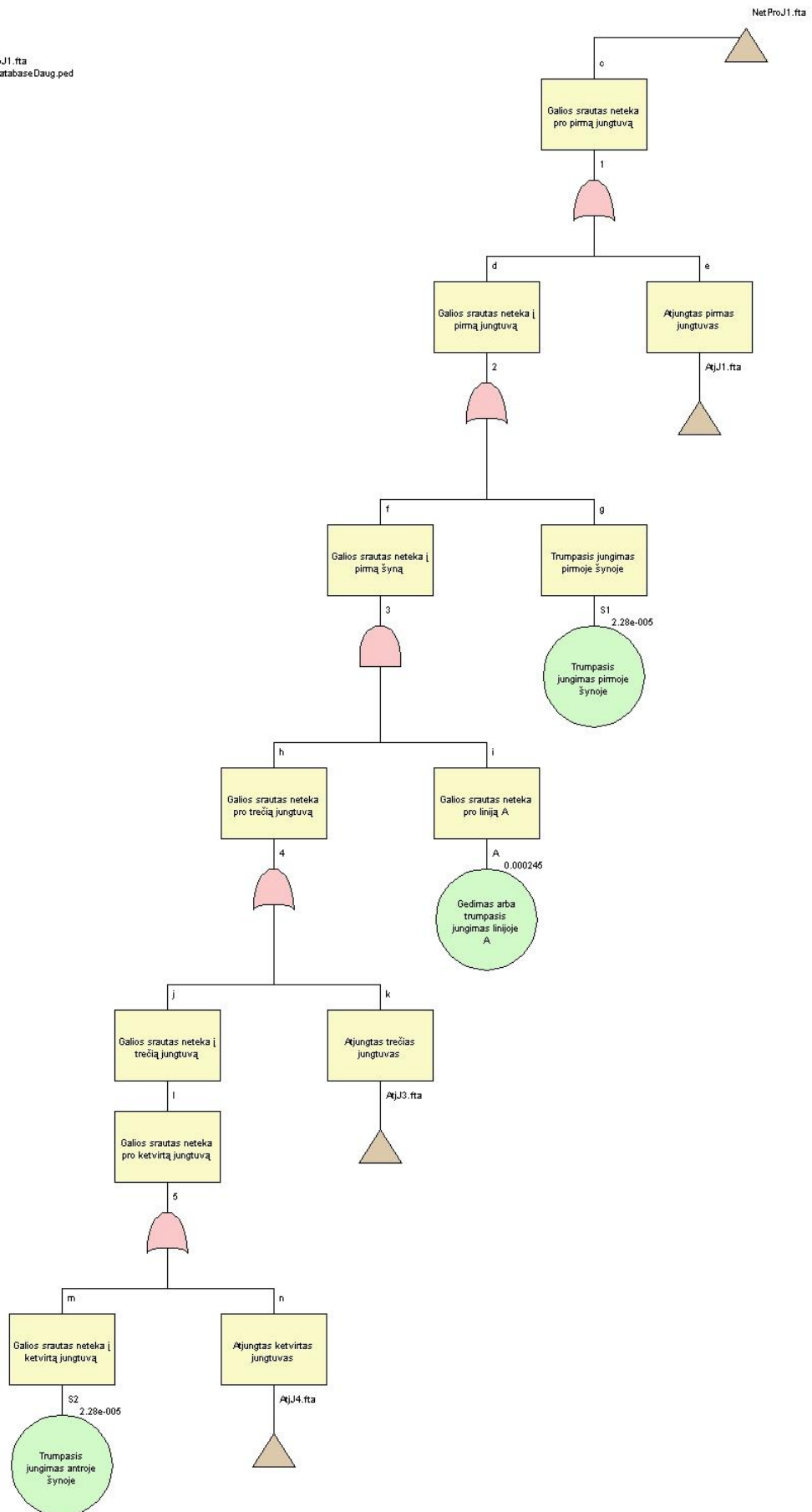
Priedas 3. Transformatorių pastotės daugiakampio su keturiais jungtuvais schemas analizės su programa „Arbre Analyste“ gedimų medžio modelis linijai b



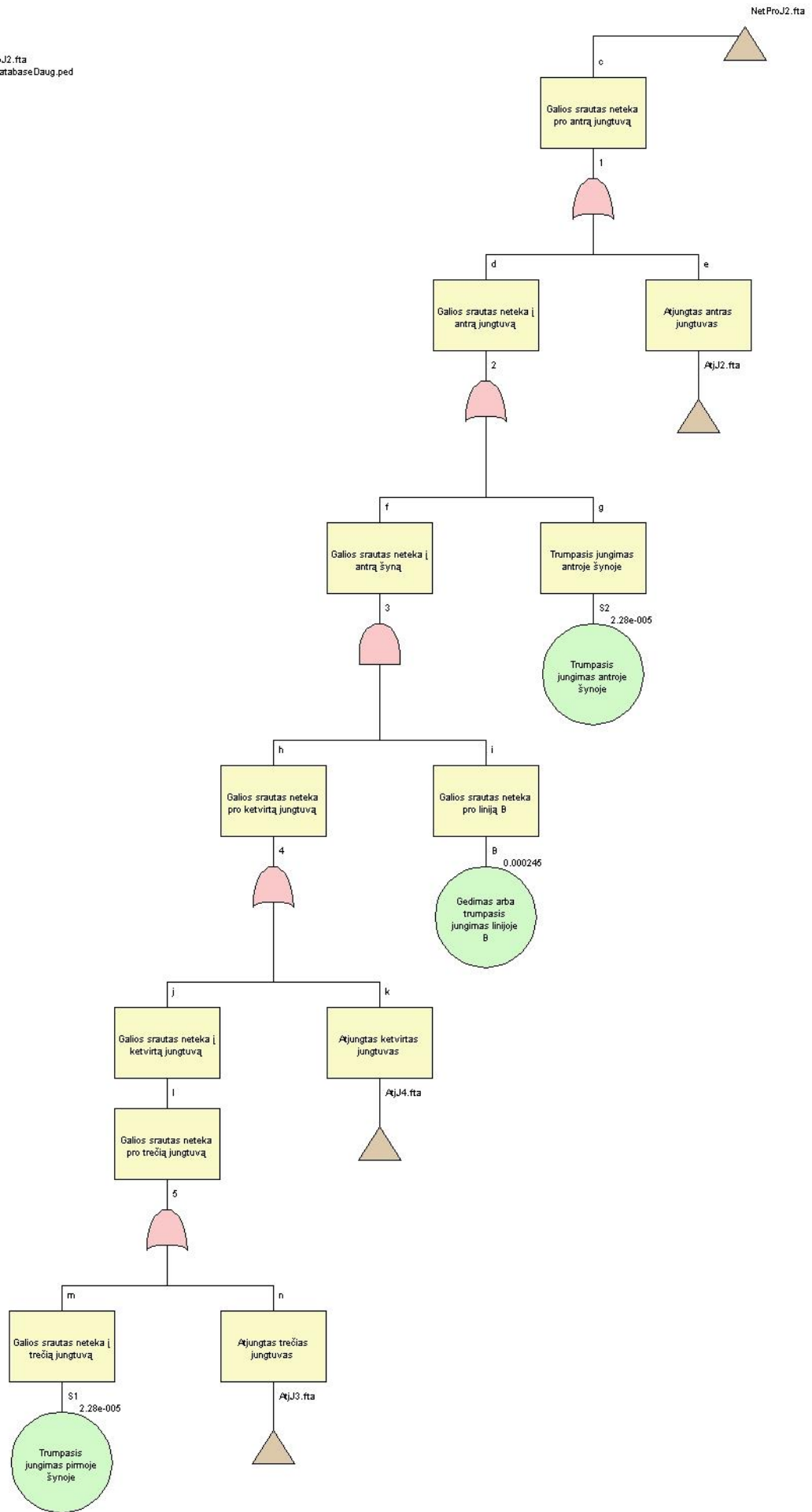


Priedas 4. Transformatorių pastotės daugiakampio su keturiais jungtuvais schemas analizės su programa „OpenFTA“ gedimų medžio modelis

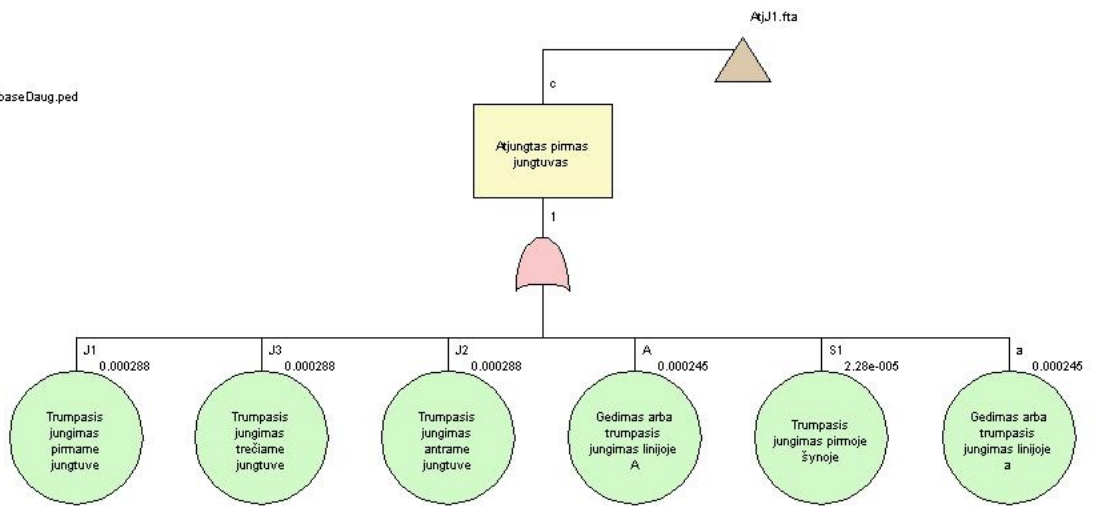
Tree: NetProJ1.fta
Database: databaseDaug.ped



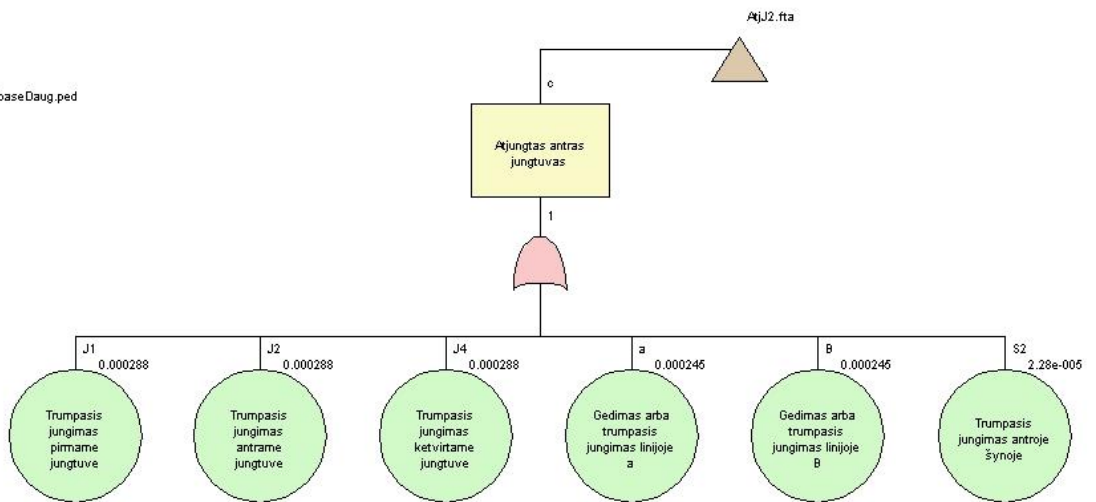
Tree: NetProJ2.fta
Database: databaseDaug.ped



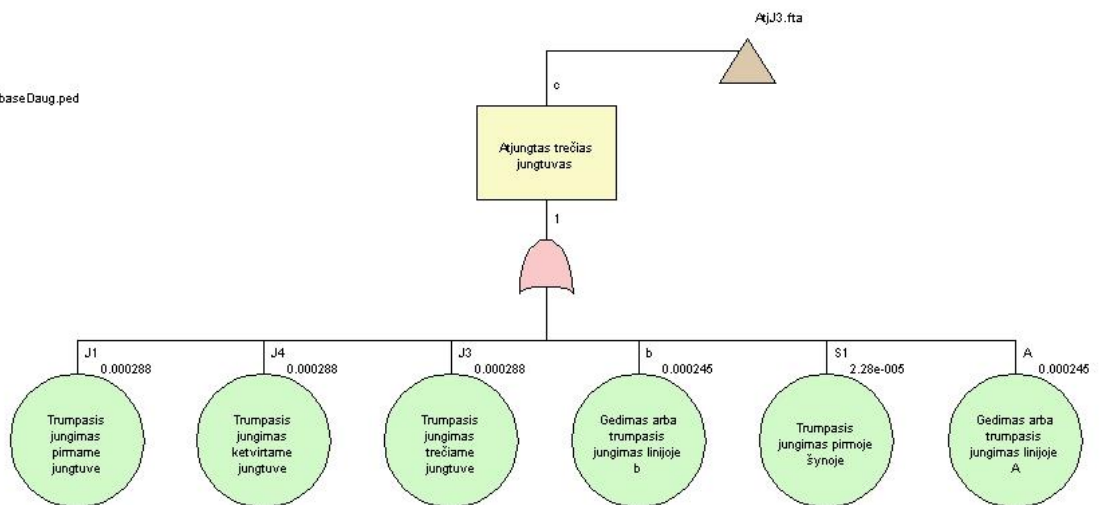
Tree: Ajj1.fta
 Database: databaseDaug.ped



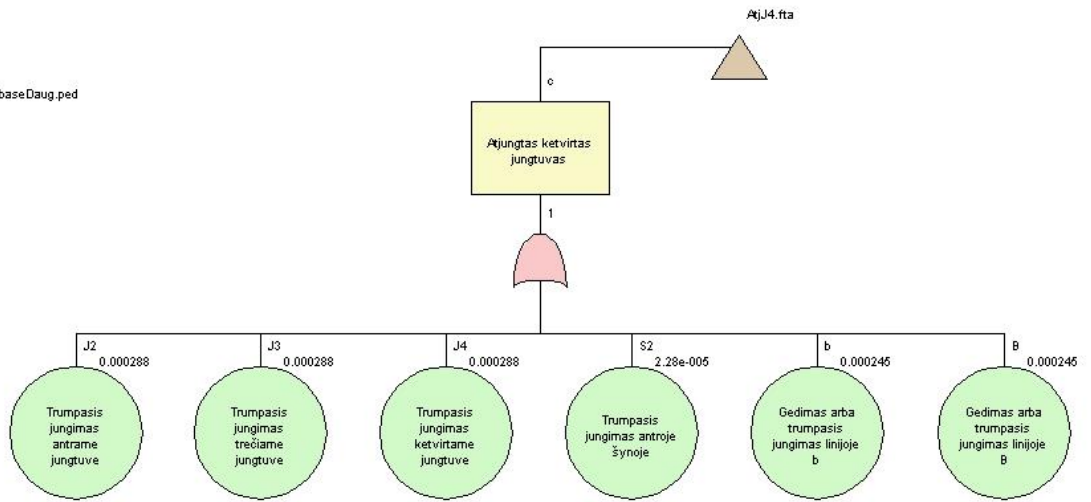
Tree: Ajj2.fta
 Database: databaseDaug.ped



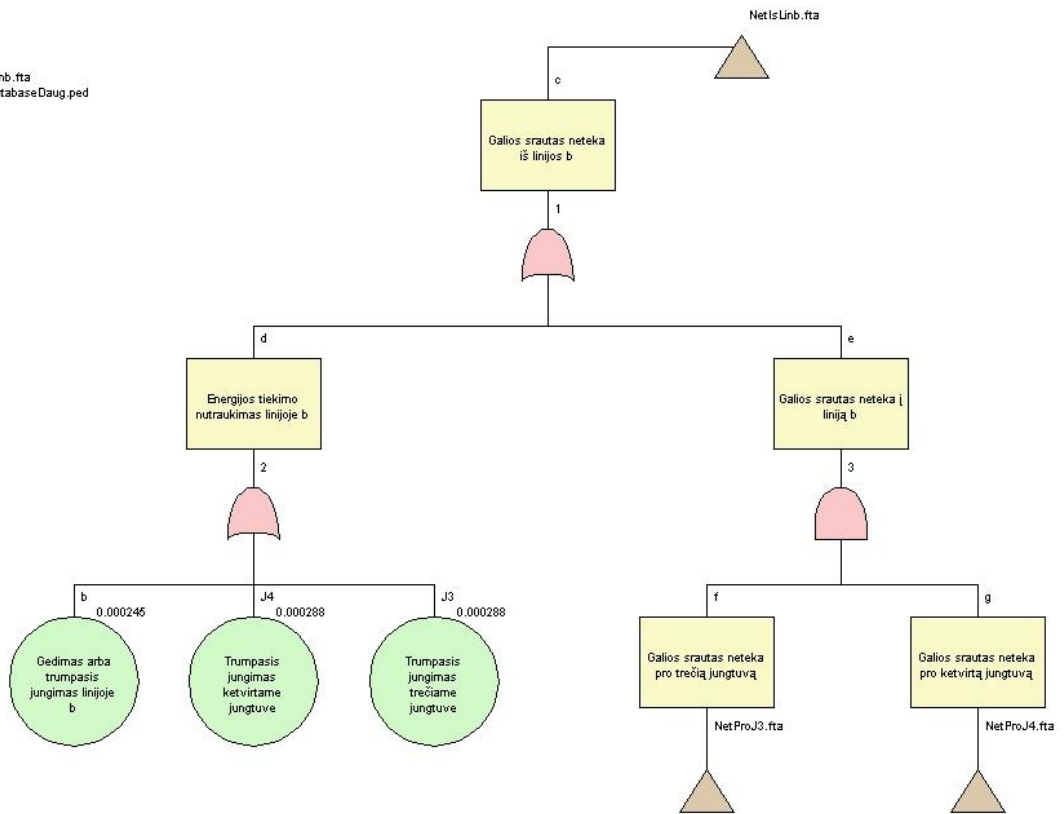
Tree: Ajj3.fta
 Database: databaseDaug.ped



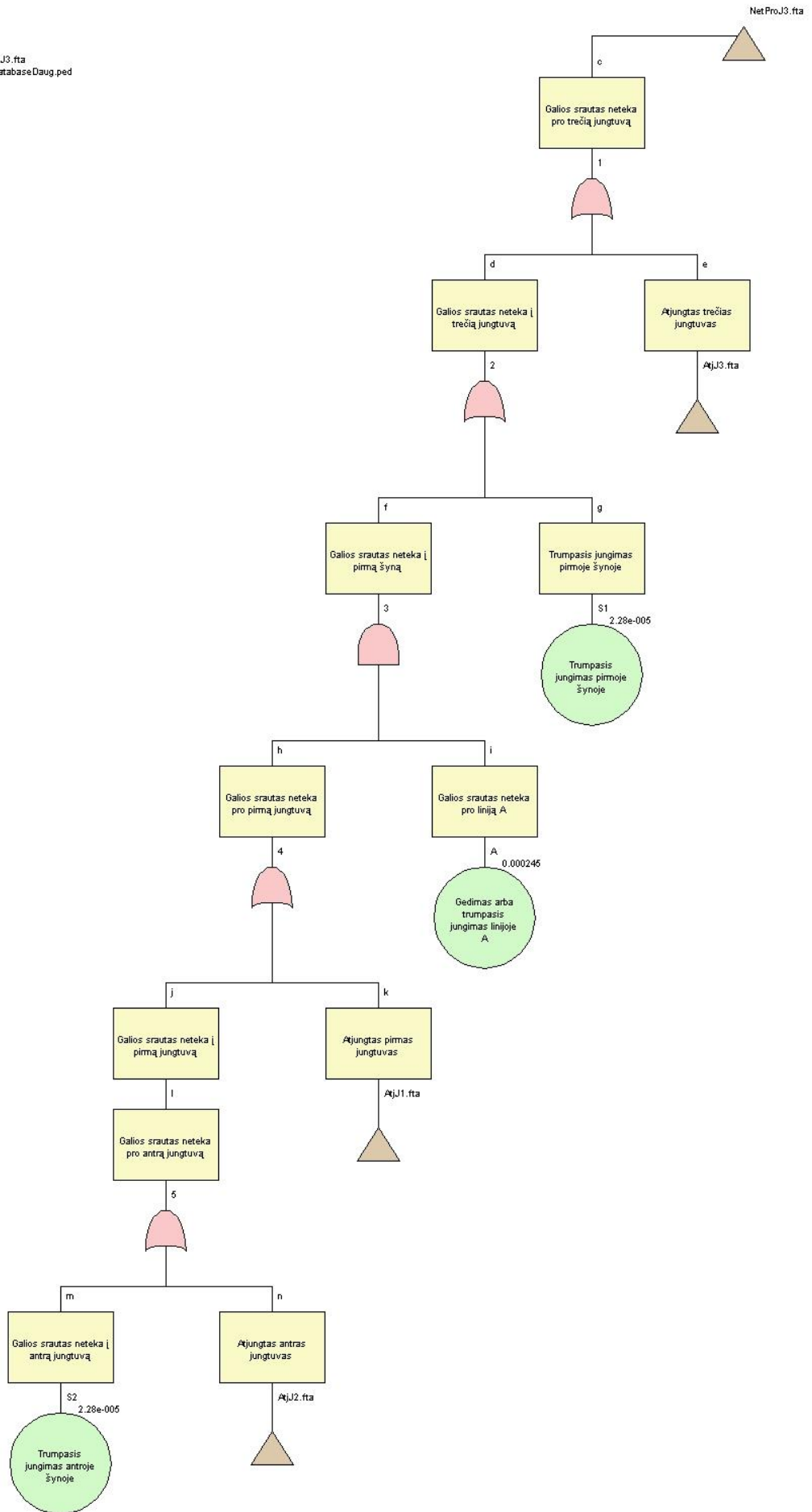
Tree: AtJ4.fta
 Database: databaseDaug.ped



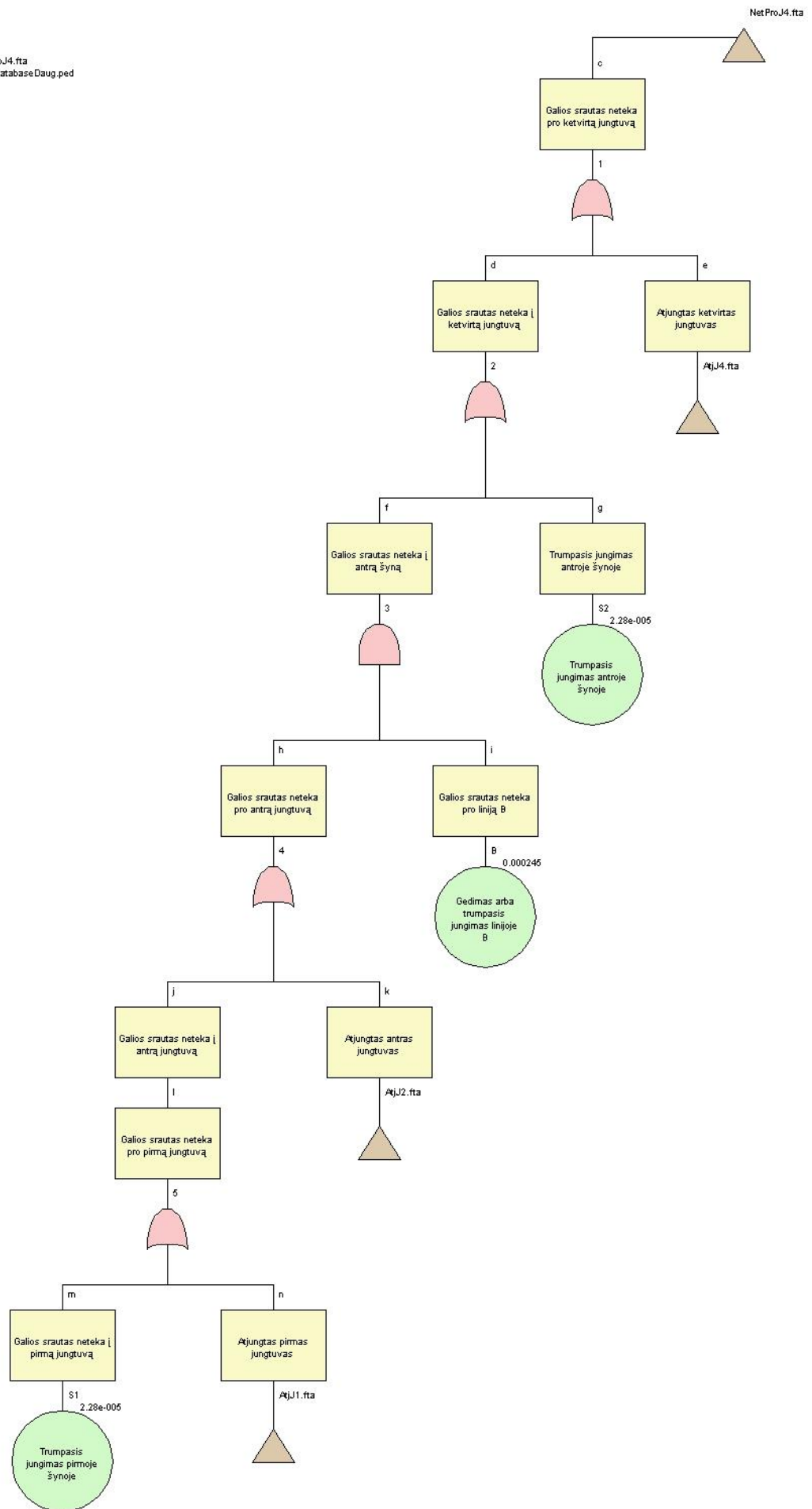
Tree: NetIsLinb.fta
 Database: databaseDaug.ped



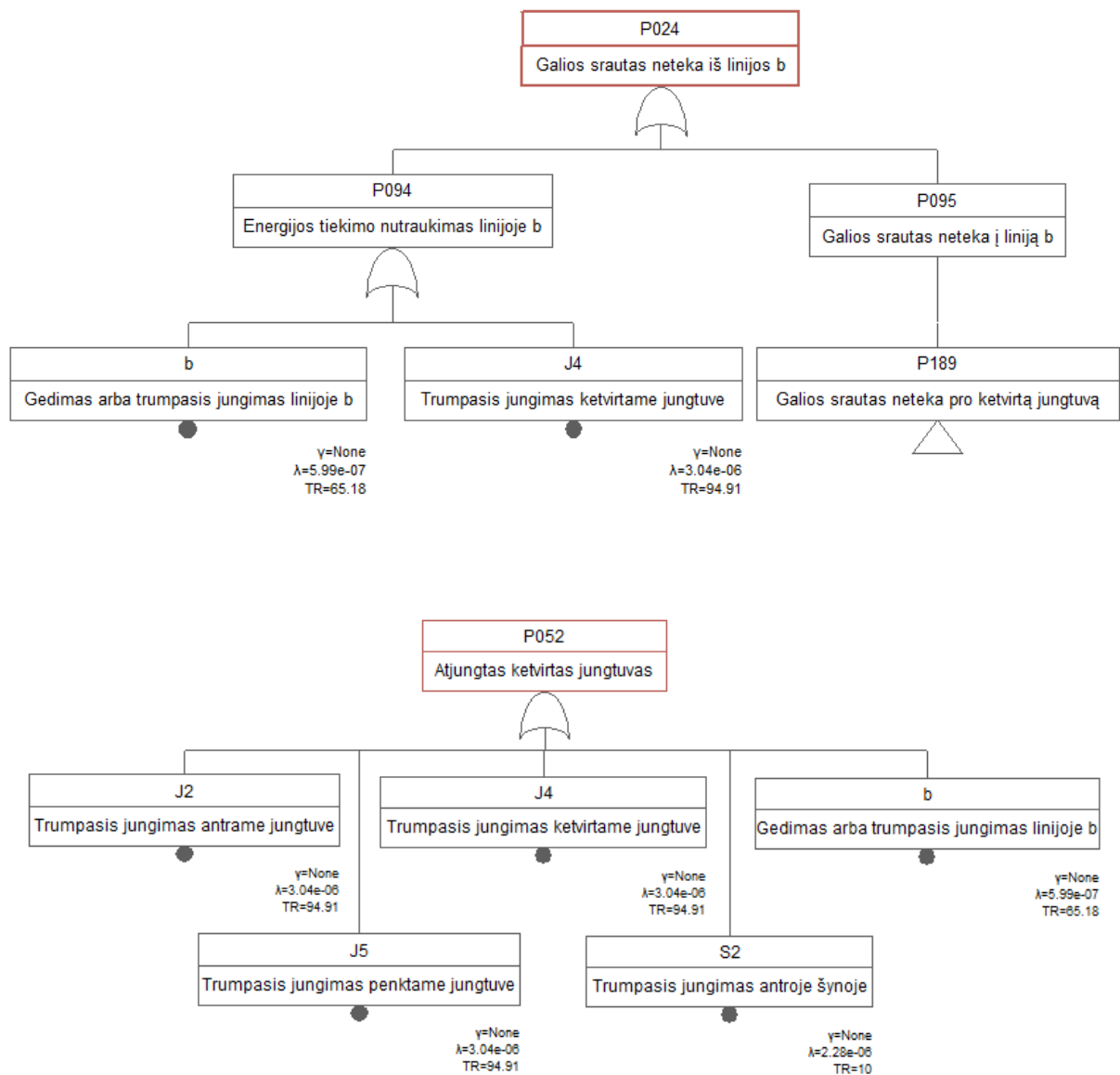
Tree: NetProJ3.fta
Database: databaseDaug.ped

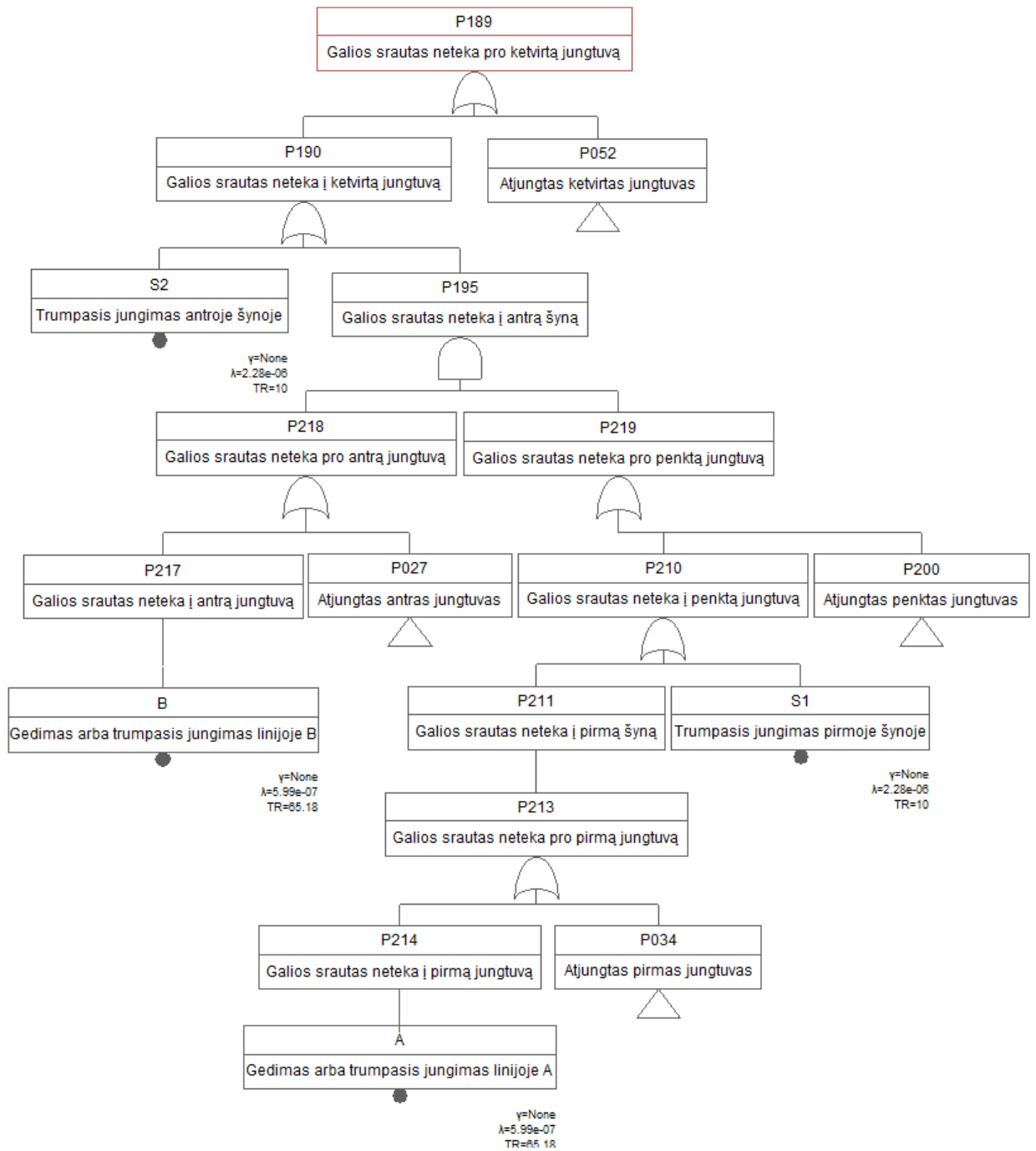


Tree: NetProJ4.fta
Database: databaseDaug.ped

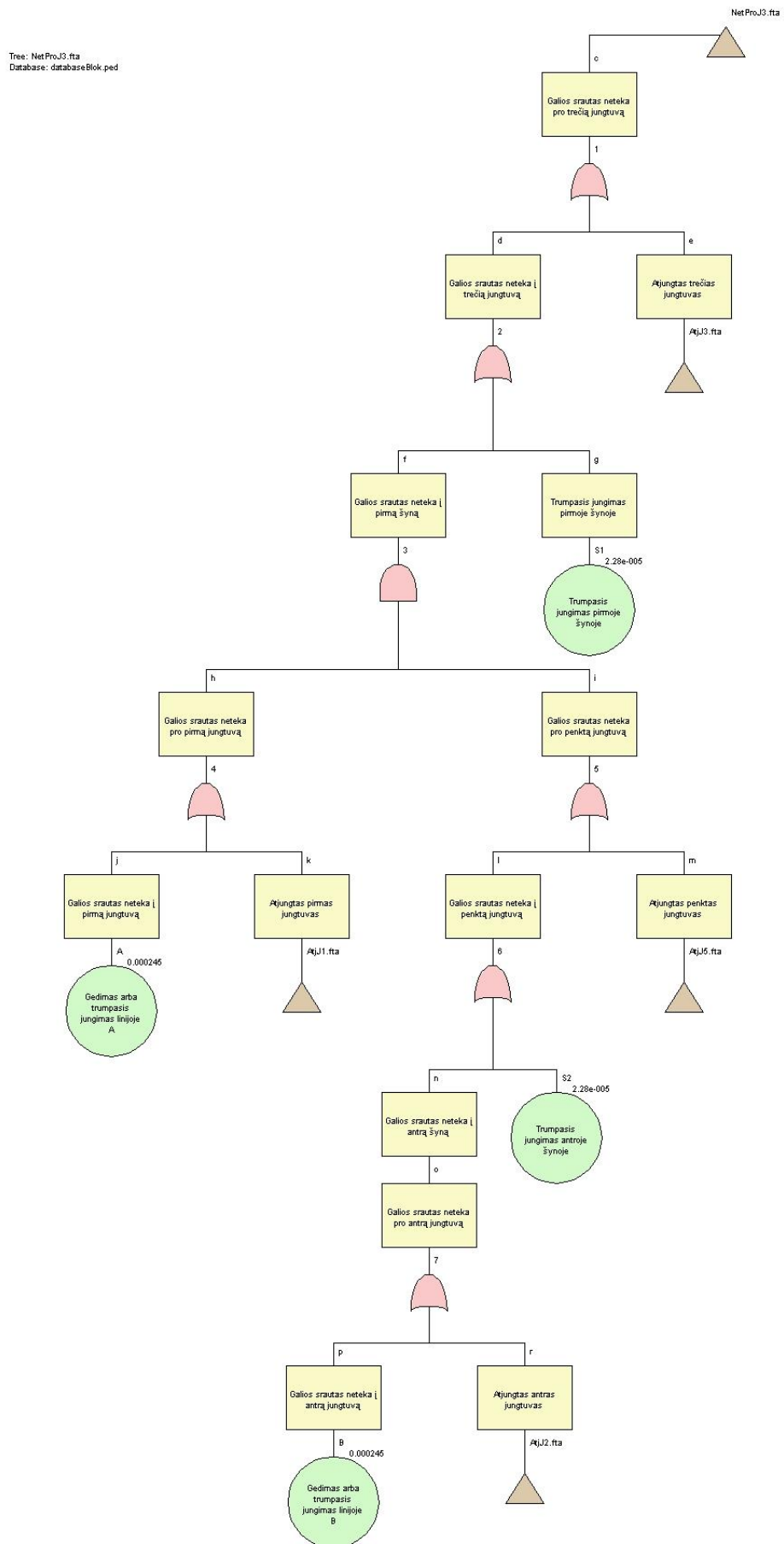


Priedas 5. Transformatorių pastotės tranzitinės schemos analizės su programa „Arbre Analyste“ gedimų medžio modelis linijai b

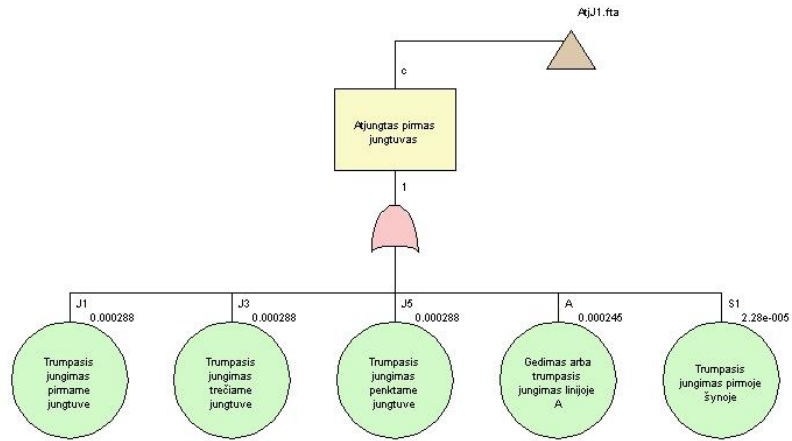




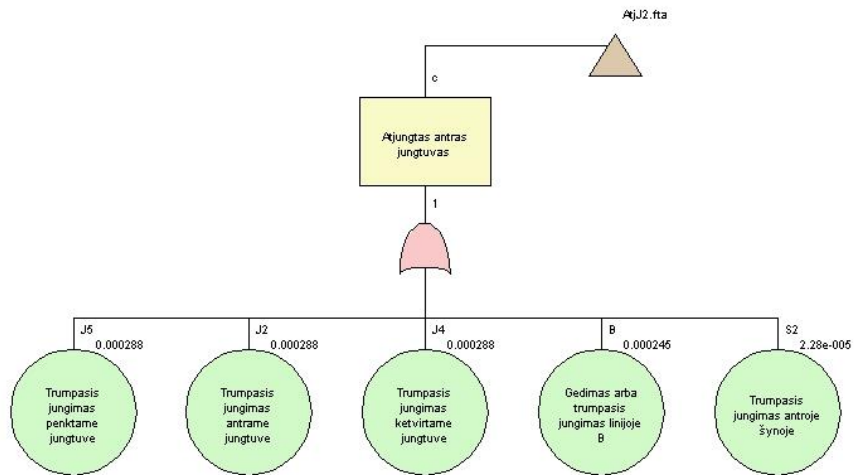
Priedas 6. Transformatorių pastotės tranzitinės schemos analizės su programa „OpenFTA“
gedimų medžio modelis



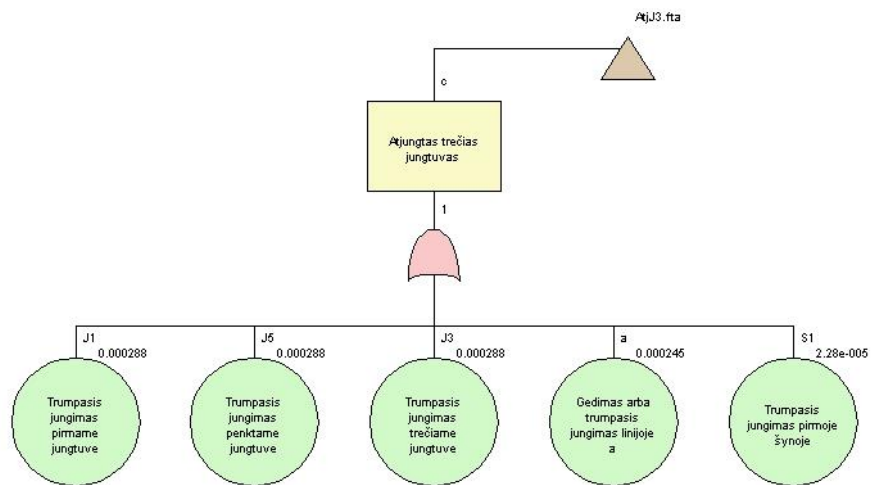
Tree: Ajj1.fta
 Database: databaseBlok.ped



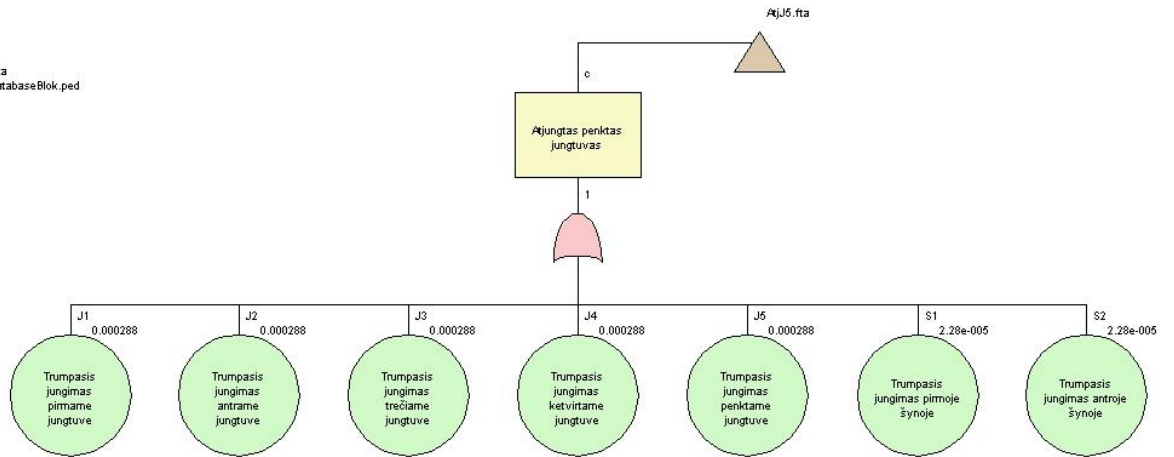
Tree: Ajj2.fta
 Database: databaseBlok.ped



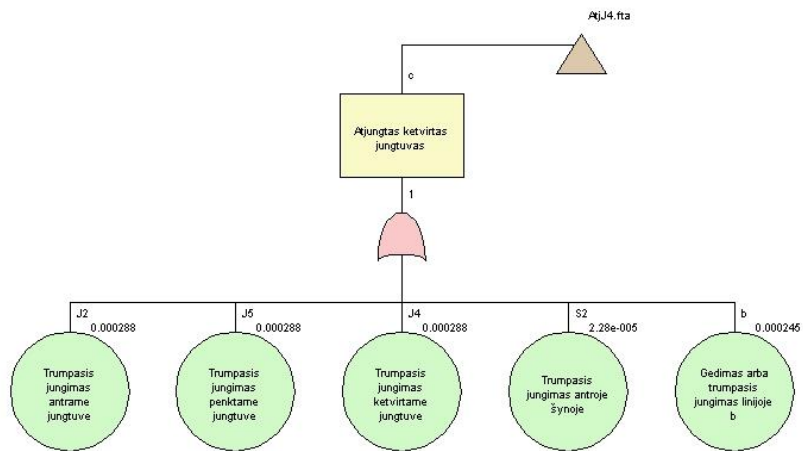
Tree: Ajj3.fta
 Database: databaseBlok.ped



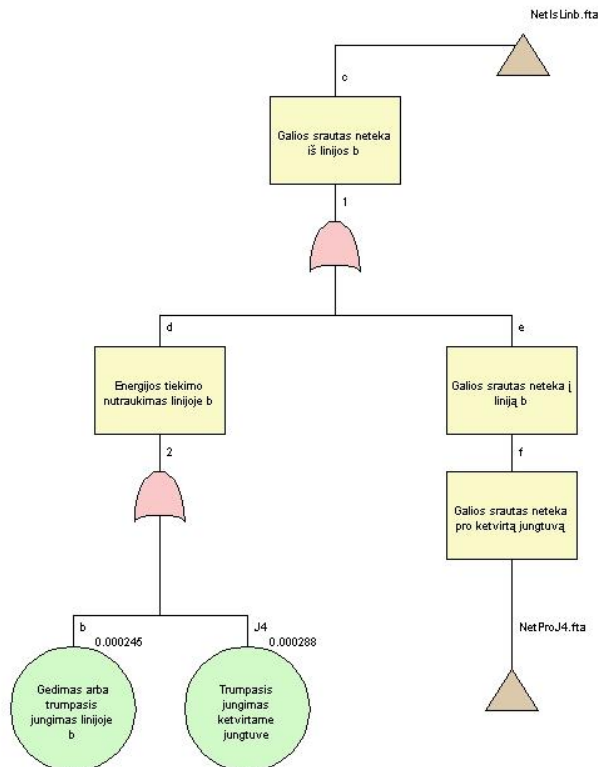
Tree: Ajj5.fta
Database: databaseBlok.ped



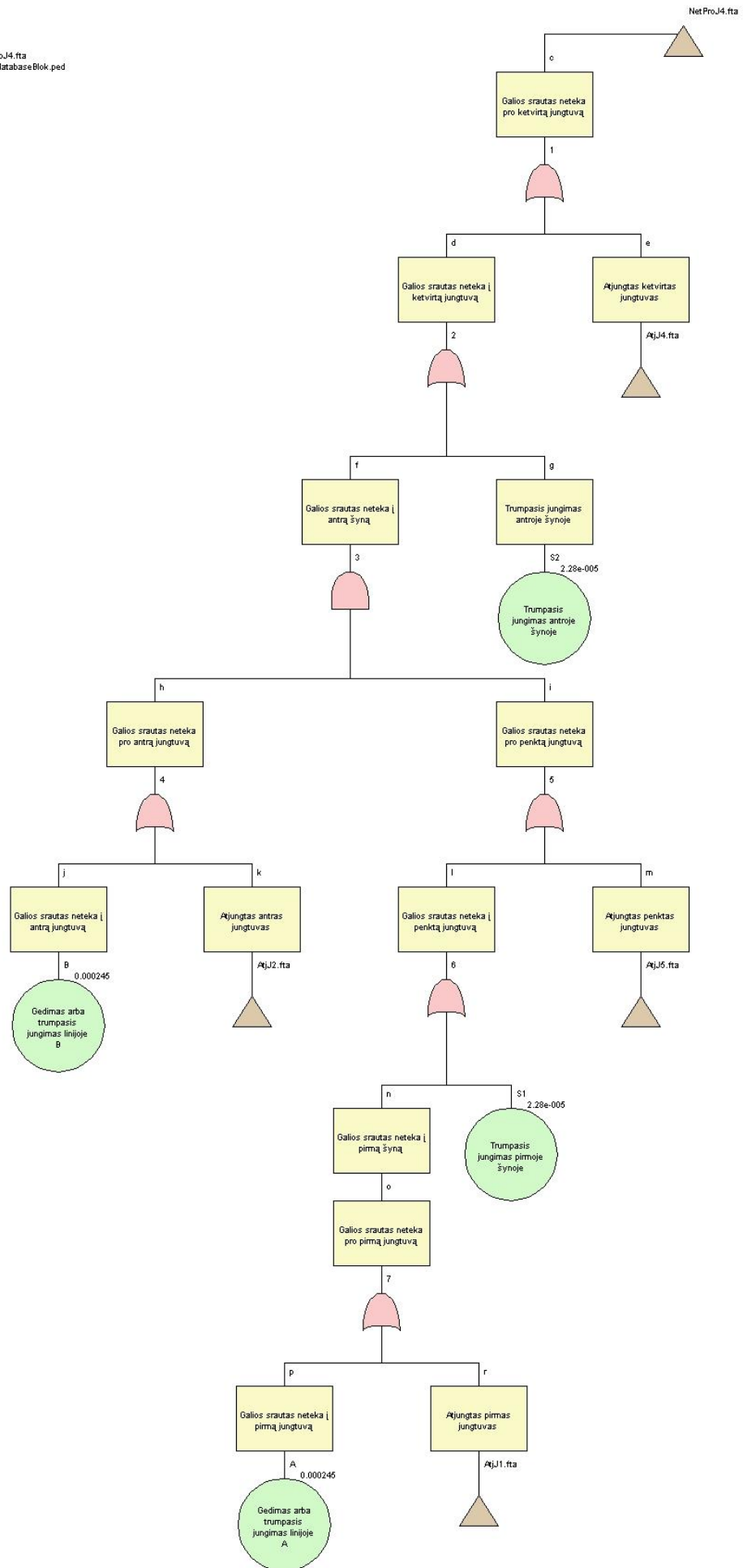
Tree: Ajj4.fta
Database: databaseBlok.ped



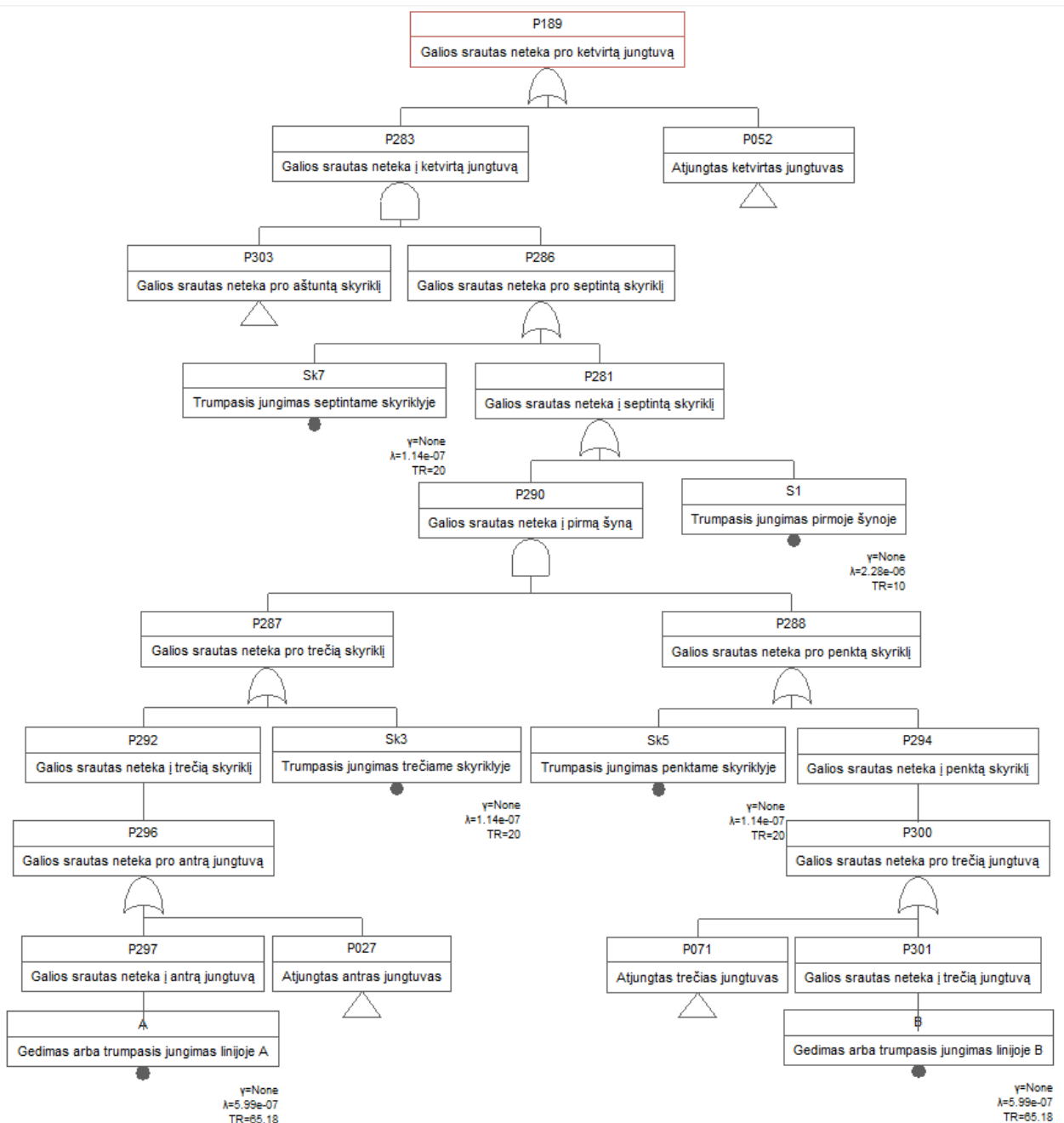
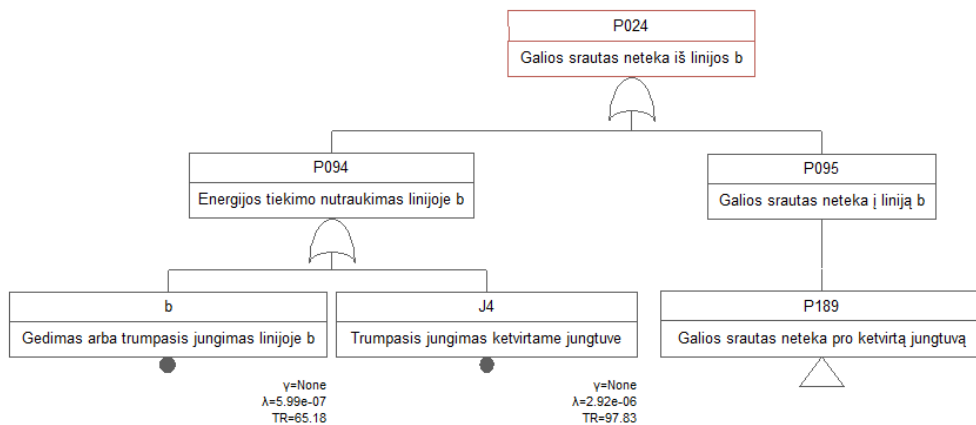
Tree: NetisLinb.fta
Database: databaseBlok.ped

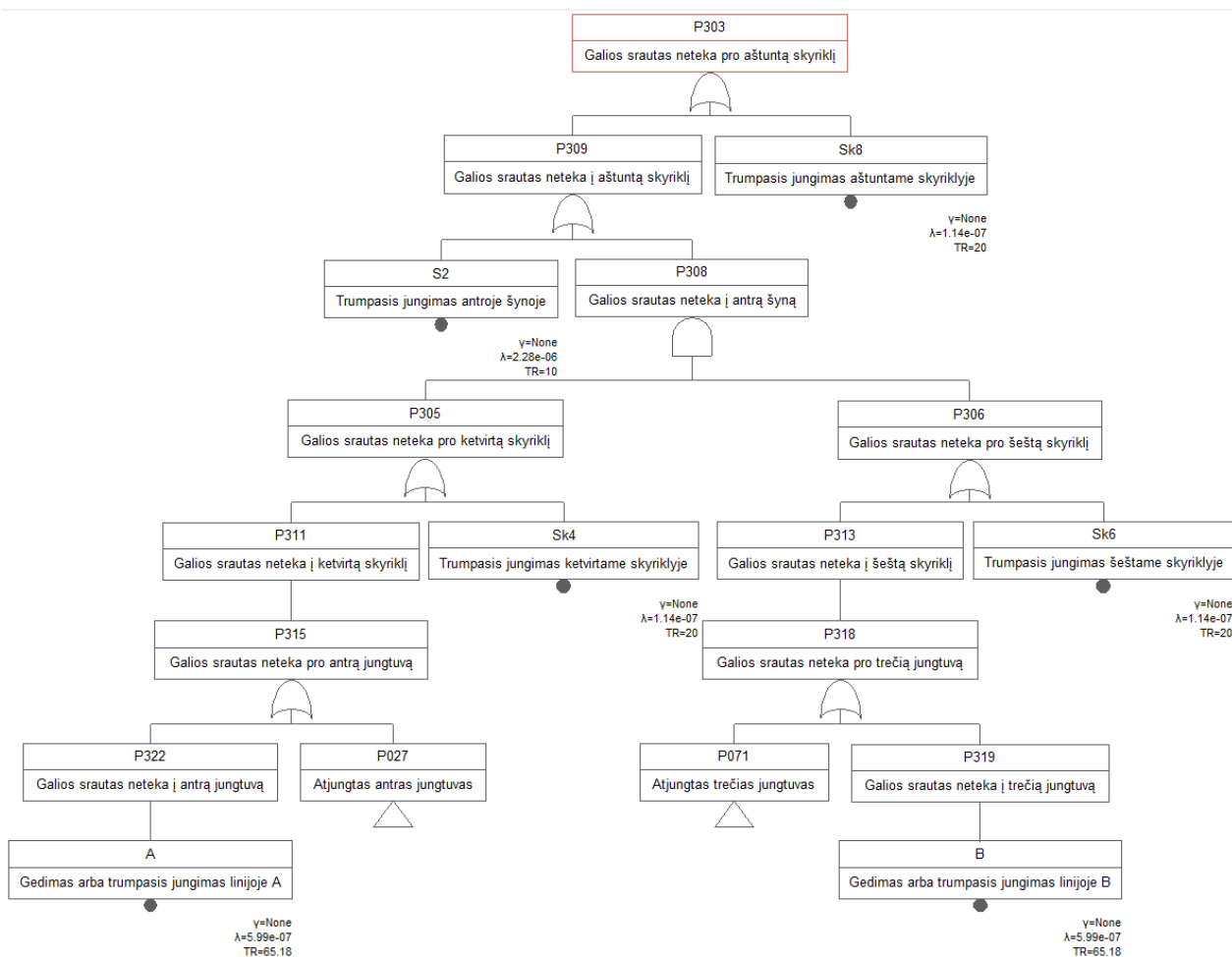
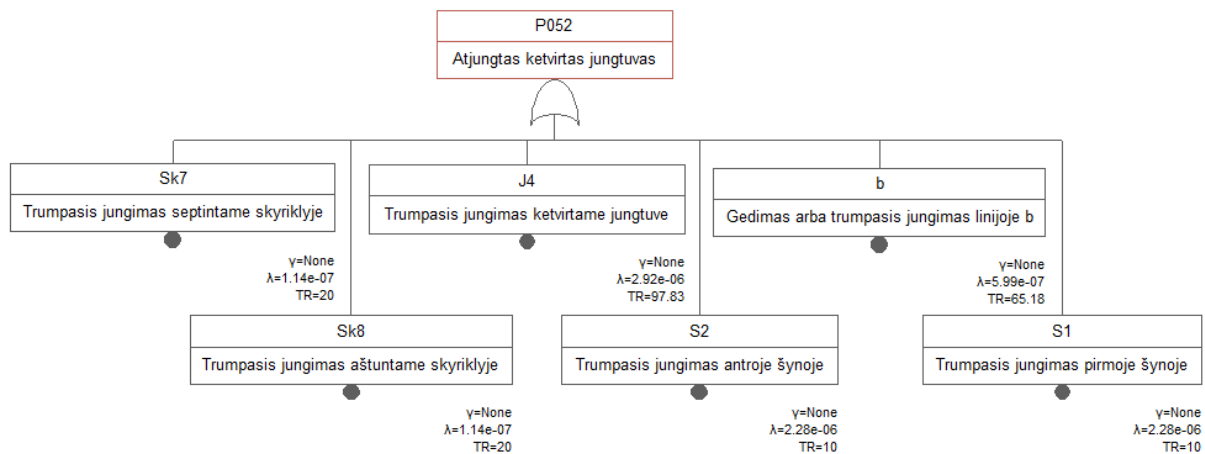


Tree: NetProJ4.fta
 Database: databaseBlok.ped

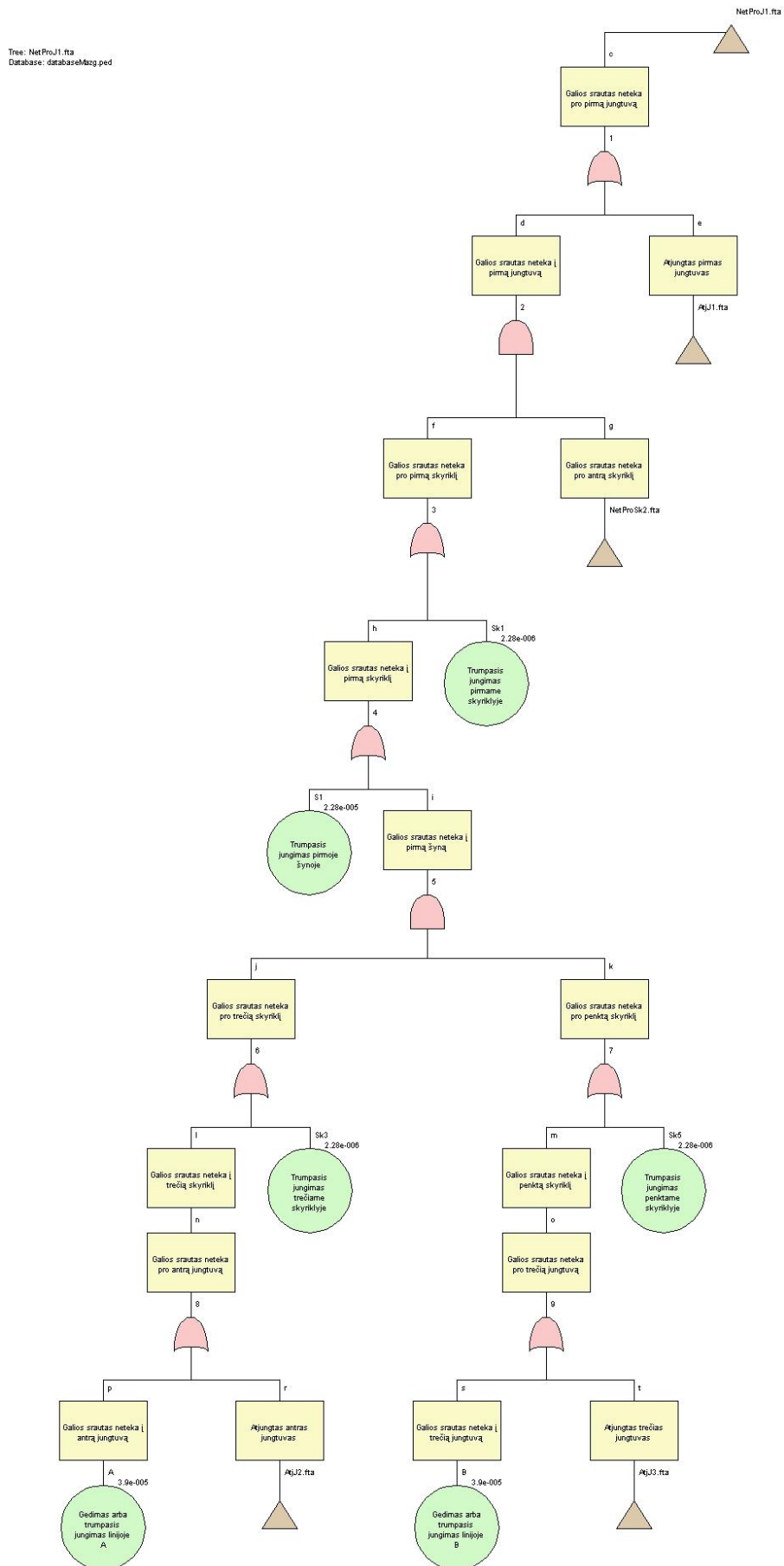


Priedas 7. Transformatorių pastotės mazginės schemos analizės su programa „Arbre Analyste“ gedimų medžio modelis linijai b

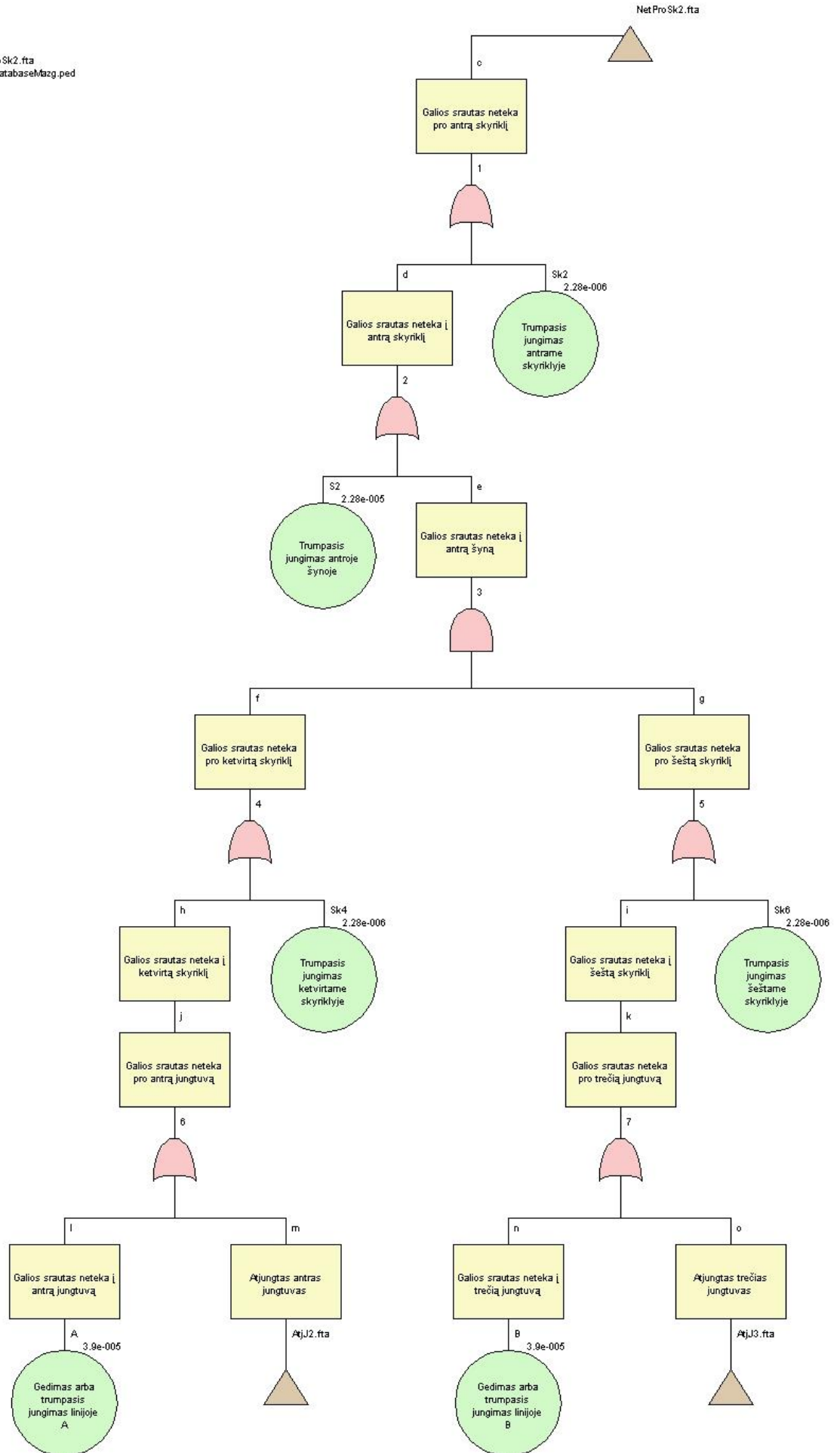




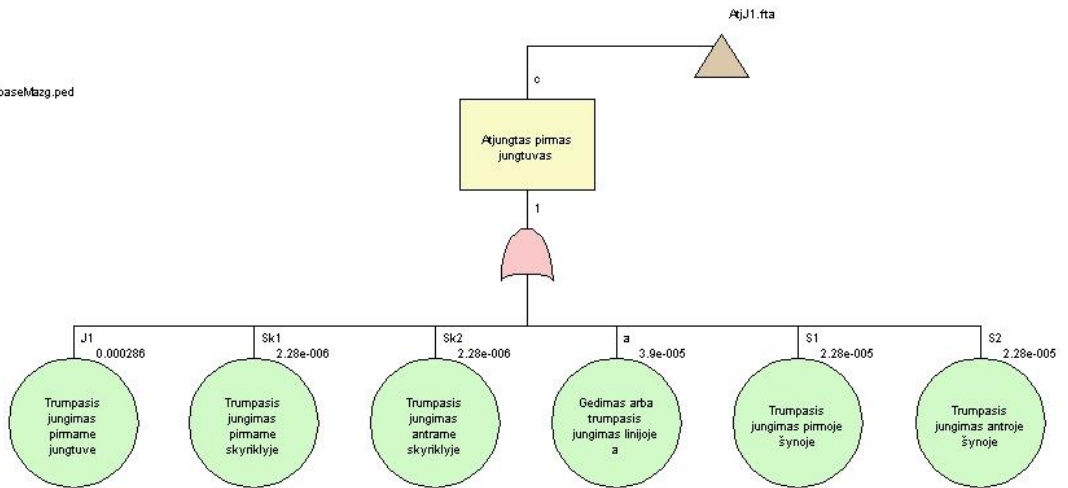
Priedas 8. Transformatorių pastotės mazginės schemos analizės su programa „OpenFTA“ gedimų medžio modelis



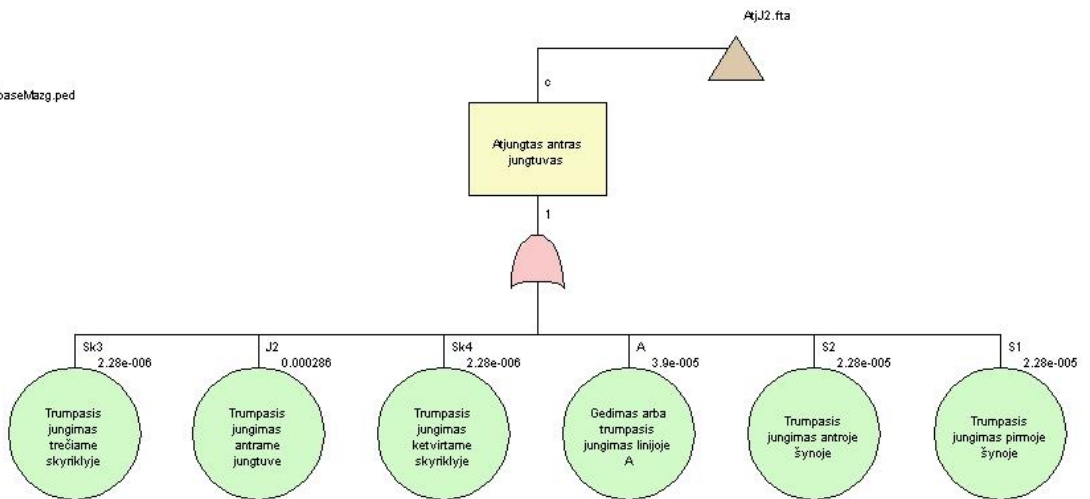
Tree: NetProSk2.fta
 Database: databaseMazg.ped



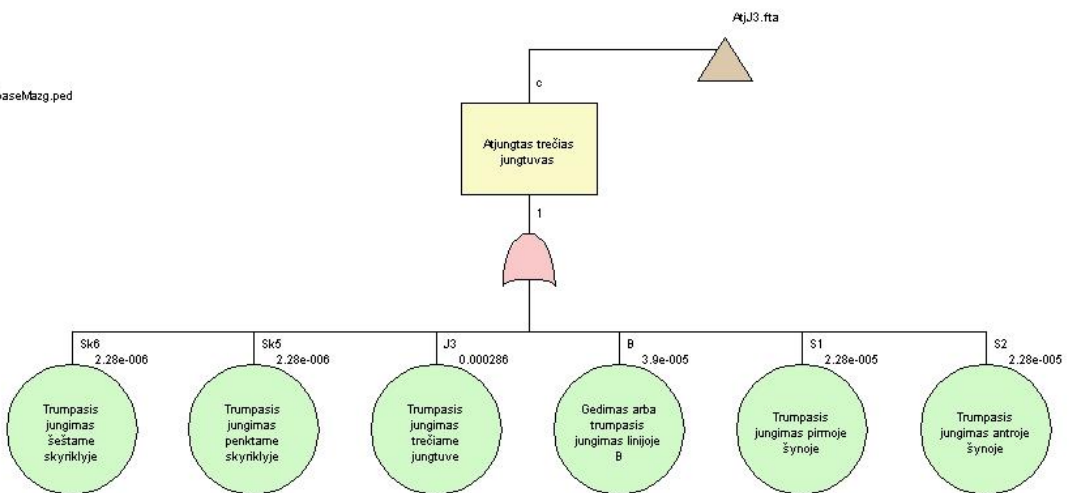
Tree: Ajj1.fta
 Database: databaseMazg.ped



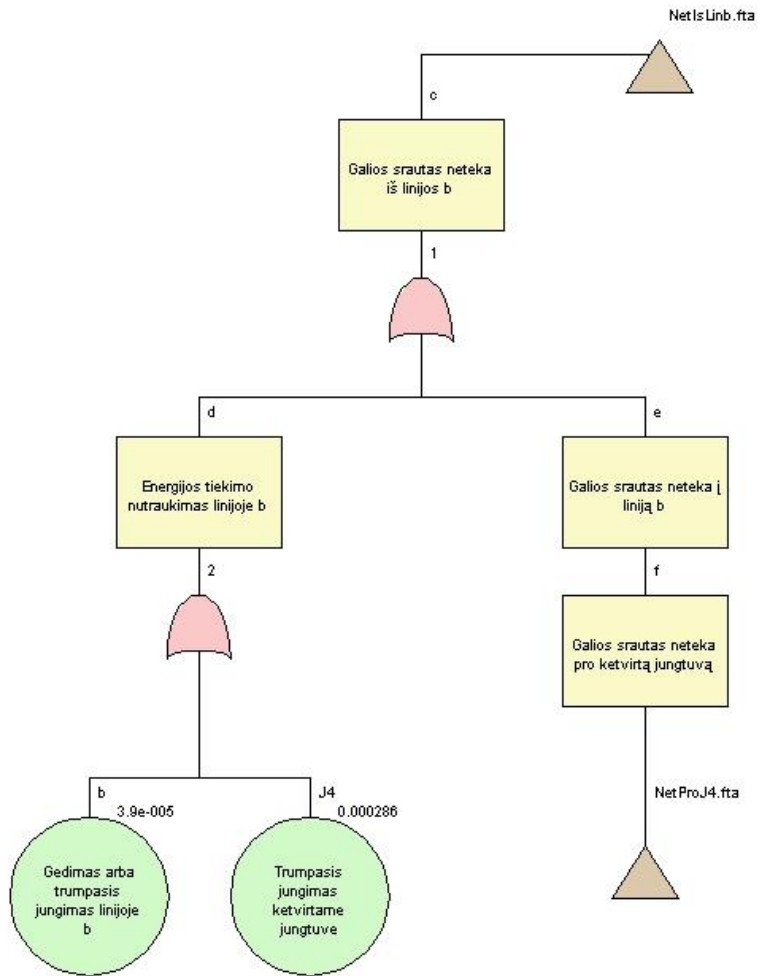
Tree: Ajj2.fta
 Database: databaseMazg.ped



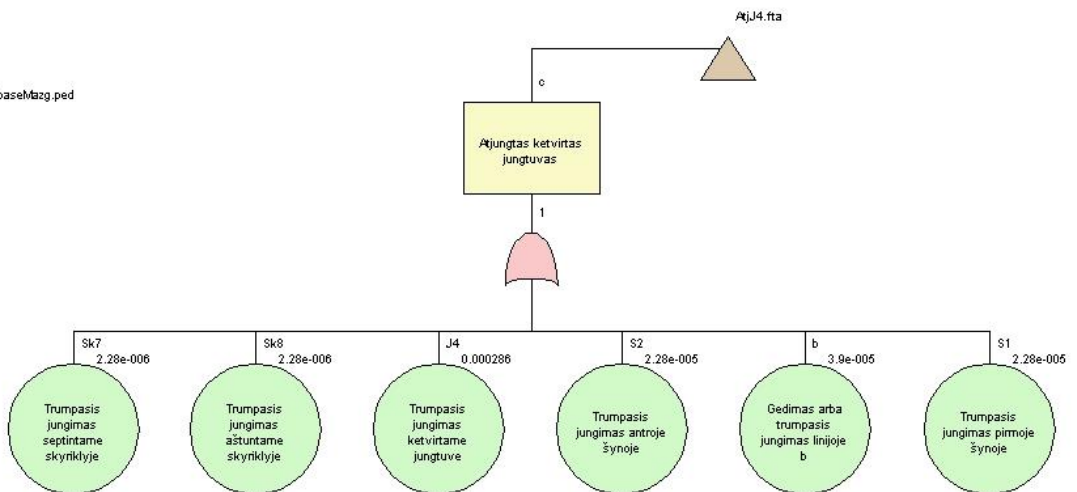
Tree: Ajj3.fta
 Database: databaseMazg.ped



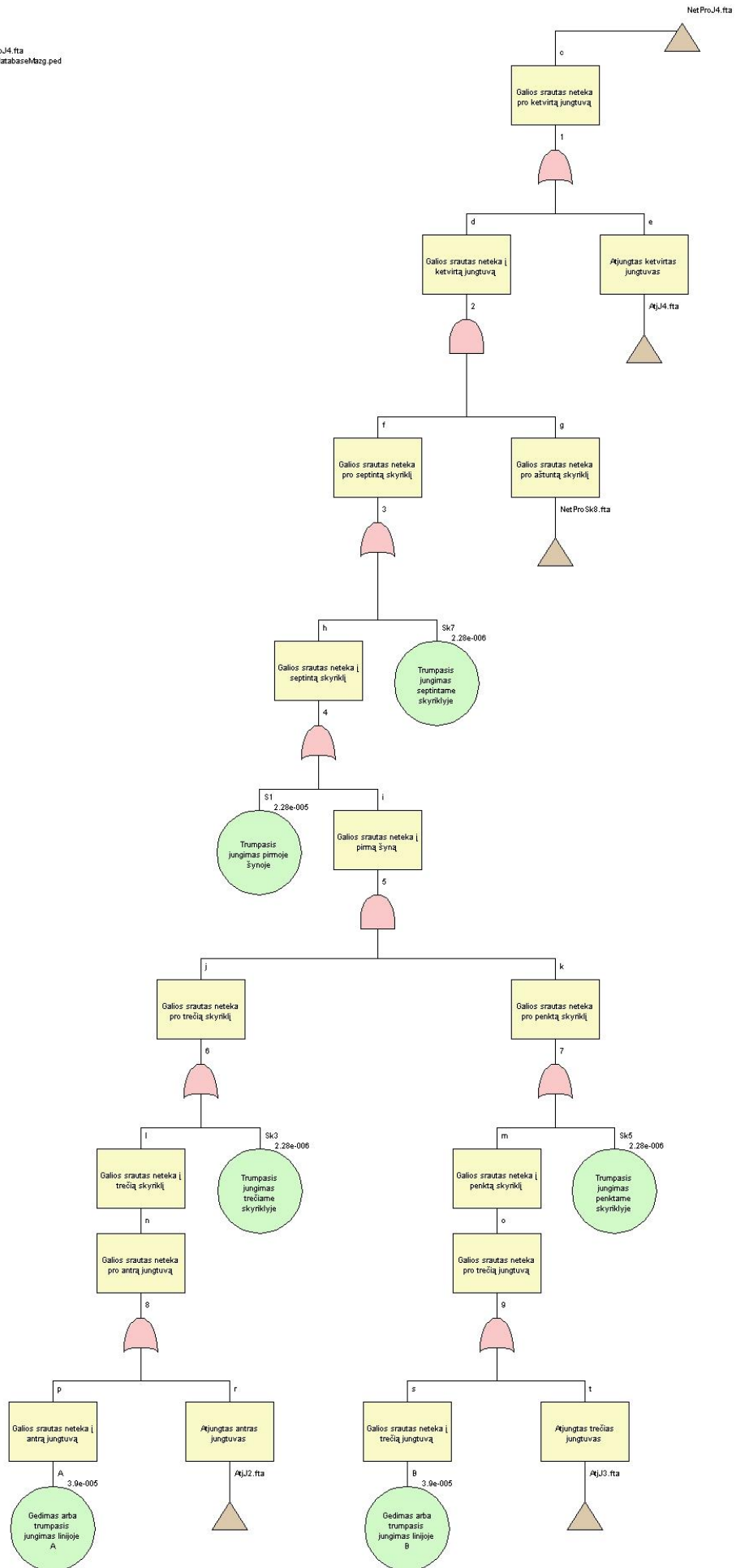
Tree: NetIsLinb.fta
 Database: databaseMazg.ped



Tree: AįJ4.fta
 Database: databaseMazg.ped



Tree: NetProJ4.fta
Database: databaseMazg.ped



Tree: NetProSk8.fta
 Database: databaseMazg.ped

