



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Žmogiškųjų klaidų darbo vietoje analizė remiantis OEE metodu

Baigiamasis magistro projektas

Lukas Gadeikis

Projekto autorius

Lekt. dr. Darius Ezerskis

Vadovas

Kaunas, 2021



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Žmogiškųjų klaidų darbo vietoje analizė remiantis OEE metodu

Baigiamasis magistro projektas

Valdymo technologijos (6211EX014)

Lukas Gadeikis

Projekto autorius

Lekt. dr. Darius Ezerskis

Vadovas

Lekt. dr. Vygandas Vaitkus

Recenzentas

Kaunas, 2021



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Lukas Gadeikis

Žmogiškųjų klaidų darbo vietoje analizė remiantis OEE metodu

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Lukas Gadeikis

Patvirtinta elektroniniu būdu

Gadeikis, Lukas. Žmogiškųjų klaidų darbo vietoje analizė remiantis OEE metodu. Magistro baigiamasis projektas / vadovas lekt. Darius Ezerskis; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): elektronikos inžinerija (inžinerijos mokslai).

Reikšminiai žodžiai: žmogiškosios klaidos, žmogiškųjų klaidų analizė (HEA), žmogaus patikimumo analizė (HRA), OEE.

Kaunas, 2021. 67 p.

Santrauka

Šio tyrimo darbo tikslas orientuotas į žmogiškųjų klaidų tipų, veiklos našumui įtaką darančių veiksnių ir žmogiškųjų klaidų tikimybės nustatymą gamybiniuose procesuose. Darbe nagrinėjami metodai skirti žmogiškųjų klaidų identifikavimui ir jų atsiradimo teorinės klaidos tikimybės apskaičiavimui. Analizuojant gamybos duomenis buvo rasti procesai, kurių OEE rodiklis mažinamas dėl žmogiškųjų klaidų įtakos. Toliau analizuojant žmogiškąsias klaidas, įvertinti įtaką klaidoms darantys veiksniai bei apskaičiuotos teorinės tokių klaidų tikimybės. Vertinant veiksnius ir klaidos tikimybes nustatomi rizikingiausi proceso etapai ir juose įvykstančios klaidos. Apskaičiuota teorinė žmogiškosios klaidos tikimybė palyginama su tikrais produkcijos duomenimis bei įvertinami praktinių duomenų ir teorinių skaičiavimų skirtumai. Pasiūlomos priemonės klaidoms mažinti bei suprojektuojama ir išbandoma įranga žmogiškųjų klaidų mažinimui.

Gadeikis, Lukas. OEE Analysis of Human Errors at Workplace. Master's Final Project Degree / supervisor lect. Darius Ezerskis; Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Electronics Engineering (Engineering science)

Keywords: Human error, HEA, HRA, OEE.

Kaunas, 2021. 67 pages.

Summary

The aim of this study is focused on the typology of human errors, performance shaping factors and the human error probability evaluation in production processes. The paper reveals human reliability analysis methods used for human error identification and theoretical human error probability calculation. Analysis of production data assisted to find processes that have reduced OEE rate due to human error. In further human error analysis, performance shaping factors are evaluated and the theoretical probabilities of such errors are quantified. Then the riskiest steps in the process where human error is most likely to occur are excluded. Afterwards, quantified human error probabilities are compared with the actual production data and the differences between practical and theoretical calculations are discussed. Eventually, technical measures to reduce human errors in the production process are proposed and the equipment is designed.

Turinys

Lentelių sąrašas	7
Paveikslų sąrašas	8
Santrumpų ir terminų sąrašas	9
Įvadas.....	10
1. Apžvalginė dalis	11
1.1. Žmogiškoji klaida	11
1.1.1. Žmogiškųjų klaidų klasifikavimas	12
1.1.2. Senasis ir naujasis požiūris į žmogiškąsias klaidas	15
1.2. Žmogaus patikimumo bei žmogiškųjų klaidų analizė	15
1.3. Veiksniai darantys įtaką darbo našumui	17
1.4. Taikomieji žmogaus patikimumo analizės metodai	19
1.4.1. Systematic Human Error Reduction Prediction Approach (SHERPA).....	21
1.4.2. Human Error Assessment and Reduction Technique (HEART).....	22
1.4.3. Standardized Plant Analysis Risk–Human Reliability Analysis (SPAR-H)	24
1.4.4. Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM).....	25
1.4.5. Simulator for Human Error Probability Analysis (SHERPA).....	27
1.5. OEE metodas ir jo nauda	29
2. Žmogiškųjų klaidų analizės metodų taikymas gamybos procesuose.....	32
2.1. Problemos gamyboje identifikavimas remiantis OEE duomenimis	32
2.1.1. Korpuso komplektavimo proceso hierarchinė užduočių analizė.....	36
2.1.2. Žmogiškųjų klaidų darbo vietoje identifikavimas remiantis SHERPA metodu.....	37
2.1.3. HEART metodo taikymas kiekybinei žmogiškųjų klaidų tikimybei apskaičiuoti	43
2.1.4. SPAR-H metodo taikymas kiekybinei žmogiškųjų klaidų tikimybei apskaičiuoti	44
2.1.5. HEART ir SHERPA metodais apskaičiuotų žmogiškųjų klaidų tikimybių palyginimas	46
2.2. Žmogiškosios klaidos tikimybės priklausomybė nuo išdirbto laiko remiantis SHERPA * metodu	46
2.3. Žmogiškųjų klaidų teorinių tikimybių palyginimas su gamybos duomenimis	48
2.3.1. Žmogiškosios klaidos priklausomybės nuo išdirbto laiko palyginimas su gamybos duomenimis	48
2.3.2. Neatitiktųjų įvykusių dėl žmogiškųjų klaidų korpusų komplektavimo procese kiekybinis įvertinimas	51
3. Žmogiškųjų klaidų mažinimas korpusų komplektavimo procese	53
3.1. Darbo vietos tobulinimas ir siūlomų priemonių aprašymas	53
3.2. Įrenginio projektavimas	54
3.2.1. Įrenginio funkcinių komponentų parinkimas	55
3.2.2. Mechaninių detalių projektavimas	57
3.2.3. Įrenginio programavimo algoritmas	58
3.3. Įrenginio bandymai.....	60
Išvados ir rezultatai.....	64
Literatūros sąrašas	65
Priedai.....	68
1 priedas. HEART metodo EPCs, atnaujinti remiantis naujausiais 2015 duomenimis [25]	68
2 priedas. NRC SPAR-H analizės darbalapiai diagnostikos ir veiksmo atlikimo veiklai [27] ...	69

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Senasis ir naujasis požiūriai į žmogiškąsias klaidas [9].	15
2 lentelė. Tiesioginę ir netiesioginę įtaką klaidoms darantys veiksniai (PSFs).	19
3 lentelė. Klaidų tipai ir kodai pagal SHERPA metodą [22].	21
4 lentelė. SHERPA metode naudojami klaidos tikimybės ir rizikos lygių kodai [21].	22
5 lentelė. Bendriniai HEART metodo užduočių tipai su žmogaus nepatikimumo lygiais [23].	22
6 lentelė. SPAR-H metodo PSFs kiekybinių verčių nustatymas [13].	24
7 lentelė. CREAM metodo kognityvinių funkcijų kategorijos, klaidų tipai bei nominali klaidos tikimybė [31, 33].	26
8 lentelė. CREAM metodo CPC su skaitinėmis vertėmis, skirtingo tipo kognityvinėms funkcijoms (numeravimas pagal 7 lentelę) [31].	26
9 lentelė. Įvairių užduočių tipų koeficientai nominalios žmogiškosios klaidos tikimybei apskaičiuoti naudojantis SHERPA* metodu ir modifikuotu Veibulio pasiskirstymu [28].	28
10 lentelė. Žmogiškųjų klaidų analizė gamybos procese remiantis SHERPA metodu, 1 proceso etapas	38
11 lentelė. Žmogiškųjų klaidų analizė gamybos procese remiantis SHERPA metodu, 2 proceso etapas	38
12 lentelė. Žmogiškųjų klaidų analizė gamybos procese remiantis SHERPA metodu, 3 proceso etapas	39
13 lentelė. Žmogiškųjų klaidų analizė gamybos procese remiantis SHERPA metodu, 4 proceso etapas (korpuso komplektavimo operacija)	39
14 lentelė. Žmogiškųjų klaidų analizė gamybos procese remiantis SHERPA metodu, 5 proceso etapas	40
15 lentelė. SHERPA metodu identifikuoti klaidų tipai korpusų komplektavimo procese	41
16 lentelė. SHERPA analizės metu identifikuotų klaidų užduotyse rizikos (1-4) ir tikimybės (A-D) lygiai	41
17 lentelė. HEART analizės taikymas, EPCs įvertinimas bei poveikio klaidoms (AA) apskaičiavimas	43
18 lentelė. SPAR-H metode 4.5 tarpinei užduočiai priskiriamų PSFs darbalapis	44
19 lentelė. Kiekybinių ŽK tikimybių palyginimas tarp HEART ir SPAR-H metodais gautų verčių	46
20 lentelė. Atstumo iki įdėklo matavimų tarp fotoelektrinių jutiklių palyginimas	56

Paveikslų sąrašas

1 pav. Žmogiškosios klaidos planuojant ir vykdant užduotis [3]	12
2 pav. SRK modelio ir GEMS metodo žmogiškųjų klaidų klasifikacija [4, 5].....	14
3 pav. Bendrasis žmogaus patikimumo ir žmogiškųjų klaidų analizės vykdymo algoritmas [12]...	17
4 pav. Klaidos tikimybės tendencija skirtingiems užduoties tipams [28].....	29
5 pav. OEE skaičiavimas bei nuostoliai [34]	30
6 pav. Kalibravimo ir patikros proceso trijų mėnesių neatitiktųjų Pareto diagrama, punktyrine linija pažymėtos neatitiktys, kurios atsirado dėl žmogiškųjų klaidų	34
7 pav. Elektronikos įtaisų gamybos procesų grandinė ir HRA kryptis	35
8 pav. Atlikta korpusų komplektavimo operacijos hierarchinė proceso struktūra.....	37
9 pav. Įdėklų presavimo operacijos darbo vietos struktūra.....	38
10 pav. Atliktos SHERPA klaidų identifikavimo analizės įvardytų klaidų kiekis tarp kategorijų ...	41
11 pav. SHERPA* metodu apskaičiuota teorinė ŽK tikimybė, kai PSFs = 2	48
12 pav. SHERPA* metodu apskaičiuotos teorinės ŽK tikimybės ir istoriniais gamybos OEE kokybės rodiklio duomenimis apskaičiuotos klaidos įvykio tikimybės, tarp atskirto neatitikties tipo, palyginimas.....	49
13 pav. OEE našumo rodiklio priklausomybė nuo laiko	50
14 pav. Korpuso komplektavimo operacijoje dėl ŽK įvykusių neatitiktųjų perdavimas ir sekimas..	51
15 pav. Trijų mėnesių surinkimo ir kalibravimo procesuose aptiktos korpusų komplektavimo proceso neatitiktys	52
16 pav. Tobulinamos korpusų komplektavimo darbo vietos struktūra	54
17 pav. Įdėklo pozicijos korpuse matavimas “ifm OGD580” fotoelektriniu jutikliu	55
18 pav. Įdėklo pozicijos korpuse matavimas “ifm OGD592” fotoelektriniu jutikliu	56
19 pav. Suprojektuoti reguliuojami jutiklių laikikliai ir bendras matavimo eskizas	57
20 pav. Suprojektuoto įrenginio bendras eskizas	58
21 pav. Proceso tobulinimui siūlomo įrenginio algoritmas	59
22 pav. Įrenginio komponentų bei komunikacijos hierarchijos struktūra.....	60
23 pav. Sukonstruoto įrenginio prototipo bendras vaizdas	60
24 pav. Be įdėklo ir gero 1 tipo rūšies gaminio matavimo palyginimas stendo 8 pozicijoje.....	61
25 pav. Neįpresuoto ir gero 2 tipo rūšies gaminio matavimo palyginimas stendo 8 pozicijoje	61
26 pav. Nepilnai įpresuoto ir gero 1 tipo rūšies gaminio matavimo palyginimas stendo 2 pozicijoje	62
27 pav. Nepilnai įpresuoto ir gero 1 tipo rūšies gaminio matavimo palyginimas stendo 10 pozicijoje	62

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos ir terminai:

5S – „Lean“ metodikos įrankis siekiantis palaikyti standartizuotą tvarką darbo vietoje (angl. *sort, set in order, shine, standardize, sustain*)

DB – duomenų bazė;

HEA – žmogiškųjų klaidų analizė (angl. *Human Error Analysis*);

HEP – žmogiškosios klaidos tikimybė (angl. *Human Error Probability*)

HMI – žmogaus ir mašinos sąsaja (angl. *Human-machine interface*);

HRA – žmogaus patikimumo analizė (angl. *Human Reliability Analysis*);

OEE – bendras įrangos efektyvumas (angl. *Overall Equipment Effectiveness*);

OLE – bendras darbo efektyvumas (angl. *Overall Labor Effectiveness*);

NRC – JAV atominių elektrinių reguliavimo komisija (angl. *Nuclear Regulatory Commission*)

PSFs – veiksniai darantys įtaką darbo našumui (angl. *Performance Shaping Factors*), skirtinguose metoduose dar naudojami šių veiksmių terminai: EPCs (angl. *Error producing conditions*), EFCs (angl. *Error-forcing contexts*) bei CPCs (angl. *Common performance conditions*);

SRK – įgūdžiais, taisyklėmis ir žiniomis grįsta veikla (angl. *skill-based, rule-based, knowledge-based*);

ŽK – žmogiškoji klaida.

Įvadas

Literatūros šaltiniuose pabrėžiama, kad dauguma incidentų bei gamybos neatitikčių įvyksta dėl žmogiškųjų klaidų. Norint suprasti kodėl taip yra, reikia pasigilinti į žmogiškosios klaidos prigimtį, suprasti kaip jos atsiranda ir sudaryti jų tipologiją. Egzistuoja du požiūriai į žmogiškąją klaidą: senasis ir naujasis. Senajame požiūryje žmogiškoji klaida yra nesėkmės priežastis. Analizuojant įvykio pasekmę pabrėžiama ko žmogus nepadarė ir ką turėjo padaryti. O naujajame požiūryje žmogiškoji klaida yra tik simptomas, nurodantis, kad problema slypi sistemoje. Analizės atliekamos norint suprasti kodėl žmogus klaidingai pasielgė, nes jeigu jis priėmė tokį sprendimą ar atliko neteisingą veiksmą, kitas darbuotojas gali pasielgti taip pat.

Klaidos mažina žmonių bei įrenginių darbo našumą, sukelia sumaištį darbo aplinkoje, gali turėti neigiamos įtakos saugumui, taip kenkdamos organizacijai tiek tiesiogiai, tiek netiesiogiai. Tiesioginė žala pastebima, kai darbas nėra vykdomas pagal atitinkamą planą, tada krenta įmonės ekonominiai rodikliai. Žmogiškosios klaidos įvykstančios procesuose apibūdina jų ir sistemos stabilumą, suteikia informacijos apie aplinkos, darbo sąlygas bei nurodo ar naudojamos standartinės procedūros yra tinkamos.

Rutininiuose procesuose klaidos dažniausiai pasireiškia tada, kai darbuotojas nesutelkia dėmesio į vykdomą veiksmą. Jo veiksmai tampa nekontroliuojami, klaidos tikimybė didėja ir dažniausiai pamištama veikslių seka, praleidžiamas veiksmas. Siekiant gamyboje išvengti tokių žmogiškųjų klaidų reikalinga gerinti darbo sąlygas ir standartizuoti procesą taip, kad darbuotojas neturėtų galimybės suklysti.

Gamybos efektyvumui sekti ir duomenims rinkti yra naudojamos OEE rodiklio skaičiavimo sistemos, kurios leidžia įvertinti kiek efektyviai yra išnaudojama gamybos įranga. Taip pat tokios sistemos geba kaupti duomenis, registruoti sustojimų priežastis. Sistemos naudingos tuo, kad procesų efektyvumą galima vertinti tiek realiu laiku, tiek atliekant istorinių duomenų analizę. Stebint OEE rodiklį galima rasti tobulintinas sistemų vietas bei pastebėti ar procesai po atliktų pakeitimų ar tobulinimų daro pažangą.

Darbo tikslas – identifikuoti gamybos procesų žmogiškąsias klaidas ir pasiūlyti priemones jų mažinimui

Darbo uždaviniai:

- 1) išnagrinėti žmogiškųjų klaidų identifikavimui ir teorinei klaidos tikimybei apskaičiuoti taikomus metodus;
- 2) nustatyti gamybos įmonės procesą, kurio OEE rodiklis mažinamas žmogiškųjų klaidų įtakos;
- 3) atlikti proceso žmogiškųjų klaidų analizę, įvertinti įtaką klaidoms darančius veiksnius, apskaičiuoti teorinę klaidos tikimybę;
- 4) palyginti apskaičiuotą teorinę žmogiškosios klaidos tikimybę su tikrais produkcijos duomenimis;
- 5) pasiūlyti priemones žmogiškųjų klaidų mažinimui.

1. Apžvalginė dalis

Įvairiose veiklos kryptyse galima patirti nesėkmę, visiškai išvengti klaidų neįmanoma ir jos dažnai pasikartoja. Didžiąją dalį klaidų procesuose sukelia darbuotojas, tokios klaidos vadinamos žmogiškosiomis klaidomis. Remiantis įvairiais literatūros šaltiniais žmogiškosios klaidos sudaro didžiąją dalį nesėkmingų įvykių priežasčių. Dauguma klaidų turi tik minimalų poveikį veiklos rezultatui ir gali būti greitai aptiktos bei ištaisytos. Tačiau klaidų pasekmės gali būti ir labai skaudžios, ypač kompleksiniuose aukšto saugumo reikalaujančiuose procesuose kaip oro transportas, atominės elektrinės ar medicina. Tada pasekmės gali būti nebeapataisomos – sukelti nelaimingus atsitikimus, susijusius su traumomis ar net mirtimis.

Nelaimingi atsitikimai ir incidentai pramonėje yra akivaizdžios žmogiškosios klaidos, tačiau netinkami darbuotojo veiksmai gali sukelti sistemų sutrikimus ir ženkliai sumažinti įrenginių našumą bei proceso efektyvumą [1]. Pramonėje daugiausia klaidų yra susijusių su paslaugų, produktų kokybe. Įvairiuose literatūros šaltiniuose pateikiama, kad didžioji dalis gamybos procesuose įvykusių neatitikčių yra tiesiogiai arba netiesiogiai susijusios su žmogiškosiomis klaidomis. Norint sumažinti kokybinių klaidų kiekį reikia užtikrinti kuo palankesnes darbo sąlygas, kurios susideda iš įvairių našumui įtaką darančių veiksnių (angl. *Performance Shaping Factors (PSFs)*). Procesų automatizavimas pašalinant žmogų iš pasikartojančios ar greitos operacijos dažnai išsprendžia kokybės problemas. Tačiau kai operacijose reikia lankstumo žmogus yra vienintelė opcija atitinkamam darbui atlikti [2]. Taip pat, automatizuoti procesus nėra efektyvu, jeigu žmogaus atliekamos procedūros automatizavimui reikalinga sukurti labai sudėtingus ir brangius įrenginius, kurie ilgainiui įmonei neatneša ekonominės naudos. Tada reikalinga tobulinti esamos sistemos procedūras, sudaryti aiškias taisykles kaip žmogus turėtų elgtis operacijose bei atlikti tikslesnį monitoringą kontroliuojant procesus.

Norint kurti klaidų mažinimo strategiją, reikalinga įvertinti darbuotojų bei procesų patikimumą ir nustatyti jų silpnąsias vietas ir paruošti planą sistemos tobulinimui. Skiriant tinkamą dėmesį sistemos analizavimui, veiklos našumui įtaką darantiems veiksniams ir darbo sąlygų tobulinimui – ŽK kiekį galima ženkliai sumažinti. Žmogaus ir įrenginio sąveikos sistemų nagrinėjimui bei klaidų identifikavimui naudojami žmogaus patikimumo analizės (angl. *Human Reliability Analysis*) bei žmogiškųjų klaidų analizės (angl. *Human Error Analysis*) metodai. Siekiant sėkmingai taikyti šiuos metodus, reikia aiškiai žinoti žmogiškųjų klaidų apibrėžimą ir jų klasifikavimą. Tai gali nurodyti klaidų atsiradimo priežastis.

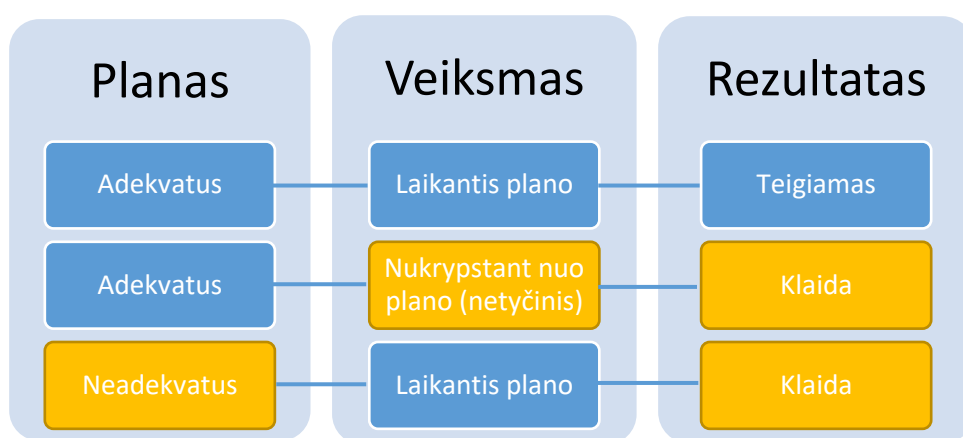
1.1. Žmogiškoji klaida

Paprastai žmogiškoji klaida yra apibrėžiama kaip planuoto ar nustatyto veiksmo nesėkmingas atlikimas, siekiant norimo rezultato. Taip pat apibrėžiama kaip neteisingo sprendimo priėmimas arba nukrypimas nuo ketinimo, lūkesčio ar plano [3]. Žmogiškosios klaidos terminas vartojamas po tam tikro klaidingo darbuotojo veiksmo, kuris sukelia neigiamas pasekmes. Kai kuriais atvejais darbo nusižengimai, kurie nesukelia neigiamų pasekmių, nėra laikomi ŽK, nes dažniausiai tokios klaidos yra vertinamos tik po pastebėtos neigiamos pasekmės (lot. *post factum*). Vis dėlto, remiantis literatūroje pateiktais apibrėžimais taikomuose metoduose, visi nepriimtini darbo sekos nukrypimai nuo sistemoje nustatytų taisyklių, leidžiamų ribų yra laikomi žmogiškosiomis klaidomis.

ŽK atsiranda dėl daugybės įvairių veiksnių, tačiau literatūroje tiriami fiziologiniai bei kognityviniai žmogaus elgsenos procesai leidžia sudaryti šių klaidų tipologiją. Aiškinantis žmogiškąsias klaidas

darbo aplinkoje galima modeliuoti klaidų atsiradimo scenarijus, kurie leidžia kurti bei įdiegti apsaugas tokioms klaidoms atsirasti ar jų pasekmėms mažinti. Skirtingų ŽK tipų suvokimas yra reikalingas norint tobulinti žmogiškųjų klaidų analizės ir prevencijos metodus bei strategijas. Tam, kad ŽK prevencija būtų efektyvi, įvairūs klaidų mažinimo įrankiai ir analizavimo metodai turi būti diegiami ir naudojami procesuose. Analizuojant sistemas bei darbuotojus galima identifikuoti skirtingus ŽK tipus.

Žmogiškosios klaidos gali atsirasti tiek užduočių planavimo, tiek vykdymo etapuose. Užduočių vykdymo planai gali būti sudaryti adekvačiai arba netinkamai, taip pat darbuotojų veiksmai gali būti iš anksto apgalvoti (pagal planą) arba ne pagal planą (netyčiniai). Jeigu planas sudarytas tinkamai ir darbuotojo veiksmas vykdomas pagal nustatytą planą – rezultate nėra klaidos. Jei užduočių vykdymo planas sudarytas tinkamai, bet darbuotojo (netyčinis) veiksmas nukrypsta nuo plano, tada procese įvyksta žmogiškąją klaidą. Jei veiksmų planas sudarytas netinkamai, o darbuotojas veiksmus atlieka teisingai pagal sudarytą planą, taip pat nebus siekiamo rezultato [3]. Ši struktūra pateikta 1 paveiksle.



1 pav. Žmogiškosios klaidos planuojant ir vykdant užduotis [3]

1.1.1. Žmogiškųjų klaidų klasifikavimas

Literatūroje susijusioje su ŽK dažnai cituojamas J. Rasmuseno SRK (angl. *skill-based, rule-based, knowledge based*) įgūdžiais, taisyklėmis ir žiniomis grįstos žmogaus veiklos modelis [4]. Kiekviename skirtingame lygyje gali įvykti skirtingo tipo žmogiškoji klaida.

Įgūdžiais bei įpročiais pagrįstos veiklos klaidos

Įgūdžiais pagrįstos klaidos dažniausiai atsiranda atliekant labai monotoniškus, rutininius darbus. Kai daug kartų kartojamas tas pats veiksmas dėmesys nukrypsta nuo vykdomos užduoties, mąstoma apie kitus dalykus. Taip pat neigiamą įtaką daro darbuotojo blaškymasis ir išoriniai trikdžiai, kurie gali pertraukti jo darbą. Klaidai įvykus įgūdžiais grįstos veiklos operacijose darbuotojas dažniausiai turi pakankamą kompetenciją tinkamam užduoties atlikimui. Šiame veiklos lygyje klaida gali nutikti net didžiausią patirtį turinčiam darbuotojui. Kuo užduotis labiau rutininė ir nereikalaujanti apmąstymų ar naujų sprendimų priėmimų, tuo einant laikui minčių koncentravimas į užduotį silpnėja. Tai reiškia, kad tikimybė įgūdžiais pagrįstoms klaidoms nutikti yra mažesnė, kai dirba naujas ar mažesnę patirtį turintis darbuotojas, kuriam darbinė aplinka yra nauja ir jis dar tik kaupia patirtį. Darbuotojų perkvalifikavimas, taisyklių griežtinimas ar drausminimas dažniausiai nepadaeda tokių klaidų išvengti. Šios kategorijos klaidoms priskiriamas tam tikrų dalykų užmiršimas – pamirštama ką nors

atlikti, prarandama įsisavinto plano veiksmų seka. Taip pat netyčinis veiksmo praleidimas priskiriamas šių klaidų kategorijai, kai nesutelkiamas tinkamas dėmesys ir užduotis vykdoma automatiškai – praleidžiant veiksmą, atliekant tinkamą veiksmą su netinkamu objektu arba atliekant netinkamą veiksmą su tinkamu objektu [3].

Taisyklėmis pagrįstos veiklos klaidos

Dažnai viena taisyklė, kuri yra tinkama naudoti vienam atvejui gali būti netinkama kitam. Taisyklingos taisyklės taikymas netinkamoje vietoje įvyksta tada, kai darbuotojas yra įsitikinęs, kad ši taisyklė veikė kitoje panašioje situacijoje, todėl jis tam tikras nustatytas taisykles bando pritaikyti priimdamas sprendimą kitur, tikėdamasis, kad tai yra teisinga. Kartais taisyklės būna sudarytos klaidingai, neįvertinus tam tikrų rizikų, o darbuotojai laikydamiesi šių taisyklių, neapsvarstydami kas gali nutikti neišvengia neigiamų padarinių. Taip pat blogos taisyklės gali būti sudarytos remiantis klaidinga ar neaiškia informacija. Sudarant taisykles gali nutikti kito tipo – žiniomis pagrįstos klaidos.

Žiniomis pagrįstos veiklos klaidos

Šios klaidos įvyksta, kai tam tikroje situacijoje reikia pritaikyti savo turimas žinias ir intelektualiu būdu bandyti suvaldyti procesą, atlikti sudėtingą veiksmą. Jeigu darbo aplinkoje nėra aprašytų taisyklių, kuriomis būtų galima vadovautis įvykus naujai problemai, darbuotojams tenka vadovautis savo nuožiūra bei patirtimi kaip spręsti atitinkamą užduotį. Priimant tam tikrą sprendimą vadovaujantis savo žiniomis dėl patirties stokos ar informacijos trūkumo gali įvykti klaida. Tokios klaidos dažniausiai pasitaiko mažiau patyrusiems darbuotojams, kai jie dar pilnai nesupranta sistemos sandaros, proceso eigos. Taip pat gali nutikti kai darbuotojas jaučia per didelį pasitikėjimą savo žiniomis, nuvertindamas specifinių žinių būtinybę konkrečiam veiksmui atlikti.

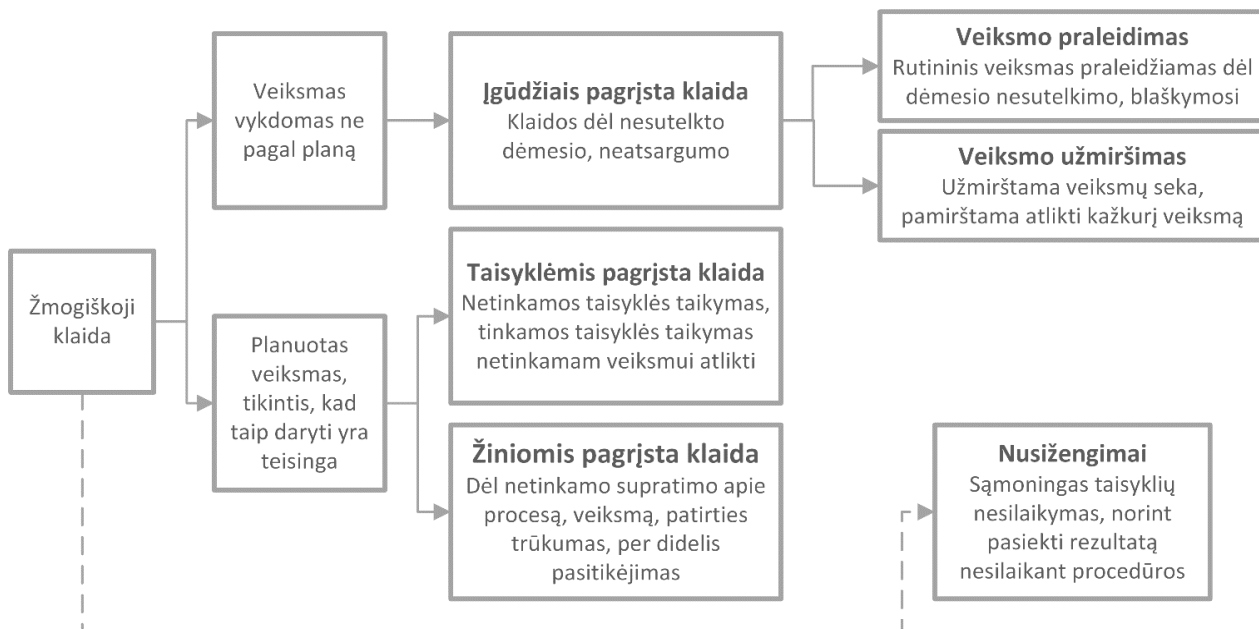
Dar vienas žmogiškųjų klaidų klasifikavimo GEMS (angl. *Generic Error Modelling System*) metodas buvo pristatytas J. Ryzono [5]. Autorius praplėtė SRK modelį, pagrindinis dėmesys buvo skiriamas kognityviniams žmogaus veiksmams, sprendimų priėmimui, analizavimui. GEMS metodas skirtas aprašyti kaip žmogus, vykdydamas tam tikras užduotis, pereina nuo vieno link kito įgūdžiais, taisyklėmis ar žiniomis grįsto problemos sprendimo vykdymo būdo pagrįsto SRK modeliu [6]. Vienas iš bendrųjų GEMS metode nagrinėjamų problemų pavyzdžių: spręsdamas iškilusią problemą darbuotojas naudojami nustatyta taisykle, tačiau ji nepadaeda išspręsti problemos. Todėl reikia praleisti neveikiančią taisyklę ir spręsti iškilusią problemą taikant žinias (pereiti nuo taisyklėmis prie žiniomis grįsto problemos sprendimo būdo). Pavyzdžiui, nustatytos taisyklės, kad padidėjus neatitikčių kiekiui reikia patikrinti ar detalės atliekančios mechaninę operaciją darbo ciklą kiekis neviršija 15000. Jeigu ne – tada reikalinga koreguoti įrenginio parametrus lestinose ribose. Toliau patikrinus detalės darbo ciklą kiekį jis siekia apie 10000, todėl atliekamos kelios parametrų korekcijos, tačiau defektų lygis vis tiek nemažėja. Galiausiai naudojantis žiniomis, o ne taisyklėmis, nustatyta, kad detalė yra nusidėvėjusi dar nepasiekusi techninėje dokumentacijoje nurodyto darbo ciklą skaičiaus ir ją pakeitus neatitikčių procentas sumažinamas.

GEMS metodo klaidų klasifikavimas [5]:

- klaidos įvykdomos netyčiniu būdu: nepastebimai suklydus (angl. *slips*), neapsižiūrėjus ir pamiršus užduoties ar veiksmų seką (angl. *memory lapses*);
- klaidos (angl. *mistakes*) įvykusios užduočių planavime ar problemos sprendimo metu, kaip ir anksčiau aprašyto SRK modelio taisyklėmis ir žiniomis grįstų klaidų klasifikavimo atveju;

- išskiriami ir sąmoningi pažeidimai (angl. *violations*) – atliekant tam tikrą veiksmą nesilaikoma saugumo, instrukcijose nurodyto veiksmų plano. Tai daroma norint greičiau ar lengviau pasiekti rezultatą, dėl šios priežasties gali įvykti klaida.

Žmogiškųjų klaidų tipai susiję su žmogaus elgesio savybėmis, informacijos apdorojimu ir sąmoningu veiksmų, sprendimų pasirinkimu ir jų kontroliavimu. Remiantis J. Rasmuseno SRK modeliu ir J. Ryzono GEMS metodu gali būti išskaidomi į atskiras grupes, ši struktūra pateikta 2 paveiksle.



2 pav. SRK modelio ir GEMS metodo žmogiškųjų klaidų klasifikacija [4, 5]

SRK modelio ir GEMS metodo taikymas leidžia mums [7]:

- gauti tikslesnį supratimą apie klaidų prigimtį, galima išskirti klaidas tarp įgūdžiais, taisyklėmis ir žiniomis pagrįstų klaidų;
- įvertinti skirtumus tarp skirtingų klaidų tipų;
- suprasti, kad klaidos suteikia informacijos apie procesą;
- numatyti, kada ir kokiomis sąlygomis gali atsirasti žmogiškoji klaida.

Detalizuojant klaidų tipus taip pat galima išskirti Sveino ir Gutmano klaidų klasifikavimą, kurį sudaro dvi dalys [8]:

- praleidimo klaidos (angl. *Errors of Omission*) – praleidžiama visa užduotis arba užduoties etapas;
- netinkamo užduoties atlikimo klaidos (angl. *Errors of Commission*), kurios dar išskirstomos į pasirinkimo, netinkamos darbo sekos, užduoties atlikimo laiko ir kokybinės klaidas.

Skirtingi žmogiškųjų klaidų analizės metodai naudoja skirtingą klaidų klasifikaciją, tačiau dauguma remiasi šiame poskyryje minėtais klaidų tipais.

1.1.2. Senasis ir naujasis požiūris į žmogiškąsias klaidas

Egzistuoja du požiūriai į žmogiškąsias klaidas. Senajame požiūryje dėl klaidų kaip problemos priežastis visada analizuojamas ir kaltinamas žmogus. Aiškinantis nesėkmingo veiksmo ar įvykių sekos priežastis darbo vietoje ir neradus tinkamo paaiškinimo (nematant jokių problemų pačiame procese) dažnai prieinama prie išvados, kad įvykio kaltininkas yra blogai pasielgęs žmogus. Yra vadovaujamosi posakiu, kad žmonės ne visada daro tai ką jiems reikėtų daryti. Šiuo požiūriu nusakoma, kad tik žmogaus klaida sukelia incidentus, sistemos ir procesai yra adekvatūs ir tinkami, tačiau nesėkmingi įvykiai įvyksta dėl nepatikimų žmonių elgesio. Tokiu atveju sistemos klaidos, kurios galimai iškėlė neatitiktis, saugumo incidentą ar sugadino įrangą lieka nenustatytos. Kitaip tariant, jeigu žmogus būtų laikęsis taisyklių ir skyręs pakankamai dėmesio klaida nebūtų įvykusi. Tačiau jeigu sistema yra sukurta neadekvačiai ir joje yra per daug taisyklių, jų įsiminimas ir vadovavimasis jomis gali kaip tik supainioti darbuotoją. Apibendrinant galima teigti, kad šis požiūris rekomenduoja skatinti žmonių budrumą, dėmesio sutelkimą į veiksmą. Siūlo įdiegti daugiau procedūrų, technologijų, atlikti papildomus ar pakartotinius mokymus operatoriui, kuris yra klaidų priežastis. Vadovaujantis tokiu požiūriu žmogiškųjų klaidų analizės yra atliekamos paviršutiniškai. Neužduodami jokie klausimai ir neapsvarstomos visos aplinkybės kodėl taip įvyko. Šiame požiūryje turint aiškų nesėkmingo įvykio rezultatą, analizė atliekama tol, kol suprantama kokie veiksmai buvo atlikti neteisingai, tačiau neanalizuojama kodėl.

Naujajame požiūryje žmogiškoji klaida tai gilesnės problemos, slypinčios sistemos ar proceso viduje, simptomas [9]. Klaida yra tik pradinis taškas nuo kurio reikia aiškintis ir suprasti kokios sisteminės problemos slypi procese. Jeigu vienas žmogus padarė tokią klaidą, taip gali pasielgti ir bet kuris kitas darbuotojas. Taigi, šiame požiūryje analizuojant problemą žmogiškoji klaida nėra tyrimo išvada, tai tik organizacijoje slypinčių bėdų atspirties taškas [10]. 1 lentelėje pateikiami pagrindiniai skirtumai tarp senojo ir naujojo požiūrio į žmogiškąsias klaidas.

1 lentelė. Senasis ir naujasis požiūriai į žmogiškąsias klaidas [9].

Senasis požiūris	Naujasis požiūris
<ul style="list-style-type: none">• Žmogiškoji klaida yra incidento priežastis.• Apibūdina ko žmonėms nepavyko atlikti ir ką jie turėjo padaryti, kad išvengtų klaidos.• Siekiant išvengti klaidų diegiamos papildomos procedūros, taisyklės ir mokymai darbuotojams.• Analizuojant įvyki randami įkalčiai apibūdina tik netinkamą darbuotojo elgesį tam tikroje situacijoje.• Sistemos yra tinkamos, bet žmogus elgiasi netinkamai.	<ul style="list-style-type: none">• Žmogiškoji klaida nėra nesėkmės priežastis, ji tik simptomas. Problema slypi sistemoje.• Siekia suprasti, kodėl žmonės priėmė tokį sprendimą, dėl kurio įvyko klaida. Tam, kad galėtų išanalizuoti žmogiškųjų klaidų kilmę ir patobulinti pačią sistemą.• Sistemos gali būti suprojektuotos netinkamai, nes žmogus galėjo suklysti, manydamas, kad atlieka teisingą veiksmą.

Šių laikų žmogiškųjų klaidų analizės metodai remiasi naujuoju požiūriu – nekaltina žmonių, o nagrinėja procesus, kuriuose gali būti dizaino ar organizacinių klaidų sudarančių palankias sąlygas sistemos klaidoms įvykti.

1.2. Žmogaus patikimumo bei žmogiškųjų klaidų analizė

Žmogaus patikimumo (HRA) ir žmogiškųjų klaidų (HEA) analizės jau buvo atliekamos prieš 60 metų. Literatūroje HRA analizė apibrėžiama kaip sistemoje galimų įvykti ŽK identifikavimo, nagrinėjimo metodas, siekiantis įvertinti žmogaus patikimumą (tikimybę suklysti) ir rasti kaip sušvelninti ar pašalinti šių klaidų atsiradimą procesuose. Norint įvertinti sistemos patikimumą ar jos

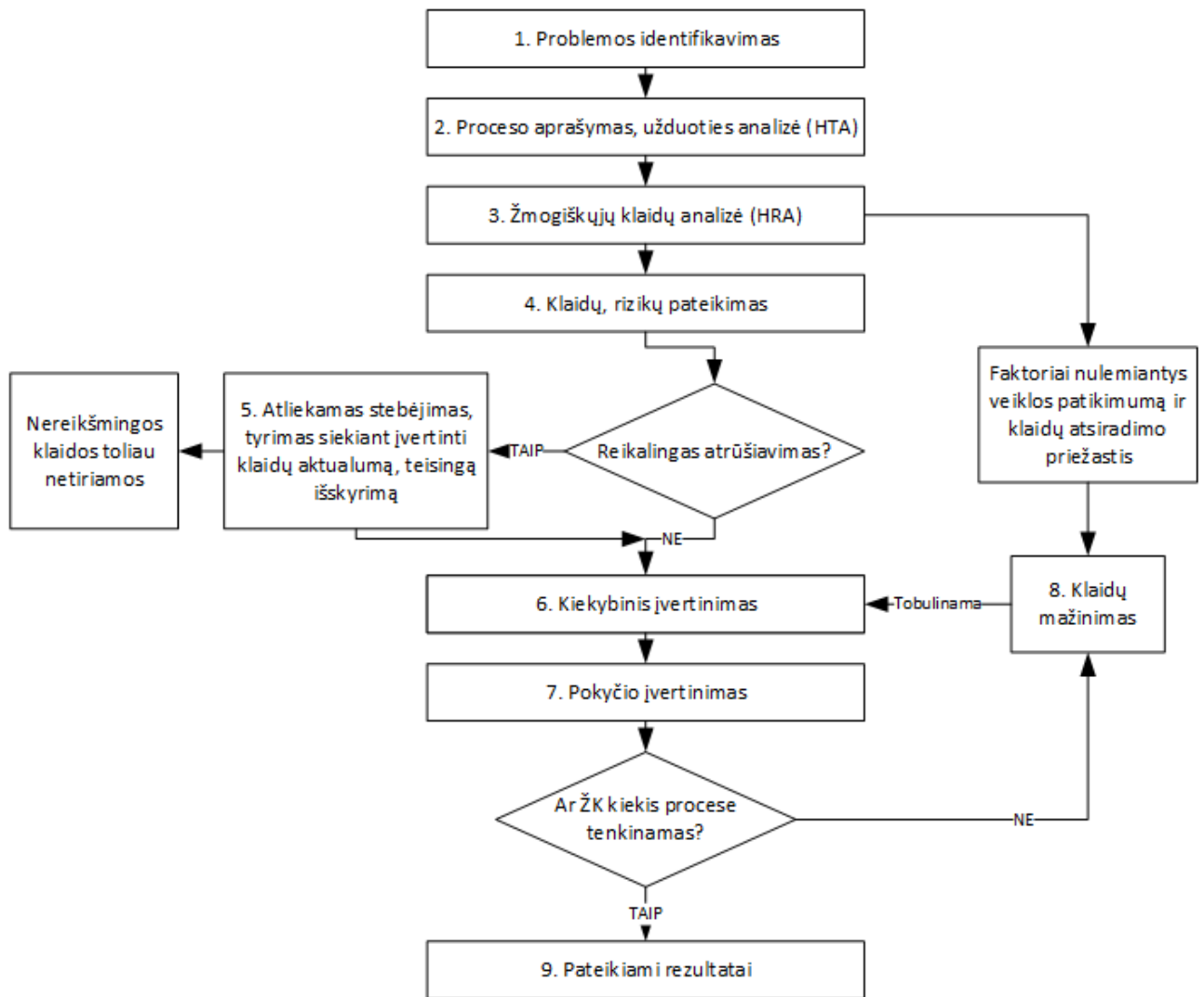
atsparumą klaidoms – vertinimui reikia įtraukti visas sistemos sudedamąsias dalis, viena iš dalių yra žmogus, vykdamas tam tikras užduotis sistemos procesuose. ŽK rizikai įvertinti naudojami įvairūs taikomieji žmogaus patikimumo analizės (HRA) metodai. Šios analizės padeda nustatyti procesų rizikingiausias vietas įvertinant žmogiškosios klaidos tikimybę (angl. *Human error probability (HEP)*).

Pagrindiniai kiekybinių HRA metodų etapai [11]:

1. identifikuoti kritines operacijas, kuriose žmogiškosios klaidos gali sukelti grėsmę saugumui ar kitai funkcinei proceso veiklai;
2. išanalizuoti procesą išskaidant kiekvieną jo etapą į punktus ir tarpinius etapus;
3. identifikuoti žmogiškųjų klaidų tipus, įmanomas klaidų priežastis bei veiklai įtaką darančius faktorius (PSFs);
4. nustatyti atitinkamo tipo žmogiškosios klaidos tikimybę kiekvienai proceso užduočiai.

Tiriamajame procese atliekant žmogiškųjų klaidų analizę (HEA) yra įvertinamas kiekvienas proceso žingsnis bei apsvarstomi ir įvardijami visi galimų klaidų scenarijai. Aprašius galimas proceso klaidas yra išskiriamos visos įmanomos klaidingo veiksmo ar įvykio sekos pasekmės. Po to atliekamas rizikų valdymas ir įvertinamos galimybės proceso etapui patobulinti (klaidos tikimybei sumažinti). Tai paprastas ir efektyvus būdas analizuoti ir įvertinti ŽK, kurios kartais atrodo sudėtingos ir problemiškos. Puikus ŽK analizės pradinis taškas yra tinkamai sudaryta proceso, užduoties hierarchinė struktūra. Standartinis žmogiškųjų klaidų analizės metodo atlikimas realizuojamas išskirstant procesą etapais, aprašant visas galimas to veiksmo etapo žmogiškąsias klaidas, jų pasekmes, turimas rizikos valdymo priemones ir pasiūlymus bei priemones problemoms spręsti ar sušvelninti.

Kritinių proceso vietų identifikavimui reikalinga naudoti vieną iš sistemingų analizės metodų, leidžiančių nuosekliai įvertinti visas proceso vietas, galimus klaidų režimus. Norint atlikti detalią žmogiškųjų klaidų analizę, nepriklausomai koks metodas naudojamas reikalinga pasirinkti procesą, aprašyti identifikuojamą problemą. Prieš pradėdant analizuoti proceso klaidas pravartu atlikti proceso hierarchinę užduočių analizę (angl. *Hierarchical task analysis (HTA)*), tokiu būdu detaliam aprašant sistemą bei vykdomo proceso etapus. Sudarius hierarchinę užduočių struktūrą su veiksmų seka bei ją sunumeravus, galima pasirinkti labiausiai tinkantį ŽK analizės metodą ir analizuoti žmogiškųjų klaidų atvejus, išskiriant proceso žingsnį bei galimas rizikas, klaidas. Reikia įvertinti tų klaidų ištaisymo sąnaudas bei teikti proceso patobulinimus. Remiantis nagrinėta literatūra apie skirtingus HEA ir HRA metodus ir B. Kirvano klaidų identifikavimo knyga [12] sudarytas bendrasis žmogiškųjų klaidų analizės algoritmas, kuris pateiktas 3 paveiksle. Vadovaujantis šio algoritmo struktūra vykdomas tolesnis darbo vystymas – problemos identifikavimas ir procesų bei ŽK analizė.



3 pav. Bendrasis žmogaus patikimumo ir žmogiškųjų klaidų analizės vykdymo algoritmas [12]

Pagrindinė žmogiškųjų klaidų analizės 3 paveiksle pateikto algoritmo idėja yra identifikuoti turimą problemą, susidaryti viso proceso užduočių struktūrą, identifikuoti galimas ŽK tam tikrame etape, nustatyti klaidų atsiradimui įtaką darančius veiksnius (PSFs), kiekybiškai įvertinti arba nustatyti kokia yra tikimybė suklysti atskiruose etapuose bei visoje sistemoje, parinkti strategiją klaidų mažinimui, įdiegti pasiūlymus ir vertinti proceso pokytį.

Daugelis metodų yra sukurti taikymui didelės saugumo rizikos procesuose kaip aviacija, sveikatos apsauga, atominės jėgainės. Tokiose srityse keliami aukšti saugumo reikalavimai, todėl būtina apskaičiuoti teorinę galimos klaidos tikimybę, jai dar neįvykus – vengiant nelaimingo atsitikimo. Dauguma metodų yra lankstūs ir pritaikomi gamyboje, vertinant žmogaus patikimumą, sąlygas skatinančias klaidų atsiradimą bei skaičiuojant darbuotojo tikimybę suklysti. Dažniausiai klaidos įvykusios gamyboje siejamos su gaminamų produktų kokybės mažėjimu.

1.3. Veiksniai darančys įtaką darbo našumui

Veiklos našumui įtaką darančius faktorius (PSFs) galima nustatyti pagal vidinius veiksnius (asmenines žmogaus savybes) bei išorinius veiksnius (darbo veiklos pobūdį, grafiką, aplinką, organizacijos struktūrą bei kitus veiksnius). Šie faktoriai padidina arba sumažina žmogaus darbo našumą, taip pat padidina arba sumažina žmogiškųjų klaidų atsiradimo tikimybę. PSFs leidžia

atsižvelgti į išorinius aplinkos ir vidinius darbuotojo elgsenos veiksnius, galinčius turėti įtakos žmogaus vykdomai veiklai. Apžvelgiant literatūrą susijusią su žmogaus patikimumo vertinimu ir ŽK analizės metodais dažnai naudojami įvairūs PSFs, tačiau skirtinguose metoduose gali būti naudojami ir skirtingi faktoriai. Gilinantį į įvairius žmoniškųjų klaidų analizės metodus, pastebėta, kad kai kurie HRA metodai gali šiems veiklą formuojantiems faktoriams priskirti tam tikras skaitines vertes (koeficientus) ir pagal atskirus faktorius skaičiuoti ŽK atsiradimo tikimybę. Taip galima kurti tam tikro proceso ŽK atsiradimo modelį, apskaičiuojant kokia jos atsiradimo tikimybė, naudojant kiekybiškai įvertintus PSFs koeficientus.

Kai kurie metodai naudoja daug atskirų PSFs, o kituose metoduose, pavyzdžiui SPAR-H (angl. *Standardized Plant Risk–Human Reliability Analysis*) naudojami tik 8 pagrindiniai veiksniai [13], kurie dar gali būti išskaidyti į lygius su atitinkamais kiekybiniais koeficientais:

- **laikas skirtas užduočiai atlikti.** Kritiniuose procesuose šis veiksnys apibūdinamas kaip laikotarpis, kurio metu įvykus nenumatytam atvejui darbuotojas turi imtis tam tikrų veiksmų. Gamyboje šį veiksniį galime priskirti prie standartinio darbo procedūroje nurodyto darbo ciklo, kurio metu darbuotojas turi atlikti tam tikrą procedūrą ar veiksmą. Todėl reikalinga įvertinti ar darbuotojas geba per nustatytą laiką atlikti užduotis. Jeigu jis vos spėja atlikti veiksmą per nustatytą laiką – šis veiksnys didina klaidos įvykio tikimybę.
- **Stresas.** Dažniausiai apibūdinamas kaip neigiamą įtaką darbo našumui darantis veiksnys. Iššaukiamas esant nepalankioms darbo sąlygoms, iškilusiai nenumatytai situacijai, kylant emocinei įtampai, esant dideliame krūviui ar veikiant išoriniams neigiamiems aplinkos veiksniams.
- **Kompleksiškumas.** Šį faktorių nulemia užduočių sudėtingumas bei kokiam kontekste ir aplinkoje jos yra vykdomos. Sudėtingesnės užduotys reikalauja aukštesnės kompetencijos, įgūdžių darbui atlikti.
- **Darbo patirtis bei mokymai.** Faktoriaus įvertinimą lemia darbo stažas, darbuotojų asmeninė patirtis bei jų apmokymas. Įvertinama ar darbuotojai supažindinti su dokumentais, ar buvo atliktas užduoties paaiškinimas ir mokymai.
- **Procedūros.** Apima proceso, darbo vietos dokumentus, struktūrą. Jei procedūros yra aiškiai išdėstytos, atnaujintos – šis veiksnys gerina darbo našumą.
- **Ergonomika.** Įvertinamas darbo vietos patogumas, aplinka, įrankiai, įrenginio valdymas bei sąsaja su vartotoju (angl. *Human Machine Interface (HMI)*), proceso statuso atvaizdavimas, indikacija.
- **Darbuotojų tinkamumas darbui.** Įvertinamos darbuotojo savybės – ar jis fiziškai ir psichologiškai pasiruošęs tokiam darbui. Vertinama sveikatos būklė ar vartojami medikamentai, taip pat, ar jis nėra per daug pasitikintis savimi, ar nėra išsiblaškęs.
- **Darbo procesai.** Apima darbo planavimą, organizavimą, komunikavimą, saugumo kriterijus organizacijoje. Prastai skirstomas planas gali turėti neigiamos įtakos darbo našumui.

Veiklos našumą formuojantys faktoriai (PSFs) gali turėti tiesioginę arba netiesioginę įtaką [14]. Tiesioginių PSFs reikšmė gali būti išmatuojama konkrečiam veiksniai (darbo patirtis, mokymai, ciklas). Netiesioginių PSFs įvertinimas vykdomas subjektyviai, kokybiškai šių faktorių verčių įvertinti negalima, vertinama tik kokią įtaką jie daro kitam konkrečiam parametrui ar veiksniai. Anksčiau aprašyti SPAR-H metodo veiklos našumui įtaką darantys faktoriai 2 lentelėje išskaidomi į tiesioginius ir netiesioginius veiklai įtaką darančius faktorius.

2 lentelė. Tiesioginę ir netiesioginę įtaką klaidoms darantys veiksniai (PSFs).

Veiksnys	Tiesioginis	Netiesioginis
Laikas skirtas užduočiai atlikti	+	
Stresas		+
Kompleksiškumas		+
Patirtis ir mokymai	+	
*Procedūros	+	+
Ergonomika		+
Darbuotojų tinkamumas		+
Darbo procesas		+

*Procedūras galima priskirti abiem. Tiesiogiai vertinamas procedūrų aprašymas, procesų dokumentų buvimas, tačiau negalima tiesiogiai įvertinti jų kokybės.

Kituose metoduose PSFs terminas gali būti vartojamas su kitomis santrumpomis bei apibrėžimais kaip EPCs (angl. *Error producing conditions*), EFCs (angl. *Error-forcing contexts*) ar CPCs (angl. *Common performance conditions*).

Analizuojant procesus ir modeliuojant darbo aplinkos poveikį klaidoms, kokybiškai įvertinti veiksniai, darantys įtaką darbo našumui, gali padėti sudaryti bendrą struktūros, darbo vietos ar operacijos vaizdą, kuris padeda vertinant patikimumą. Žmogiškųjų klaidų analizių metoduose, kuriuose nenaudojamos skaitinės PSFs vertės jų būklės aprašymas gali padėti identifikuoti tam tikrų procesų užduotyse kylančias klaidų rizikas bei padėti vystyti klaidų mažinimo strategijas. O metoduose, kuriuose PSFs vertinami kiekybinės vertėmis, tiksliai aprašius proceso sąlygas galima apskaičiuoti teorinę žmogiškosios klaidos atsiradimo tikimybę (HEP).

Naudojant kai kuriuos HRA metodus, HEP gali būti preliminariai nustatyta remiantis veiklos pobūdžiu. Pavyzdžiui, kai kuriuose šaltiniuose išskiriama, kad paprastose rutininėse veiklose, priklausomai nuo užduočių pobūdžio, klaidos tikimybė gali būti nuo 0,004 iki 0,02 [15].

1.4. Taikomieji žmogaus patikimumo analizės metodai

Sistemose taikomi žmogaus patikimumo analizės metodai skirstomi į pirmos, antros ir trečios kartos metodus.

Pirmos kartos metodai. Šios kartos HRA metodai buvo susiję tik su žmogaus elgesio tyrimu. Žmonės buvo tiriami kaip tam tikri objektai (mechanizmai ar komponentai), tačiau toliau buvo kiek išvystyti, patobulinant metodų prielaidas, įtraukiant naujus PSFs ar jų kiekybinius koeficientus. Priskiriami apie 35-40 HRA metodų, kurių dauguma yra panašūs. Teoriniu pagrindu pirmos kartos metodus sieja [16, 17]:

- klaidų klasifikavimas atliekamas skirstant į veiksmo praleidimo klaidas (angl. *ommission*) ir neteisingo veiksmo atlikimo klaidas (angl. *commission*), kaip minėto Sveino ir Gutmano klasifikavimo atveju;
- metoduose naudojami atitinkami veiklos našumui įtaką darantys veiksniai;
- įgūdžiais ir taisyklėmis grįstose veiklos lygiuose įvykusių klaidų tyrimas.

Šiuose metoduose atliekamas užduočių išskaidymas į atskirus etapus (dažniausiai naudojama HTA), po to atsižvelgiama į veiklos našumui įtaką darančių veiksnių (PSFs) poveikį. Dažniausiai naudojami

trys faktoriai: laikas skirtas užduočiai atlikti, sistemos dizainas ir streso lygis. Apjungiant atliktus veiksmus gali būti nustatoma nominali proceso klaidos tikimybė. Šie metodai sutelkia pagrindinį dėmesį į įgūdžiais ir taisyklėmis grįstą darbuotojų veiklą, dėl ko yra dažnai kritikuojami, kadangi vertinant PSFs neatsižvelgia į kognityvinius veiksnius – galimą aplinkinį, organizacinį poveikį. Nepaisant to, šie metodai yra naudingi ir dauguma jų yra naudojami kiekybiniam rizikos įvertinimui [17]. Pirmos kartos metodų pavyzdžiai: THERP (angl. *Technique for Human Error Rate Prediction*), HEART (angl. *Human Error Assessment and Reduction Technique*), SHERPA (angl. *Systematic Human Error Reduction and Prediction Analysis*), SPAR-H (angl. *Standardized Plant Analysis Risk-Human Reliability Analysis*).

Antros kartos metodai. Po kiek laiko nuo pirmųjų HRA metodų atsiradimo, keičiantis požiūriui į ŽK, į analizes buvo įvesti kognityviniai, pažintiniai veiksniai. Žmogaus patikimumas buvo tiriamas trijuose veiklos lygiuose: įgūdžiais, taisyklėmis bei žiniomis grįstoje veikloje. Šios kartos metodai sukurti tam, kad papildytų tradicinių pirmos kartos metodų kognityvinius trūkumus [16]:

- pateikia gaires apie galimus ir tikėtinus darbuotojų sprendimų pasirinkimus, vadovaujantis kognityvinės psichologijos modeliais;
- praplečia ŽK aprašymą, įtraukiant kognityvinių klaidų svarbą priežasčių nustatymui;
- apsvarsto žmogaus-mašinos sąveikos aspektus, kurie gali būti operatoriaus veiklos modeliavimo pagrindas;

Literatūroje išskiriama, kad antrosios kartos metodai vis dar yra vystomi ir nėra visiškai patvirtinti, tačiau jie suteikia naudingos informacijos sprendžiant žmogaus patikimumo problemas [17]. Antros kartos metodų pavyzdžiai: CREAM (angl. *Cognitive Reliability and Error Analysis Method*), ATHEANA (angl. *A Technique for Human Event Analysis*), MERMOS (pranc. *Méthode d'Evaluation et de Réalisation des Missions Opérateurs pour la Sécurité*)

Trečios kartos metodai. Vystomi jungiant pirmos ir antros kartos metodus bei kuriant naujus, kuriuose vertinama tarpusavio PSFs įtaka skaičiuojant HEP ir simuliuojant modelius paremtus duomenimis. Ankstesnės kartos metodų trūkumai [18]:

1. empirinių duomenų trūkumas modelių kūrimui, validavimui;
2. į modelius neįtraukiami žmogaus elgesio kognityviniai procesai;
3. nepastovumas (HRA parametrai skirtingi tarp metodų);
4. priklausomybė nuo ekspertų vertinimo. Ekspertai parenka PSFs pagal kurių vertes skaičiuojama ŽK tikimybė.

Šie metodai suteikia dinaminį pagrindą žmogaus patikimumo vertinimui bei kiekybiniam klaidos tikimybės įvertinimui [16]. Tokių metodų pavyzdžiai: NARA (angl. *Nuclear action reliability assessment*), kuris išvystytas tobulinant pirmos kartos HEART metodą, SHERPA (angl. *Simulator for Human Error Probability Analysis*) ir kiti vystomi hibridiniai analitinių tinklų [19] ar Bajeso tinklų [20] modeliai (metodai).

Taip pat egzistuoja dar viena alternatyvių HRA metodų kategorija vadinama **ekspertų vertinimo metodais** (angl. *expert judgement methods*), kuriuose atitinkamos tyrimo srities ekspertai suburia komandą ir skaičiuoja nuomone bei patirtimi pagrįstą klaidos tikimybę atitinkamuose proceso etapuose.

Dauguma literatūroje aprašomų skirtingų kartų žmogaus patikimumo arba žmogiškųjų klaidų analizių metodų turi skirtingus pavadinimus, tačiau iš dalies yra panašūs. Šiame poskyryje bus trumpai aprašomi populiariausi taikomi metodai, kurie gali būti panaudoti gamybos procesuose įvykstančių ŽK analizavimui.

1.4.1. Systematic Human Error Reduction Prediction Approach (SHERPA)

SHERPA (angl. *A Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach*) – autoriaus D. Embrėjaus sukurtas pirmosios kartos metodas, kuris buvo naudojamas įvairiuose žmogaus-mašinos tarpusavio sąveikos procesuose. SHERPA metodas priskiriamas kokybinės analizės tipui, nes klaidos tikimybė ir kritiškumas yra įvertinami ne skaitinėmis vertėmis, o lygiais. Kiekybiškai įvertinamas tik tam tikrų klaidų tipų atsikartojimas analizuojamame procese.

SHERPA analizėje atliekamos šios užduotys [21]:

1. hierarchinė užduočių analizė (HTA);
2. užduočių klasifikavimas (žiūrėti 3 lentelę, užduotys klasifikuojamos pagal klaidos tipus);
3. galimų žmogiškųjų klaidų identifikavimas;
4. pasekmių aprašymas;
5. proceso atstatymo po įvykusios klaidos aprašymas;
6. klaidos tikimybės lygio priskyrimas (paprastai žemas, vidutinis, aukštas);
7. kritinio rizikos lygio priskyrimas (paprastai žemas, vidutinis, aukštas);
8. klaidų tikimybės mažinimo strategijų išskyrimas.

SHERPA metodo vykdymas atliekamas panašiai kaip 3 paveiksle pateiktame algoritme. Atlikus aprašytas užduotis visa surinkta informacija pateikiama lentelės formatu. Metodas vertinamas dėl nuoseklumo ir tinkamos informacijos surinkimo dokumentacijos ruošimui, vertinant proceso patikimumą.

3 lentelėje pagal veiklos tipą išskiriamas klaidų klasifikavimas, kuris naudojamas SHERPA žmogiškųjų klaidų analizės metode.

3 lentelė. Klaidų tipai ir kodai pagal SHERPA metodą [22].

Klaidos kategorija	Kodas	Klaidos tipas, trumpas aprašymas
Veiksmo atlikimo klaidos	A1	Operacija per trumpa arba per ilga
	A2	Operacija atlikta ne laiku
	A3	Veiksmas atliekamas bloga kryptimi
	A4	Operacijoje atliekama per daug ar per mažai veiksmų
	A5	Blogas sulgyjimas
	A6	Teisingas veiksmas netinkamam objektui
	A7	Neteisingas veiksmas geram objektui
	A8	Praleistas veiksmas
	A9	Nebaigta operacija
	A10	Blogas veiksmas netinkamam objektui
Tikrinimo klaidos	C1	Tikrinimas praleistas
	C2	Tikrinimas nebaigtas
	C3	Teisingas tikrinimas su blogu objektu
	C4	Neteisingas tikrinimas su geru objektu
	C5	Operacija atlikta ne laiku
	C6	Neteisingas tikrinimas su neteisingu objektu

Informacijos įsisavinimo klaidos	R1	Informacija negauta
	R2	Gauta bloga informacija
	R3	Informacija nepilnai įsisavinta
Informacijos perdavimo klaidos	I1	Informacija neperduota
	I2	Perduota bloga informacija
	I3	Informacijos perdavimas nebaigtas
Pasirinkimo klaidos	S1	Pasirinkimas praleistas
	S2	Atliktas blogas pasirinkimas

Rizikos ir tikimybės lygiams įvertinti kai kuriuose taikymo pavyzdžiuose naudojami kodai, kurie pateikti 4 lentelėje. Kuo tamsesnės spalvos – tuo žalos lygis klaidai įvykus yra didesnis.

4 lentelė. SHERPA metode naudojami klaidos tikimybės ir rizikos lygių kodai [21].

Tikimybė pasireikšti	Rizikos lygis	Ekstremaliai kritinis	Kritinis	Nedidelis	Nereikšmingas
		1	2	3	4
Dažna	A	1A	2A	3A	4A
Tikėtina	B	1B	2B	3B	4B
Atsitiktinė	C	1C	2C	3C	4C
Reta	D	1D	2D	3D	4D
Labai reta	E	1E	2E	3E	4E

1.4.2. Human Error Assessment and Reduction Technique (HEART)

HEART – pirmos kartos metodas sukurtas siekiant paprastai kiekybiškai įvertinti galimas žmogiškųjų klaidų rizikas. Metodas pritaikomas įvairiose srityse, kuriuose žmogaus patikimumas yra svarbus [17]. Metode identifikuojamas pilnas sąrašas reikiamų atlikti veiksmų tam tikrai užduočiai įvykdyti. Tada kiekvienai atskirai užduočiai, pasitariant su didelę patirtį turinčiais proceso ekspertais, priskiriamas jos tipas ir klaidai įtaką darantys veiksniai (EPCs) bei jų svoriniai koeficientai. Vėliau apskaičiuojama galutinė proceso etapo ir veiksmo, kuriame galima suklysti tikimybė. Metodas gali padėti atskleisti labiausiai pažeidžiamas proceso vietas ir pasiūlyti tobulinimo veiksmus.

Metode taikomos prielaidos [17]:

- žmogaus patikimumas yra priklausomas nuo atliekamos užduoties tipo;
- idealiomis sąlygomis patikimumo lygis bus apribojamas metode pateiktomis tikimybių ribomis;
- atsižvelgiant, kad procese ne visada bus sudarytos idealios sąlygos, žmogaus patikimumas sumažėja pritaikant atitinkamą klaidai poveikį darantį veiksnių (EPCs).

HEART metode išskiriami 9 bendriniai užduočių tipai (angl. *generic task types (GTTs)*) [23]. GTT's su atitinkamais nepatikimumo lygiais (angl. *Nominal Human Unreliability*) pateikiami 5 lentelėje, tačiau praktikoje ir kituose metoduose paremtais HEART ne visi užduočių tipai yra naudojami.

5 lentelė. Bendriniai HEART metodo užduočių tipai su žmogaus nepatikimumo lygiais [23].

Užduoties tipas (GTT)	Nominalus žmogaus nepatikimumas (NHU)	Nepatikimumo apribojimai, 5-to ir 95-to procentilio ribose
-----------------------	---------------------------------------	--

A	Visiškai nepažįstama operacija, nesuprantama koku greičiu ją reikia atlikti ir kokios pasekmės	0,55	0,35 – 0,97
B	Be priežiūros pirmą kartą atliekamas sistemos atstatymas	0,26	0,14 – 0,42
C	Kompleksinė operacija, reikalaujanti aukšto lygio supratimo bei įgūdžių	0,16	0,12 – 0,28
D	Paprasta ir greitai atliekama operacija, nereikalaujanti itin sutelkto dėmesio	0,09	0,06 – 0,13
E	Rutininė įprasta bei greita operacija, nereikalaujanti didelių įgūdžių	0,02	0,007 – 0,045
F	Atliekamas sistemos atstatymas vadovaujantis procedūromis su pasitikrinimu	0,007	0,0008 – 0,0035
G	Pažįstama, gerai suplanuota rutininė operacija atliekama įgudusio darbuotojo pagal nustatytus standartus	0,0004	0,00008 – 0,009
H	Operacija atliekama taisyklingai su išplėstine, automatizuota priežiūros sistema	0,00002	0,000006 – 0,0009
M	Kitas užduoties tipas (jeigu netinka anksčiau minėti tipai)	0,03	0,008 – 0,11

Iš viso originaliame metode išskiriamos 38 klaidoms poveikį darančios sąlygos (EPCs) su atitinkamais daugikliais, kurie pasirinktai užduočiai gali padidinti klaidos tikimybę [24].

EPCs sąrašas 2015 metais metodo autoriaus buvo peržiūrėtas ir atnaujintas. Visų EPCs atnaujinta lentelė pateikiama 1 priede. Buvo atnaujinti 6 daugikliai bei įtrauktos dvi naujos EPCs [25]:

- (39) darbo pertraukimai, išsiblaškyimas (angl. *Distraction / Task interruption*) su priskirtu daugikliu 4;
- (40) dienos laikas (angl. *Time-of-Day*) su priskirtu daugikliu 2,4 (nepatikimiausias laikas 03:00).

Naudojantis HEART technika analitikas turi identifikuoti visas operatoriaus atliekamas operacijas, kaip ir SHERPA metode pravartu atlikti proceso hierarchinę užduočių analizę (HTA) ir priskirti kiekvienam proceso etapui nominalaus nepatikimumo lygį naudojantis HEART metodo GTTs (5 lentelė). Vėliau atitinkamam užduoties etapui priskiriamos klaidoms poveikį darančios sąlygos (EPCs) ir kiekvienai EPCs analitikas priskiria svorinį poveikio koeficientą (angl. *Assessed Proportion On Affect (APOA)*) nuo 0 iki 1 (0 – įtakos nėra, 1 – didelė įtaka) [17, 26].

Taigi vienai bendrinei užduočiai priskirtas visų EPCs poveikis būtų apskaičiuojamas taip:

$$AA = \prod_{i=1}^{40} \left(((THA_i - 1) \times APOA_i) + 1 \right) \quad (1)$$

čia AA – priskirtas EPCs poveikis (angl. *Assessed Affect*); THE_i – i-tos EPCs daugiklis iš HEART lentelės (angl. *Total HEART Affect*); $APOA_i$ – i-tai EPCs sąlygai inžinieriaus priskirtas svorinis koeficientas.

Tada bendra užduoties klaidos tikimybė būtų apskaičiuojama:

$$HEP = NHU \times AA \quad (2)$$

čia HEP – žmogiškosios klaidos tikimybė; NHU – nominalus žmogaus nepatikimumas (perankamas iš HEART GTTs lentelės); AA – apskaičiuotas, priskirtas EPCs poveikis užduočiai.

1.4.3. Standardized Plant Analysis Risk–Human Reliability Analysis (SPAR-H)

SPAR-H pirmos kartos metodas sukurtas JAV NRC (angl. *Nuclear Regulatory Commission*) branduolinių jėgainių tikimybinių rizikos vertinimo (angl. *Probabilistic Risk Assessment*) modelių vystymui. Metode žmogaus veikla išskirstoma į dvi grupes: veiksmai ir diagnostika [27]. Veiksams (angl. *action / response*) priskiriamos visos fizinės veiklos atlikimo užduotys, kurios remiantis SRK modeliu apima įgūdžiais ir taisyklėmis grįstą veiklos modelį. Diagnostikos (dar įvardijama kaip apdorojimo (angl. *processing*)) užduotys atliekamos remiantis patirtimi ir žiniomis, kai reikalingas individualus mąstymas informacijos apdorojimui ir sprendimų priėmimui (SRK modelyje – žiniomis grįsta veikla). Kognityvinės veiklos atskyrimas priartina SPAR-H metodą prie antrosios kartos metodų. Literatūroje jau pastebima, kad šis metodas įvardijamas kaip antrosios, o ne pirmosios kartos metodas [28].

SPAR-H metode [27]:

- klaidos tikimybė veiksams ir diagnostikai skaičiuojama atskirai;
- žmogiškosios klaidos tikimybė skaičiuojama naudojantis atitinkamai užduočiai priskirtais PSFs koeficientais;
- naudojama iš anksto nustatyta nominali klaidos tikimybė bei PSFs;
- neapibrėžtumui įvertinti naudojamas beta pasiskirstymas;
- dėl analizės nuoseklumo naudojami paruošti darbalapiai.

SPAR-H analizės metu atliekami šie veiksmai [29, 30]:

1. atliekama užduočių, klaidų scenarijaus analizė;
2. ŽK įvykiams priskiriama diagnostikos arba veiksmo kategorija;
3. atitinkamoms klaidų įvykių grupėms įvertinami ir su kiekybinėmis vertėmis priskiriami 8 PSFs;
4. apskaičiuojamos diagnostikos ir veiksmo grupių klaidos tikimybės, jei grupėje neigiamų PSFs yra daugiau nei 3 naudojama modifikuota PSFs apskaičiavimo formulė;
5. nustatoma bendra proceso ar užduoties klaidos tikimybė;
6. nustatoma klaidos tikimybės priklausomybė nuo kitų klaidingų įvykių, jeigu priklausomybė yra, perskaičiuojama ŽK tikimybė.

SPAR-H metode naudojami 1.3 poskyryje aprašyti aštuoni PSFs. Jie gali būti įvertinti tokiais kriterijais ir skaitinėmis vertėmis, kaip pateikta 6 lentelėje. Jeigu įvertinimui trūksta informacijos metode reikalaujama ir priimama, kad faktoriaus daugiklis lygus nominaliam 1. Norint adekvačiai įvertinti PSF poveikį proceso patikimumui reikia nustatyti PSFs kiekybines vertes kiekvienai proceso užduočiai (angl. *generic task*) atskirai.

6 lentelė. SPAR-H metodo PSFs kiekybinių verčių nustatymas [13].

Veiklos našumui įtaką darantis veiksnys (PSF)	PSF lygis	Veiksmo atlikimo daugikliai	Diagnostikos daugikliai
Laikas skirtas užduočiai atlikti	Neadekvatus laikas	P(klaidos)=1	P(klaidos)=1
	Dalinai neadekvatus laikas	10	10
	Nominalus laikas	1	1
	Laisvas laikas > 5 × reikalingas laikas užduočiai atlikti	0,1	0,1
	Laisvas laikas > 50 × reikalingas laikas užduočiai atlikti	0,01	0,01

Stresas	Nepaprastai didelis	5	5
	Aukštas	2	2
	Nominalus lygis	1	1
Kompleksiškumas	Aukštas	5	5
	Vidutinis	2	2
	Nominalus	1	1
Patirtis ir mokymai	Žemas lygis	3	10
	Nominalus lygis	1	1
	Aukštas lygis	0,5	0,5
Procedūros	Neįdiegtos, neaprašytos	50	50
	Neužbaigtos	20	20
	Įdiegtos, tačiau nekokybiškos	5	5
	Nominalios (tinkamos procedūros)	1	1
Ergonomika	Trūksta patogumo, darbuotojas klaidinamas	50	50
	Žema	10	10
	Nominali	1	1
	Aukštas ergonomikos lygis	0,5	0,5
Darbuotojų tinkamumas	Netinkamas	P(klaidos)=1	P(klaidos)=1
	Prastesnė fizinė, psichologinė forma	5	5
	Nominalus	1	1
Darbo procesai	Prastas lygis	5	2
	Nominalus lygis	1	1
	Geras planavimas, organizavimas, komunikacija	0,5	0,5

SPAR-H priešingai nei HEART metode veiklos našumui įtaką darantys veiksniai (PSFs) gali ir sumažinti klaidos tikimybę. Turint daugiau PSFs naudojama patikslinta, modifikuota klaidos tikimybės apskaičiavimo formulė [27]:

$$HEP = \frac{HEP_{nominalus} * PSF_{sudėtiniškas}}{HEP_{nominalus} * (PSF_{sudėtiniškas} - 1) + 1} \quad (3)$$

Čia – $HEP_{nominalus}$ nominali klaidos tikimybė diagnostikos veiklai $1,0 \cdot 10^{-2}$, o veiksmams $1,0 \cdot 10^{-3}$

Sudėtinis PSFs koeficientas apskaičiuojamas [27]:

$$PSF_{sudėtiniškas} = PSF_1 * \dots * PSF_n \quad (4)$$

Tipiniai NRC SPAR-H metodo žmogaus patikimumo analizės darbalapiai pateikiami 2 priede [27].

1.4.4. Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM)

CREAM (angl. *Cognitive Reliability and Error Analysis Method*) – antros kartos metodas, grįstas žmogaus kognityvinės veiklos tyrimu. Metodas gali būti naudojamas tiek retrospektyviems įvykiams analizuoti, tiek prognozuoti žmogiškosios klaidos įvykį procesuose. Metode atskiriama žmogaus kompetencija ir valdymas, šis modelis įvardijamas kaip CoCoM (angl. *Contextual Control Model*) [31]. Kompetencija apima žmogaus įgūdžius bei žinias, taip pat išskiriamos tokios kognityvinės funkcijos: stebėjimas, interpretavimas, planavimas, vykdymas. O valdymas grįstas tuo, kaip operatorius kontroliuoja savo veiksmus [17]. Be to išskiriamos keturios valdymo režimo kategorijos:

1. nenuspėjama situacija (angl. *scrambled*), operatorius nekontroliuoja savo veiksmų (klaidos tikimybė $0,1 < p < 1$);

2. išnaudojamos galimybės veikti (angl. *opportunistic*), neapsvarstyti veiksmai, darbuotojų žinių ir kompetencijos trūkumas (klaidos tikimybė $0,01 < p < 0,5$);
3. planuoti sprendimai (angl. *tactical*), operatorius žino sistemos procedūras ir taisykles (klaidos tikimybė $0,001 < p < 0,1$);
4. strateginiai veiksmai (angl. *strategic*), operatorius turi daug laiko planuoti savo sprendimus (klaidos tikimybė $0,000005 < p < 0,01$);

Klaidos išskirstomos į dvi grupes: į fiziškai pastebimas ir nepastebimas. Pastebimos žmogiškosios klaidos kitaip vadinamos klaidų režimais. Jos klasifikuojamos į atskiras kategorijas, kaip veiksmo atlikimo laikas, greitis, kryptis, atstumas, seka, jėga, objekto elemento parinkimas. Nepastebimos klaidos įvyksta darbuotojo mąstymo (veiksmų kontroliavimo) proceso metu, kai reikia atlikti veiksmą, parinkti taisykles ar pritaikyti turimas žinias. Nepastebimos klaidos daro įtaką pastebimų klaidų atsiradimui. CREAM metode jos laikomos pagrindinėmis žmogiškųjų klaidų priežastimis [32].

Minėtoms kognityvinės veiklos funkcijoms priskiriami klaidų tipai pateikiami 7 lentelėje. Taip pat klaidų tipams priskiriamos nominalios klaidos tikimybės, kurios dar gali būti pateiktos kaip ir HEART metode 5-tojo ir 95-tojo procentilio ribose.

7 lentelė. CREAM metodo kognityvinių funkcijų kategorijos, klaidų tipai bei nominali klaidos tikimybė [31, 33]

Kategorija	Kodas	Kognityvinės funkcijos klaida	NHEP
1.Stebėjimo klaidos	O1	Blogo objekto stebėjimas. Atsaką sukelia blogas įvykis	0,001
	O2	Atliktas blogas identifikavimas (sumaišyta sekos eilė, dalinė identifikacija)	0,07
	O3	Stebėjimas neatliktas (praleistas matavimas ar signalas)	0,0
2.Interpretavimo klaidos	I1	Blogas įvertinimas (neteisinga arba ne pilna diagnostika)	0,2
	I2	Sprendimo klaida (nepriimtas arba blogas sprendimas)	0,01
	I3	Interpretavimas uždelstas (atliktas ne laiku)	0,01
3.Planavimo klaidos	P1	Prioritetų nustatymo klaida	0,01
	P2	Suformuotas neadekvatus planas (netikslus arba klaidingas)	0,01
4.Vykdyimo klaidos	E1	Blogo veiksmo atlikimas (susijęs su jėga, atstumu, kryptimi, greičiu)	0,003
	E2	Veiksmas atliktas blogu metu (per anksti arba per vėlai)	0,003
	E3	Veiksmas atliktas blogam objektui	0,0005
	E4	Veiksmas atliktas ne sekoje	0,003
	E5	Veiksmas praleistas	0,03

CREAM metode taip pat klasifikuojami ir klaidų genotipai – individualios, technologinės, organizacinės priežastys. Visos metode taikomos bendros veiklos atlikimo sąlygos (CPCs) yra skirstomos šių genotipų atžvilgiu. 8 lentelėje pateikiamos metode taikomos veiklos našumui įtaką darančios sąlygos su kiekybinėmis reikšmėmis atskirų kognityvinių funkcijų tipų veikloje. Nuspalvinti lentelės langeliai nurodo, kad CPCs nedaro įtakos klaidos tikimybei užduotyje, jų svoris lygus vienam.

8 lentelė. CREAM metodo CPC su skaitinėmis vertėmis, skirtingo tipo kognityvinėms funkcijoms (numeravimas pagal 7 lentelę) [31]

CPCs pavadinimas	Lygis	(1)	(2)	(3)	(4)
Organizacijos adekvatumas	Labai efektyvus	1,0	1,0	0,8	0,8
	Efektyvus	1,0	1,0	1,0	1,0
	Neefektyvus	1,0	1,0	1,2	1,2
	Nepakankamas	1,0	1,0	2,0	2,0
Darbo sąlygos	Palankios	0,8	0,8	1,0	0,8
	Tenkinamos	1,0	1,0	1,0	1,0

	Netenkinamos	2,0	2,0	1,0	2,0
HMI, pagalbinių priemonių adekvatumas	Padedantis	0,5	1,0	1,0	0,5
	Adekvatus	1,0	1,0	1,0	1,0
	Toleruojamas	1,0	1,0	1,0	1,0
	Netenkinamas	5,0	1,0	1,0	5,0
Procedūrų, planų prieinamumas	Tinkamas	0,8	1,0	0,5	0,8
	Priimtinas	1,0	1,0	1,0	1,0
	Nepriimtinas	2,0	1,0	5,0	2,0
Vieno metų iškeltų tikslų kiekis	Mažesnis nei turimas pajėgumas	1,0	1,0	1,0	1,0
	Pagal pajėgumą	1,0	1,0	1,0	1,0
	Neadekvatus	2,0	2,0	5,0	2,0
Turimas laikas	Adekvatus	0,5	0,5	0,5	0,5
	Tarpais neadekvatus	1,0	1,0	1,0	1,0
	Pastoviai neadekvatus	5,0	5,0	5,0	5,0
Dienos laikas	Dienos laikas	1,0	1,0	1,0	1,0
	Nakties laikas	1,2	1,2	1,2	1,2
Mokymai ir pasiruošimas	Didelė patirtis	0,8	0,5	0,5	0,8
	Maža patirtis	1,0	1,0	1,0	1,0
	Neadekvatus lygis	1,2	1,2	1,2	1,2
Komandos bendradarbiavimo kokybė	Labai efektyvi	0,5	0,5	0,5	0,5
	Efektyvi	1,0	1,0	1,0	1,0
	Neefektyvi	1,0	1,0	1,0	1,0
	Nepakankama	2,0	2,0	2,0	2,0

Taip pat CREAM metode aptariamos ir tarpusavio CPCs priklausomybės. Bendroju atveju CREAM metodo taikymas susideda iš tokių punktų [31]:

- aprašomas procesas arba jo tarpinės užduotys, kurios bus analizuojamos (galima naudoti hierarchinę užduočių analizę);
- užduotims priskiriamos kognityvinės funkcijos arba užduoties kategorijos;
- užduočiai priskiriamos bendro našumo sąlygos (CPCs) bei svoriai, kurie apibūdina užduoties sąlygas ir pobūdį;
- nustatomas kognityvinis valdymo režimas;
- apskaičiuojama užduoties bei viso proceso teorinė klaidos tikimybė.

1.4.5. Simulator for Human Error Probability Analysis (SHERPA*)

Pirmos ir antros kartos metodai turi savo privalumų ir tam tikrose taikymo srityse yra naudingi ir pakankami žmogaus patikimumui įvertinti. Tačiau dėl dinaminių trūkumų stengiamasi vystyti patobulintas HRA technikas.

SHERPA* (angl. *Simulator for Human Error Probability Analysis*) – naujas tos pačios santrumpos trečios kartos metodas (modelis). Sukurtas remiantis simuliacijos įrankiais bei ankstesniais HRA metodais. Technikoje, naudojamoje programinėje įrangoje, vystomas modelis, simuliuojantis žmogaus elgesį tam tikrose aprašytose darbo situacijose, siekiant apskaičiuoti ir įvertinti žmogiškųjų klaidų tikimybę visose pramonės ar kitose sistemose. SHERPA* technikos vystomas modelis perėmė užduočių (GTTs) klasifikavimą iš HEART ir PSFs analizę iš SPAR-H metodų [28]. Žmogaus

* Vienodos SHERPA santrumpos (angl. *Simulator for Human Error Probability Analysis*) metodas bus žymimas su * simboliu.

patikimumas vertinamas kaip atliekamos užduoties tipo, PSFs ir išdirbto darbo laiko funkcija [28]. Naudojantis šia funkcija siekiama įvertinti kokia patikimumo priklausomybė nuo užduoties tipo, darbo turinio bei sąlygų ir kaip keičiasi patikimumas nuo išdirbto laiko trukmės.

Bendra klaidos tikimybė šiame modelyje yra apskaičiuojama remiantis SPAR-H metode pateiktomis formulėmis (žiūrėti 1.4.3 skyrelį). Tačiau nominali klaidos tikimybė apskaičiuojama kitaip. Dinaminė nominali teorinė HEP gali būti apskaičiuojama iš tam tikros tikimybės pasiskirstymo funkcijos, kintančios laike. Klaidos tikimybės pasiskirstymą neblogai apibūdina modifikuotas Veibulio pasiskirstymas, kuris naudojamas SHERPA* metode [28]:

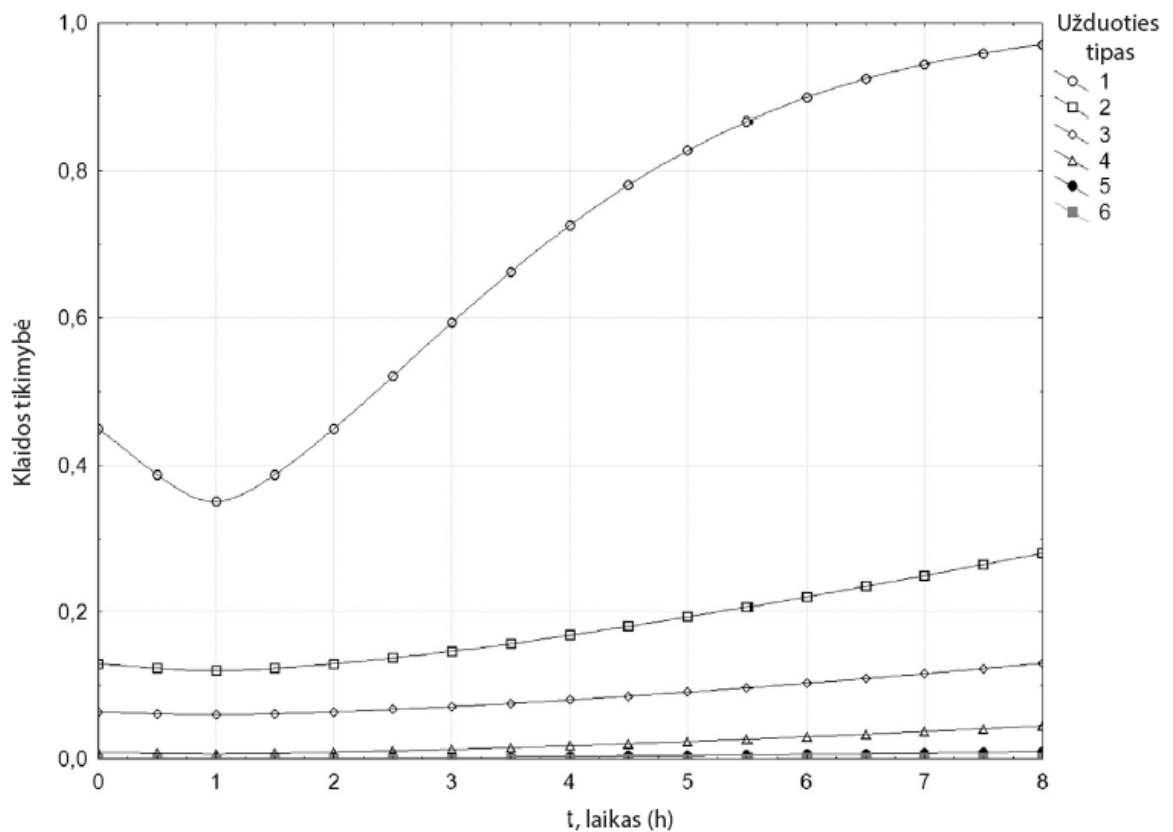
$$\begin{cases} HEP_{nominali}(t) = 1 - k * e^{-\alpha*(1-t)^\beta} & \forall t \in [0; 1] \\ HEP_{nominali}(t) = 1 - k * e^{-\alpha*(t-1)^\beta} & \forall t \in [0; t_{galinis}] \end{cases} \quad (5)$$

Parametrai α ir β nulemia pasiskirstymo kreivės skalę ir formą, $t_{galinis}$ nurodo darbo ar pamainos trukmę. Šis modifikuotas pasiskirstymas yra naudojamas su prielaida, kad klaidos tikimybė pradedant darbą yra didesnė, kol darbuotojas per pirmą valandą apsipranta darbo aplinkoje. Po to klaidos tikimybė einant laikui didėja. Remiantis šiuo modifikuotu Veibulio pasiskirstymu bei turint įvairių užduočių tipų koeficientų vertes, pateiktas 9 lentelėje, įvertinus PSFs galima apskaičiuoti dinaminę ŽK tikimybę.

9 lentelė. Įvairių užduočių tipų koeficientai nominalios žmogiškosios klaidos tikimybei apskaičiuoti naudojantis SHERPA* metodu ir modifikuotu Veibulio pasiskirstymu [28].

Nr.	Užduoties tipas	Nepatikimumo apribojimai, %	k	α	B
1	Visiškai nepažįstama operacija	35 ÷ 97	0,65	0,1660762	1,5
2	Kompleksinė operacija, reikalaujanti aukšto lygio supratimo bei įgūdžių	12 ÷ 28	0,88	0,0108352	1,5
3	Paprasta ir greitai atliekama operacija, nereikalaujanti itin sutelkto dėmesio	6 ÷ 13	0,94	0,0041785	1,5
4	Rutininė įprasta operacija	0,7 ÷ 4,5	0,993	0,0021068	1,5
5	Pažįstama, gerai suplanuota rutininė operacija	0,0008 ÷ 0,9	0,9992	0,0004838	1,5
6	Operacija su išplėstine, automatizuota priežiūros sistema	0,0001 ÷ 0,09	0,99991	4,813*10 ⁻⁵	1,5

4 paveiksle, remiantis 9 lentelės duomenimis pateikiami nominalios žmogiškosios klaidos pasiskirstymo grafikai priklausomi nuo atitinkamo užduoties tipo. Šioms sudarytoms ŽK pasiskirstymo kreivėms nėra įtraukti klaidoms įtaką darantys veiksniai (PSFs).



4 pav. Klaidos tikimybės tendencija skirtingiems užduoties tipams [28]

Šio metodo taikymas nurodo tai, kad priklausomai nuo išdirbto laiko keičiasi darbuotojo klaidos tikimybė. Pirmą valandą dėl įdirbio laiko darbuotojo patikimumas didėja, o darbo eigoje patikimumas mažėja dėl žmogaus fizinių savybių (operatorius tampa labiau išsiblaškęs, didėja nuovargio įtaka).

1.5. OEE metodas ir jo nauda

Gamybos įrangos veikimo efektyvumo įvertinimui yra diegiamos tam tikros įrenginių monitoringo, efektyvumo skaičiavimo sistemos. Aukšto lygio gamybos įmonėse yra plačiai taikomas OEE (angl. *Overall Equipment Effectiveness*) bendro įrangos efektyvumo skaičiavimo metodas. OEE yra vienas iš gamybos efektyvumo tobulinimo įrankių. Tai gana paprastas praktinis metodas, kuris padeda identifikuoti aktualiausias produktyvumo kritimo priežastis. OEE rodiklis nurodo, kuri dalis viso gamybos laiko yra tikrai produktyvi. Skaičiuojant OEE yra atskiriamos trys rodiklio sudedamosios dalys. Jeigu OEE koeficientas lygus 100 %, tai nurodo, kad įrenginys dirba visą suplanuotą laiką, su idealiu nustatytu darbo ciklu, nepagaminama nei viena kokybės neatitinkanti detalė. Iš šio apibrėžimo galima atskirti tris atskirus parametrus, kurių sandauga sudaro OEE rodiklį, kuris apskaičiuojamas:

$$OEE = A * P * Q \quad (6)$$

Čia OEE – bendras įrangos efektyvumas, A – prieinamumas (angl. *Availability*), P – našumas (angl. *Performance*), Q – Kokybė (angl. *Quality*).

Paprastinant formulę ir neturint automatinių skaičiavimo būdų OEE gali būti apskaičiuotas:

$$OEE = \frac{\text{Gerų produktų kiekis} * \text{Idealus ciklo laikas}}{\text{Planuotas linijos darbo laikas}} \quad (7)$$

Prieinamumas arba bendras gamybos darbo laikas, nurodantis realų gamybos darbo laiką, lyginant su planuotu laiku be sustojimų:

$$A = \frac{\text{Linijos darbo laikas}}{\text{Planuotas linijos darbo laikas}} * 100 \% \quad (8)$$

Našumas, nurodantis proceso takto greitį, lyginant su idealiu laiku:

$$P = \frac{\text{Idealus ciklo laikas}}{\text{Realus ciklo laikas}} * 100 \% \quad (9)$$

Kokybė nurodanti pagamintų produktų kokybės procentą:

$$Q = \frac{\text{Gerų produktų kiekis}}{\text{Visų gaminių kiekis}} * 100 \% \quad (10)$$

5 paveiksle atvaizduojamas OEE bendrojo įrangos efektyvumo skaičiavimas bei patiriami įrenginio išnaudojimo nuostoliai.

Planuotas įrangos darbo laikas		
Tikras linijos darbo laikas	Sustojimai	
Idealus gamybos pajėgumas		
Realus gamybinis pajėgumas	Sumažėjęs greitis	
Visas pagamintų produktų kiekis		
Gerų produktų kiekis	Brokas	

5 pav. OEE skaičiavimas bei nuostoliai [34]

Dažnai įmonės diegia OEE skaičiavimo sistemas, kad galėtų palyginti savo pasiekiamą bendrą įrangos efektyvumą su konkurentų ar pasaulinio lygio įmonių bendru pasiekiamu įrangos efektyvumu. Taip pat jis yra skaičiuojamas sekant įmonės progresą. Atlikus procesų tobulinimo veiksmus galima sekti kokią naudą tai suteikia bendram gamybos įrenginių išnaudojimui. Be skaičiuojant OEE galima aptikti ir vertės nekuriančius veiksmus, kurie naudojami arba diegiami į procesus. Šio rodiklio skaičiavimas naudingas įvairiuose pramonės procesuose, pagrindinis to tikslas yra mažinti efektyvumo švaistymo priežastis, tokias kaip prastovos, įrangos priežiūros sąnaudos, neefektyvus užduočių atlikimas. Taip pat padeda didinti produktyvumą ir kokybę aptinkant gamybos kliūtis ar gaminių kokybei įtaką darančius veiksnius. OEE yra puikus įmonės efektyvumo vertinimo etalonas [35].

Išvystytos OEE sistemos turi duomenų registravimo ir kaupimo funkcijas. Įdiegus šias funkcijas galima analizuoti įrenginių darbo efektyvumą tiek realiu laiku, tiek stebint istorinius duomenis ir atliekant analizes. Įdiegiant tokių sistemų stebėjimo ir registravimo valdymo skydelius operatoriams, galima stebėti fiksuojamas prastovų priežastis, sekti tam tikrų priežiūros darbų atlikimo trukmes.

Pilnai išvystyta OEE sistema geba matyti neatitiktis, kurios leidžia analizuoti žmogiškąsias klaidas žmogaus ir įrenginio sąveikos procesuose. Detaliai išskaidžius kokybės neatitikčių priežastis galima stebėti neatitikčių atsiradimo tendencijas ir aiškintis jų galimas priežastis. Todėl OEE sistema su į procesą įdiegta duomenų kaupimo funkcija leidžia analizuoti tiek įrengimo, tiek viso proceso bei žmogiškojo faktoriaus silpnąsias vietas. OEE gali būti naudingai pritaikytas siekiant atlikti žmogiškųjų klaidų analizę renkant statistinius, kiekybinius duomenis. Atliekant OEE rodiklių verčių ir jų pokyčių stebėjimus galima susidaryti realiu metu vykdomo proceso efektyvumo bendrą vaizdą, net fiziškai nestebint to proceso ar įrenginio veikimo. Turint įrenginio statistinius duomenis, stebint operatoriaus veiksmus darbo vietoje, kartu vertinant OEE sistemos rodiklius, sustojimų priežastis galima išsamiai analizuoti silpnąsias proceso vietas, kokybiškai įvertinti našumui poveikį darančius veiksmus bei siūlyti tobulinimus tiek procese taikomo metodo, tiek sistemos organizavimo tvarkos, tiek žmogaus mokymų kokybės gerinimui.

OEE rodiklis gali būti pritaikytas ne tik bendram įrangos efektyvumui skaičiuoti, bet ir darbuotojo darbo efektyvumui matuoti. Tada naudojamas kitoks terminas, vadinamas bendru darbo efektyvumu (angl. *Overall Labor Effectiveness (OLE)*). Šiam rodikliui apskaičiuoti naudojami tie patys trys parametrai kaip ir OEE metode. OLE naudojamas ne automatizuotose darbo vietose, o darbovietėse, kuriose visas operacijas atlieka žmogus. Tokios darbo vietos gamybos įmonėje gali būti komponentų paruošimo ar rankinio litavimo darbo vietos.

2. Žmogiškųjų klaidų analizės metodų taikymas gamybos procesuose

Gamybos sėkmingumas yra grindžiamas pagrindiniais įmonės veiklos našumo rodikliais (angl. *Key Performance Indicators (KPIs)*). Vieni pagrindinių įmonėje sekamų rodiklių yra gamybos pajėgumų suvaržymas (angl. *Capacity Constraint Resource (CCR)*) (jį atspindi bendras OEE) bei suminis procesų defektingumas (remiasi OEE kokybės rodikliu). Neplanuotos prastovos, kritęs įrenginio darbo greitis ar padidėjęs defektingumas procesuose, kurių pajėgumas turi būti pilnai išnaudojamas, dėl įrangos išteklių apribojimo, gali sudaryti trikdį visoje produkto tiekimo klientui grandinėje. Šis trikdys dar vadinamas „butelio kakliuko“ (angl. *bottleneck*) efektu. Siekiant įvertinti ar žmogiškasis faktorius daro neigiamą įtaką bendram įrangos efektyvumui, atliekamos žmogiškųjų klaidų analizės gamybos procesuose. Problemos gamyboje identifikavimui ir analizavimui daug informacijos gali suteikti proceso OEE rodiklio nagrinėjimas.

Nustačius problemines vietas žmogaus patikimumo analizės atlikimas pramonės įmonėse suteikia daug informacijos apie žmonių, procesų bei organizacijos patikimumą. Atlikus analizę galima įvertinti sistemos patikimumo būklę bei kokie veiksniai daro didžiausią įtaką našumui. Jeigu ŽK tikimybė ir rizikos lygis yra netenkinami, nustačius rizikingiausias sistemos dalis kuriamos strategijos procesams tobulinti. Procesų būklės gerinimui idėjų galima ieškoti tarp HRA metodų atlikimo metu gautų rezultatų. Kai kurie metodai reikalauja įvardinti galimus patobulinimus ar klaidos atstatymo scenarijus. Atliekant nuoseklią analizę galima atskleisti įrangos dizaino, procesų organizavimo ar žmogaus darbo procedūrų trūkumus. HRA sprendžiančios pramoninių įmonių produkcijos problemas paprastai labai skiriasi nuo tų, kurios skirtos saugumo ir aplinkosaugos problemoms spręsti [36].

2.1. Problemos gamyboje identifikavimas remiantis OEE duomenimis

Gamybos efektyvumui įvertinti bei nuolatiniam progresui sekti šiuolaikinėse gamybos įmonėse naudojamos OEE rodiklio skaičiavimo sistemos, kurios apdoroja iš įrenginių gaunamus duomenis, skaičiuoja bendrą įrangos efektyvumą. Skaičiavimo metu įvertinamas įrangos bendras darbo laikas (prieinamumas), dirbamo laiko našumas bei kokybės lygis. Naudojant OEE skaičiavimą įmonės gali kasdien sekti ir įvertinti ar realus gamybos įrenginių efektyvumas yra toks koks planuojamas. Jeigu gamybos rezultatas nesutampa su planu, galima nesunkiai identifikuoti proceso problemos vietas, jei kiekvienas iš OEE rodiklio parametrų yra sekamas atskirai. Esant žemam prieinamumo rodikliui reikėtų tirti įrenginio būklės parametrus, darbo režimo sąlygas, vertinti ar palaikoma techninė priežiūra, tam kad įrenginys galėtų tinkamai veikti pagal nustatytus techninius reikalavimus. Taip pat stebėti ar operatorius dirbdamas su įrenginiu nenusižengia nuo aprašytos standartinės darbo procedūros ir instrukcijų bei nesukelia gedimų ar kitų sustojimų sukeliančių neplanuotas prastovas. Efektyvumo rodiklio kitimas turint žmogaus ir mašinos sąveikos sistemas gali apibūdinti tiek mašinos darbo nuokrypį nuo darbo takto, tiek operatoriaus darbo našumo kritimą. Reikia įvertinti ar operatorius spėja paruošti, paleisti ar perjungti įrenginį laiku. Defektingumo rodiklio kritimas nurodo, kad darbo metu yra generuojamos neatitiktys, kurios gali susidaryti dėl įvairių veiksnių, tiek dėl produkto ar įrangos dizaino defektų, tiek dėl žmogiškojo faktoriaus įsiterpiančio tarp produkto ir įrangos.

Prieš atliekant analizę elektronikos įtaisų gamybos įmonėje „butelio kakliuką“ sudarantis trikdys buvo pastebėtas kalibravimo ir testavimo procese, kurio darbo ciklas yra ilgiausias iš visų įmonės procesų. Dėl to šio proceso įrenginių kiekis nuolat auga, dėl pajėgumo suvaržymų, didėjant užsakymų kiekiams. Todėl šio proceso efektyvumo sumažėjimo priežasčių kilmę reikia iširti. Kadangi šio

projekto kryptis yra susijusi su ŽK, kurios daro įtaką bendram įrangos efektyvumui, našumui ar produkto neatitikčių atsiradimui, reikia išskirti, kad šiame darbe bus analizuojamas tik žmogaus-mašinos sąveikos žmogiškasis faktorius. Į techninius gaminamo produkto ar įrenginių veikimo principus nebus gilinamasi.

Turint neplanuotus gamybos našumo nuostolius, šakninės problemos ar tobulinimo krypties identifikavimui galima naudotis minėtu skaičiuojamu OEE rodikliu. OEE rodiklio analizavimu identifikuojant problemos kryptį, procesas turi būti gerai išvystytas, stabilus, su įdiegtais darbo standartais ir aiškiai nustatytais planuojamais našumais bei darbo ciklais. Tik įdiegus naują įrangą ar sukūrus naują produktą OEE rodiklis gali labai varijuoti.

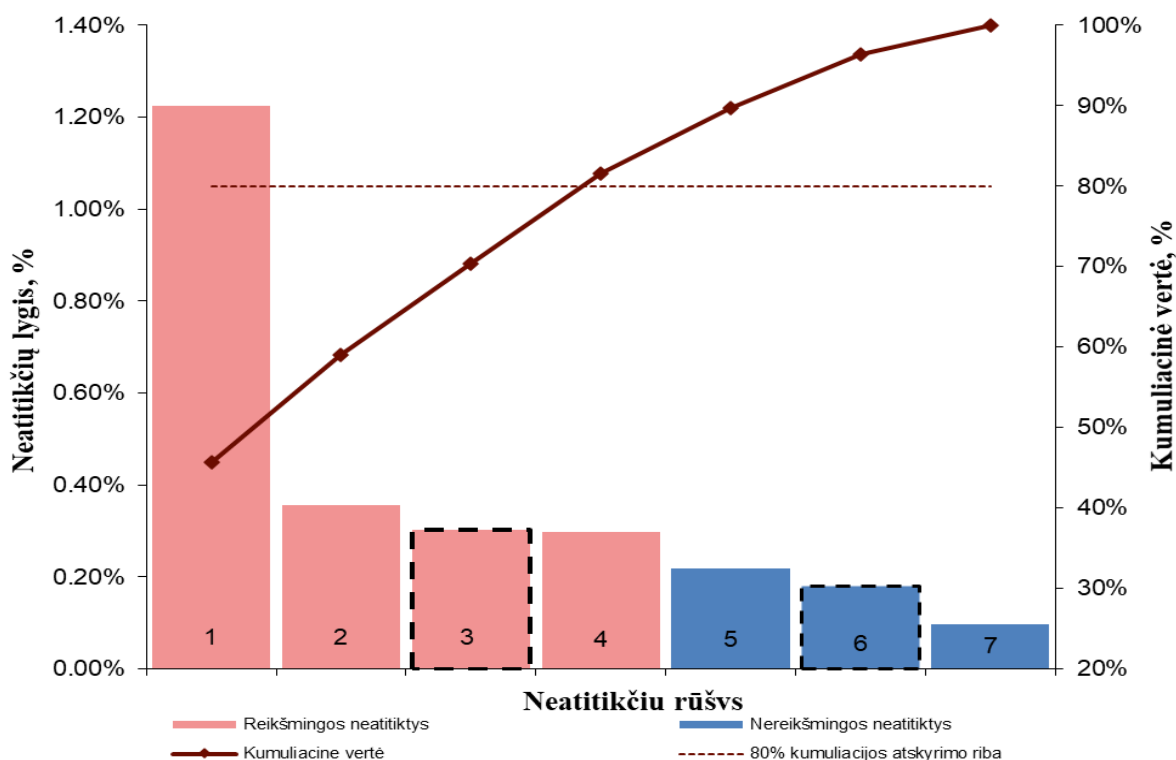
Nustatę HRA analizės tikslą bei kryptį reikia surinkti visą reikalingą informaciją apie tiriamus procesus. Informacijai surinkti naudojami procesų procedūrų dokumentai, OEE rodiklio istoriniai duomenys, kokybės rodiklio išskaidyti atskirų neatitikčių defektingumo statistiniai duomenys ir jų apdorojimo įrankiai. Taip pat atliekamas fizinis procesų stebėjimas bei darbuotojų apklausos. Apsilankymas procesų darbo vietose yra itin svarbus, nes darbo procedūrų dokumentacijos peržiūrėjimas yra nepakankamas proceso sąlygoms įvertinti. Proceso stebėjimo metu analitikas gali įvertinti realias darbo sąlygas bei atlikti veiklos našumui įtaką darančių veiksnių (PSFs) įvertinimą. Surinkus reikalingą informaciją galima pradėti atlikti HRA [36].

Elektronikos įtaisų gamybos įmonėje informacijos surinkimui ir ŽK analizės užduočių krypties nustatymui pirmiausia buvo analizuojamas įvardytas, ilgiausią darbo ciklą turintis ir pastebėtą „butelio kakliuko“ efektą einamojoje gamyboje sudaręs kalibravimo ir testavimo procesas.

Atlikus testavimo ir kalibravimo proceso mėnesio OEE rodiklių skaičiavimus bei vertinimą, nustatyta kad mėnesinis OEE vidurkis yra 63 %. Šis rodiklis skaičiuotas neįtraukiant planuotų prastovų, kai įrenginys nedirba dėl to, kad atitinkamo tipo įrenginiui nėra gamybos užsakymų. Skaidant rodiklį į atskiras dedamąsias: prieinamumas (A) – 73 %, našumas (P) – 89 %, kokybė (Q) – 97 %. Didžiausią įtaką OEE rodiklio mažėjimui sudaro prieinamumas. Siekiant nustatyti kodėl OEE sudedamieji rodikliai yra tokie, toliau buvo gilinamasi į proceso procedūrą. Peržiūrėjus proceso dokumentus, atliekamas stebėjimas bei darbuotojų apklausos siekiant įvertinti kaip operatorius dirba šiame procese. Išsiaiškinus operacijos eigą buvo nustatyta, kad mažesnę prieinamumo rodiklį lemia daug skirtingų gaminių rūšių, dėl kurių reikalinga atlikti rūšies keitimus ir dėl to derinti įrangą. Buvo išsiaiškintas metodas kaip tai atliekama ir ar žmogiškasis faktorius neprailgina šio laiko. Nustatyta, kad operatorių rūšies keitimo metodas yra vykdomas pagal procedūras, o procedūros sudarytos remiantis SMED metodika (angl. *Single-minute exchange of die*) ir statistiškai tai trunka apie 9 minutes. Todėl pagal turimą procesą toks rezultatas yra tenkinantis. Toliau gilinantis į prieinamumo rodiklio kritimą, buvo išsiaiškinta, kad kasdien pradedant darbą yra atliekami įrenginio patikrinimo testai, kurie užtrunka apie 30 minučių, taip pat nenumatyti gedimai nulemia prieinamumo rodiklio mažėjimą, tačiau įrangos dizaino klausimai nėra šio darbo apimtyje. Nagrinėjant įrangos našumo rodiklį, nustatyta, kad siekiant aukštesnių matavimo kokybinių kriterijų ir stabilesnio įrangos veikimo yra prailginti tam tikri testavimo etapų matavimo laikai, todėl nuo teorinio planuoto idealaus ciklo laiko jie skiriasi ir našumo rodiklis dėl to krenta. Tai įvertinus reikėtų perskaičiuoti idealaus ciklo laiką, kuris naudojamas OEE skaičiavimui. Nepastebėjus paaiškinamų žmogiškųjų klaidų šiame procese, toliau buvo gilinamasi į OEE kokybės rodiklio sandarą.

Šio proceso defektingumas yra gana aukštas ir dėl riboto kiekio įrenginių daro didžiausią neigiamą įtaką CCR rodikliui – užsakymų įvykdymui laiku, sudarydamas trikdį procesų grandinėje. Defektai šioje operacijoje daro didelę neigiamą įtaką, nes vieno ciklo metu yra kalibruojami ir testuojami 40 gaminių. Procese aptikta neatitiktis nėra pašalinama ir rezervuoja įrangos naudingą laiką tol kol įranga baigs kitų gaminių gamybos operacijas.

Renkant informaciją, pirmiausia buvo peržiūrėti paskutinių 3 mėnesių defektingumo duomenys (duomenys taip pat įtraukiami į OEE kokybės rodiklio skaičiavimą), kurie saugojami vidiniuose kokybės registruose. Ankstesni nei trijų mėnesių duomenys buvo neaktualūs esamai proceso būklei vertinti, nes tuo laikotarpiu sistemoje buvo atlikti procedūrų bei proceso tobulinimai ir analizuojant juos būtų galima susidaryti netikslų dabartinio proceso įvertinimą. Remiantis trijų mėnesių atskirų defektų rūšių (iš viso 11 rūšių) kiekiu buvo sudaryta Pareto diagrama pateikta 6 paveiksle. Pateiktas grafikas nurodo, kad pirmos 4 rūšys sudaro 81 % visų neatitikčių. Diagramos neatitikčių kiekio mažėjimo tvarka buvo analizuojamos atskiros defektų rūšys. Gamyboje toliau buvo stebima neatitikčių tendencija, atidedant Pareto diagramoje išskirtų neatitikčių fizinius pavyzdžius analizei. Atlikus defektų analizę nustatyta, kad pirmos rūšies defektai yra vienareikšmiškai susiję su prietaiso veikimo konstrukcija (programinės įrangos problemomis, kurios sprendžiamos kuriant naują prietaiso versiją), o antros rūšies defektai susiję su testavimo įrangos dizainu, todėl laikantis darbo projekto krypties nebuvo toliau tiriami. Trečios rūšies neatitiktys buvo kompleksinės, kurios aptinkamos analizuojame procese, tačiau buvo įvykusios ankstesniuose procesuose ir pateko į šį procesą kaip geri gaminiai. Atlikus preliminarią analizę nustatyta, trečios rūšies neatitiktys susidarė dėl žmogiškųjų klaidų įvykusių ankstesniame gamybos procese – korpusų komplektavime. Ketvirtos rūšies neatitiktys įvyko dėl įrangos nestabilumo, todėl taip pat nebuvo tirtos toliau.



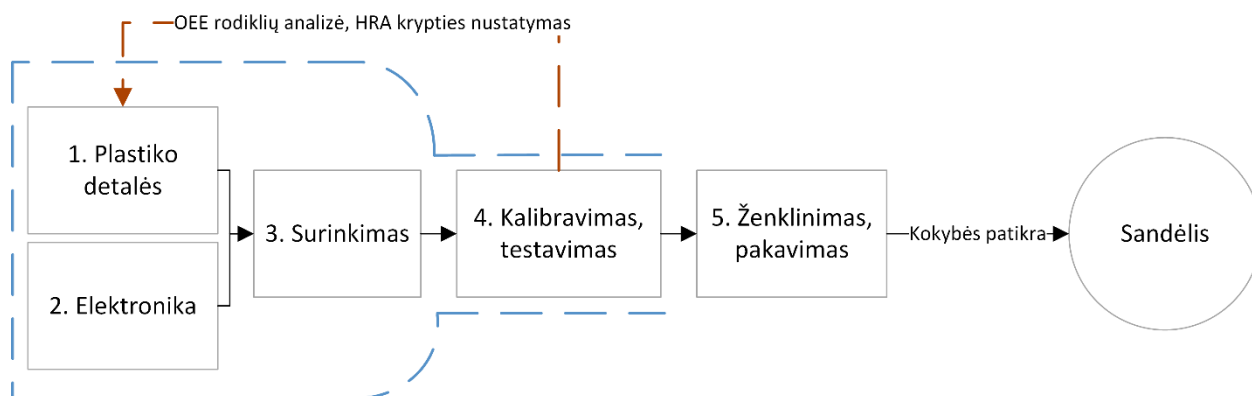
6 pav. Kalibravimo ir patikros proceso trijų mėnesių neatitikčių Pareto diagrama, punktyrine linija pažymėtos neatitiktys, kurios atsirado dėl žmogiškųjų klaidų

Remiantis Pareto principu ir sudaryta diagrama neatitiktys viršijančios 81 % kumuliacinę ribą dėl efektyvaus laiko ir išteklių naudojimo turėtų būti nebetiriamos, tačiau 3 rūšies neatitiktųjų analizė suteikė naudingos informacijos siejančios trečios ir šeštos defektų rūšis. Sulaikius ir ištyrus 6 rūšies defektus pastebėta, kad jie atsiranda dėl žmogiškosios klaidos tame pačiame ankstesniame korpusų komplektavimo procese.

Atlikus kalibravimo ir testavimo proceso darbuotojų ir inžinierių apklausą apie galimas žmogiškąsias klaidas, buvo įvardinta ir įvertinta tai, kad įvykusios ŽK neatitiktųjų statistikoje neatsispindi, nes yra nereikšmingo lygio, paprastai neįtraukiamos į Pareto diagramą. Dažniausiai jos sukelia tik trumpalaikę prastovą. Apklausus proceso darbuotojus ir preliminariai interpretuojant našumo rodiklio pokytį (dėl matavimo laiko prailginimo) įvertintas tokių ŽK dažnis yra retas.

Šis pirminis informacijos surinkimas nukreipė atlikti žmogiškųjų klaidų analizę procese, kuriame įvykusios ŽK padidino kito, ribotą įrangos pajėgumą turinčio, proceso neatitiktųjų procentą. Su įmonės darbuotojais buvo suderintas 6 paveiksle pateiktų trečio ir šešto tipo neatitiktųjų sulaikymas tolimesniam analizavimui ir vertinimui. Darbuotojai buvo apmokyti kaip identifikuoti ir registruoti tokius defektus statistikos rinkimui. Trečios rūšies neatitiktųjų priežastis yra ne pilnai į korpuso poziciją įpresuotas įdėklas, šeštos rūšies neatitiktųjų – trūkstamas įdėklas.

Išsigryninus HRA kryptį toliau buvo pereita prie korpusų komplektavimo proceso analizavimo, norint išsiaiškinti kaip ir kokiomis sąlygomis tokios neatitiktys susidaro dėl žmogiškųjų klaidų ir yra praleidžiamos į kitus procesus. Analizės krypties nustatymas pateiktas 7 paveiksle.



7 pav. Elektronikos įtaisų gamybos procesų grandinė ir HRA kryptis

Kadangi šio ganėtinai paprasto proceso įrenginys nėra pritaikytas neatitiktųjų statistikos automatiniam registravimui ir pačiame procese aptinkamas nereikšmingas (mažas) defektų kiekis – defektingumas nėra atskirai sekamas. Tik pastebėjus proceso nukrypimus yra registruojamas kokybinis įvykis ir pranešama inžinieriams bei vadovams. Dėl statistinių duomenų stokos proceso analizuoti remiantis duomenimis negalima. Todėl pirmas etapas informacijos rinkimui yra proceso dokumentacijos peržiūrėjimas siekiant suprasti proceso nuoseklumą, taip pat įvertinti aprašytų instrukcijų kokybę (tai suteikia informacijos tolimesniam sistemos PSFs vertinimui žmogaus patikimumo analizės metu).

Peržiūrėjus dokumentaciją ir susidarius išankstinį vaizdą apie proceso eigą ir taisykles pereinama prie tolimesnio informacijos rinkimo identifikuotos problemos išgryninimui. Todėl informacijos kaupimui buvo atliekamas ilgalaikis proceso stebėjimas, registruojant operatoriaus atliekamus veiksmus. Stebėjimo metu buvo iškeltas uždavinys: surinkti informaciją apie procesą nuosekliai

hierarchinei užduočių struktūrai sudaryti. Taip pat surinkti informaciją apie įvykstančias žmogiškąsias klaidas bei jų atsiradimui įtaką darančius veiksnius (PSFs).

2.1.1. Korpuso komplektavimo proceso hierarchinė užduočių analizė

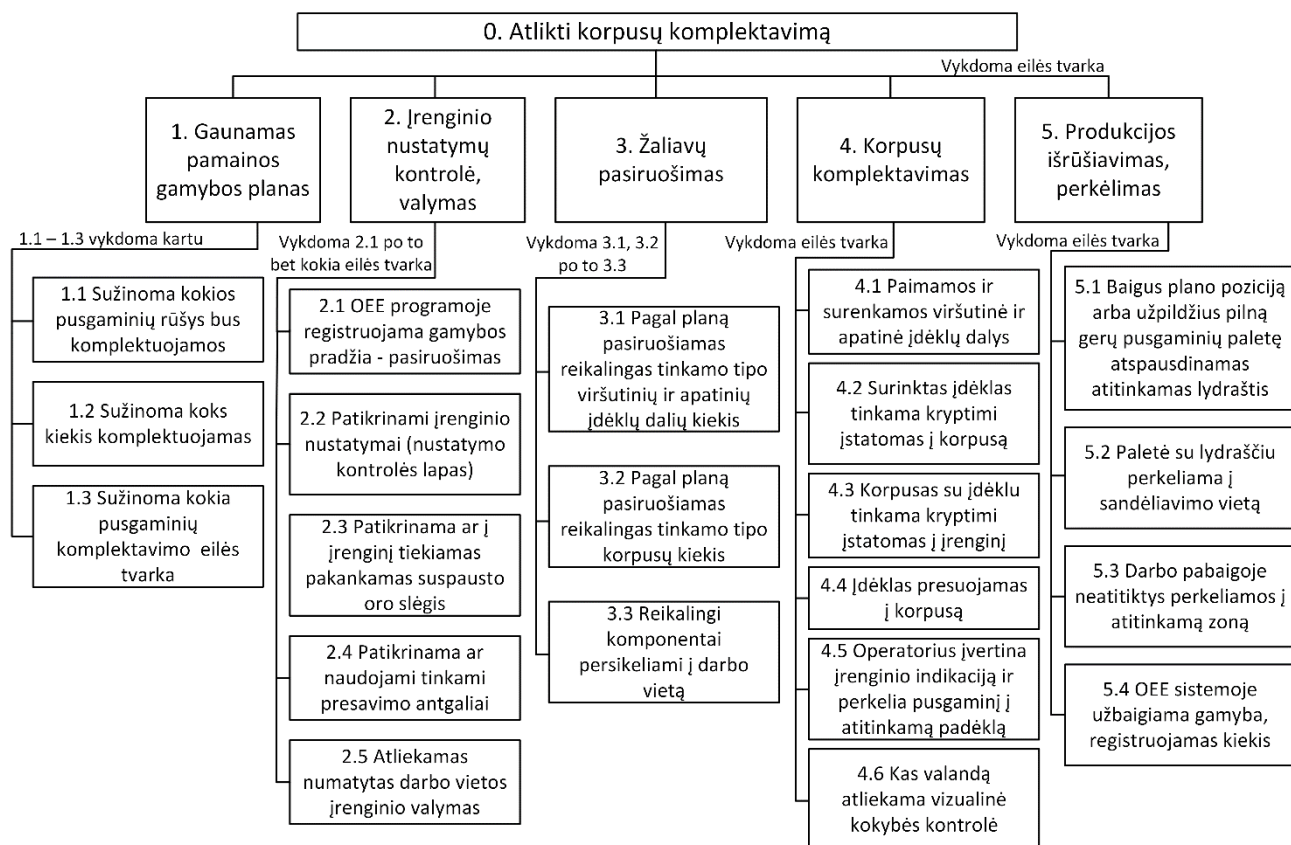
Naudojantis literatūros apžvalgoje įvardintu bendroju HRA algoritmu pateiktu 3 paveiksle ir SHERPA HRA metodu atliekama hierarchinė užduočių analizė (HTA). Nepriklausomai nuo to koks HRA metodas naudojamas HTA yra vienas pagrindinių įrankių tikslingam užduoties nagrinėjimui. Tai sistemingas metodas siekiant aprašyti kaip tam tikras procesas ar užduotis yra vykdoma. Hierarchijoje išskiriamas procesas, jo pagrindinis tikslas, aprašomos būtinos išankstinės sąlygos procesui vykdyti. Tada pagrindinis tikslas išskaidomas į tarpinius tikslus (angl. *sub-goals*), užduotis, kuriose aprašomi reikalingi veiksmai tikslui pasiekti. Hierarchija skaidoma tol, kol tarpiniai tikslai ar veiksmai suteikia informacijos. Atskiros operacijos skirtos pagrindiniam tikslui pasiekti numeruojamos eilės tvarka nuo kairės, pradedant vieneto numeriu, o pagrindinis užduoties tikslas pažymimas nuliu. Taip pat prie tarpinių tikslų gali būti išskiriamas vykdymo planas, kuriame gali būti nurodoma būtina arba nebūtina veiksmų eilės tvarka bei išskirtiniai atvejai, atitinkamos situacijos metu, kada koks specifinis veiksmas vykdomas. HTA gali būti pateikiama grafiniu hierarchinės struktūros arba sąrašo formatu.

Informacijos surinkimas užduočių analizei buvo atliktas atitinkama tvarka:

- korpuso komplektavimo procesų dokumentų (darbo pradžios ir pabaigos, standartinio darbo instrukcijos, nustatymų kontrolės lapas, valymo ir rūšies keitimo registrai, gaminių specifikacija) peržiūrėjimas;
- ilgalaikis darbuotojo stebėjimas darbo vietoje, registruojant jo veiksmus.

Gamybos stebėjimo metu buvo įvertintas proceso dokumentų išsamumas, tikslumas bei vertinta ar aprašytos procedūros atitinka realią procese vykdomą veiklą. Bendrai informacijai apie procesą surinkti buvo vertinami visi etapai: nuo planavimo iki užduoties atlikimo – pasiruošimas, gamyba ir gamybos užbaigimas.

Po visapusiško proceso eigos įvertinimo, remiantis literatūroje [37] pateiktais tikslo ir tarpinių tikslų sudarymo patarimais atlikta HTA, struktūra pateikiama 8 paveiksle.



8 pav. Atlikta korpusų komplektavimo operacijos hierarchinė proceso struktūra

Pateikus atliktą hierarchinę užduočių analizę proceso vadovui, buvo patvirtinta, kad ši struktūra yra teisinga. Todėl remiantis ja toliau vykdoma žmogiškųjų klaidų analizė. 4 etapas yra pagrindinė rutininės gamybos operacijos užduotis.

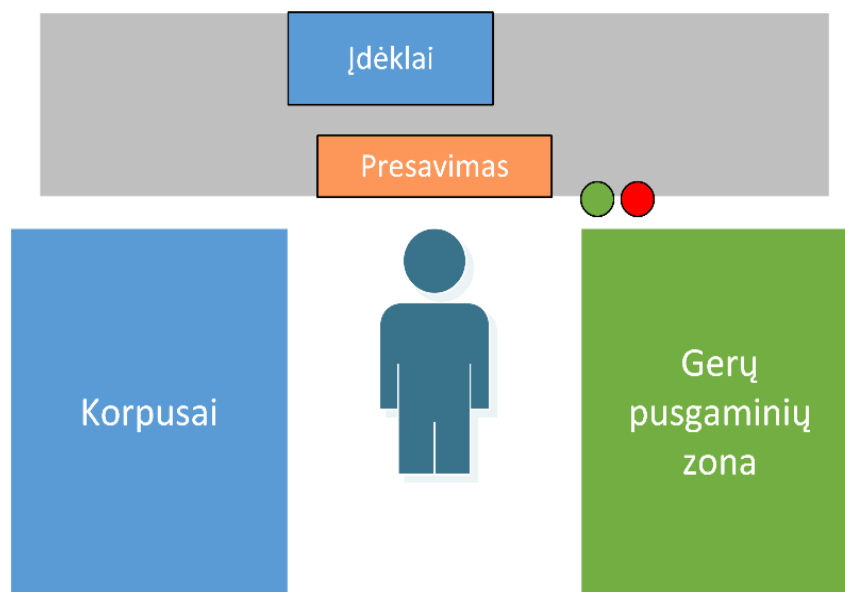
Ketvirto proceso etapo nustatytas darbo laikas vienai detalei yra 15 sekundžių. Įrenginiu galima komplektuoti 11 rūšių gaminius, kuriems naudojami dviejų tipų įdėklai. Taip pat šioje operacijoje darbuotojas gali dirbti kintamą laiką, priklausomai nuo pateikto gamybos plano ir padalinyje turimų žmogiškųjų išteklių. Operatoriai yra apmokyti dirbti keliose skirtingose gamybos operacijose, todėl remiantis planu darbo eigoje jiems gali būti nurodyta pereiti dirbti į kitą darbo vietą.

2.1.2. Žmogiškųjų klaidų darbo vietoje identifikavimas remiantis SHERPA metodu

Atliekant šio proceso žmogiškųjų klaidų analizę keliamas tikslas identifikuoti visas klaidas, nustatyti kokie veiksniai suteikia sąlygas joms atsirasti, sudaryti tikėtinus klaidų scenarijus nurodant jų pasekmes. Taip siekiama visapusiškai įvertinti proceso patikimumą. Šiame procese dažniausiai pasitaikančios žmogiškosios klaidos yra nepastebimos, sudarančios pusgaminių neatitiktis, kurios gali būti perduodamos į kitus gamybos etapus. Įmonėje siekiama visiškai pašalinti blogų pusgaminių perdavimą į sekančias operacijas, dėl bendro gamybos efektyvumo, vengiant kitų ribotų išteklių procesų laiko švaistymo.

Gamybos stebėjimo metu, kurio tikslas buvo sudaryti HTA, užfiksuotos prielaidos, kurios leido preliminariai nustatyti, kuriuose užduoties vykdymo etapuose gali įvykti žmogiškosios klaidos. Remiantis tuo, kad procesas yra rutininis ir nereikalauja žinių taikymo ar problemų sprendimų (remiantis SRK modeliu veikla vykdoma tik įgūdžių ir taisyklių lygyje) ŽK identifikavimui buvo pasirinktas pirmos kartos SHERPA metodas. Kuris yra naudingas sistemingam klaidų

identifikavimui, informacijos dokumentavimui ir vizualiam jos pateikimui bei yra patikrintas daugybės analitikų, turintis aiškia klaidų klasifikavimo struktūrą pateiktą 1.4.1 skyrelio 3 lentelėje. Šio rutininio proceso darbo vietos struktūra pateikta 9 paveiksle.



9 pav. Įdėklų presavimo operacijos darbo vietos struktūra

Viso korpusų komplektavimo proceso SHERPA žmogiškųjų klaidų analizė atliekama vadovaujantis 8 paveiksle pateikta hierarchine užduočių struktūra ir numeravimu. Klaidos įvykis, pasekmės ir atstatymas aprašomi remiantis apie procesą surinkta informacija, proceso stebėjimo metu užfiksuotomis įžvalgomis. SHERPA analizės darbalapiai pateikti 10-14 lentelėse, kiekvienam tarpiniam užduoties etapui atskirai.

10 lentelė. Žmogiškųjų klaidų analizė gamybos procese remiantis SHERPA metodu, 1 proceso etapas

Etapas	Klaidos kodas	Klaidos aprašymas	Pasekmė	Atstatymas	Priemonės klaidos prevencijai
1.1	I2, R2	Plane (lentoje) perduodama neteisinga informacija apie reikalingų gaminių rūšį, klaida perduodant informaciją naudojantis pamainų lenta	Darbas paskirstomas ne to gaminio surinkimui, todėl yra rizika išnaudoti kitam užsakymui paruoštas žaliavas, vėluoti pagaminti reikiama užsakymą laiku	Jokio	Automatizuoti, skaitmenizuoti užsakymų plano pateikimą iš gamybos planavimo programos
1.2	I2, I3, R2	Plane (lentoje) perduodamas neteisingas gaminių kiekis	Pagaminama per daug ar per mažai tinkamų pusgaminių, rizika vėluoti atlikti užsakymą laiku dėl neteisingo išteklių panaudojimo	Jeigu per mažai pagaminta, perduoti tikslią informaciją ir pagaminti dar	Automatizuoti, skaitmenizuoti užsakymų plano pateikimą iš gamybos planavimo programos
1.3	I2, I3, R2, R3	Gautas tinkamas planas su rūšimi ir kiekiu, bet nepateikiama arba neteisingai pateikiama bei įsisavinama komplektavimo prioritetinė eilė	Tinkama gaminių rūšis surenkama netinkama eilės tvarka. Rizika vėluoti užsakymą pagaminti laiku	Jokio	Automatizuoti, skaitmenizuoti užsakymų plano pateikimą iš gamybos planavimo programos

11 lentelė. Žmogiškųjų klaidų analizė gamybos procese remiantis SHERPA metodu, 2 proceso etapas

Etapas	Klaidos kodas	Klaidos aprašymas	Pasekmė	Atstatymas	Priemonės klaidos prevencijai
2.1	A2, A8, S1, S2	OEE sistemoje pamirštama, ne laiku ar neteisingai užregistruojama gamybos pradžia	Gamybinio įrenginio statistika pagal rūšį bei OEE rodiklis gali būti atvaizduojamas netinkamai	Rankiniu būdu atliekamos OEE registravimo sistemos korekcijos	Kontrolinis darbų sąrašas darbo vietoje (angl. <i>check list</i>)
2.2	C1, C2, C5	Nepatikrinti ar ne laiku patikrinti arba patikrinti ne visi įrenginio nustatymai	Jei parametrai netinkami – įrenginys gali dirbti netinkamai, gali padidėti neatitiktųjų kiekis	Patikrinti nustatymus, jei reikia juos pakoreguoti ir perdirbti neatitiktis	Įdiegti HMI ekraną arčiau darbo vietos
2.3	C1, C5	Nepatikrintas į įrenginį tiekiamas suspausto oro slėgio lygis	Pneumatinis presavimo cilindras gali netinkamai presuoti įdėklus	Sureguliuoti slėgį, perdirbti neatitiktis	Įdiegti indikaciją jei slėgis yra netinkamose ribose
2.4	C1	Nepatikrinami kokie antgaliai naudojami, bandoma naudoti įrenginį su netinkamu gaminiu	Mažinamas antgalio resursas, galima sugadinti pusgaminį, įvyksta neplanuota prastova	Pasikeisti cilindro presavimo antgalius į tinkamus	Kontrolinis darbų sąrašas darbo vietoje (angl. <i>check list</i>)
2.5	A1, A4, A8	Praleistas, netinkamai atliktas įrenginio valymas, tepimas	Mažėja įrenginio eksploatavimo trukmė, greičiau dėvisi detalės	Atliekamas valymas, ar praleistų veiksmų atlikimas	Kontrolinis darbų sąrašas darbo vietoje (angl. <i>check list</i>)

12 lentelė. Žmogiškųjų klaidų analizė gamybos procese remiantis SHERPA metodu, 3 proceso etapas

Etapas	Klaidos kodas	Klaidos aprašymas	Pasekmė	Atstatymas	Priemonės klaidos prevencijai
3.1	A6, S2, C1	Į darbo vieta atsivežami netinkami įdėklai.	Trumpa prastova	Atsivežamos tinkamos žaliavos	Įtraukti spalvinį atskirų tipų žaliavų žymėjimą
3.2	R3, S2	Į darbo vietą atsivežami netinkami korpusai, gali būti pradedama netinkamos rūšies produkcija	Trumpa prastova arba gamybos, vykdomos ne pagal planą, metu – užsakymų vėlavimas	Atsivežamos tinkamos žaliavos, tęsiama gamyba pagal planą	Paryškinti vizualinį žaliavų žymėjimą, skaitmeninti planą ir atvaizduoti darbo vietoje
3.3	A5, A6, A7, A9	Komponentai susidėliojami darbo vietoje netvarkingai, ne pagal standartinio darbo instrukciją	Prastesnė darbo vietos ergonomika – didėja tikimybė suklysti ir kituose etapuose	Susidėti žaliavas pagal darbo instrukciją	Įdiegti 5S tvarkos standartą darbo vietoje

13 lentelė. Žmogiškųjų klaidų analizė gamybos procese remiantis SHERPA metodu, 4 proceso etapas (korpuso komplektavimo operacija)

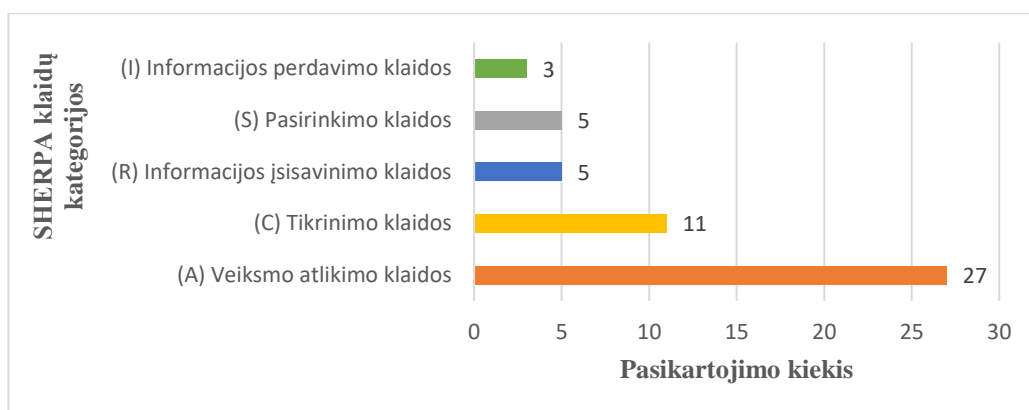
Etapas	Klaidos kodas	Klaidos aprašymas	Pasekmė	Atstatymas	Priemonės klaidos prevencijai
4.1	A3, A5	Bandoma netinkama kryptimi surinkti įdėklą	Trumpa prastova, galima pažeisti įdėklus	Pakartojamas 4.1	Darbuotojų apmokymas
4.2	A3, A5, A8	Įdėklas gali būti įstatytas į korpusą bloga kryptimi arba visai neįstatytas, praleidžiant veiksmą	Įdėklas neužfiksuojamas korpuse, po to bloga kryptimi įstatytas arba be įdėklo gali būti dedamas į įrenginį arba į gerų gaminių padėklą	Jeigu detalės nepažeistos įdėti tinkama kryptimi	Darbuotojų apmokymas, PSFs susijusių su darbuotojo išsiblaškimu mažinimas. Vykstant darbui ne pagal standartą, sudaryti sąlygas, kad darbuotojas negalėtų nukrypti nuo standartų

4.3	A3, A8	Korpusas su įdėklų įdedamas netinkama kryptimi arba praleidus veiksmą įdedamas ne į įrenginį, o į gerų gaminių padėklą	Klaida gali sukelti 4.4 užduoties klaidą, praleidus veiksmą blogas korpusas gali būti perkeltas į gerų gaminių padėklą	Įdėti korpusą tinkama kryptimi	Įdiegti geresnę mechaninę korpuso pozicionavimo apsaugą (angl. <i>mistake-proofing</i>), techninėmis priemonėmis apsaugoti nuo veiksmo praleidimų
4.4	A3	Jeigu blogai įdėtas korpusas – įdėklas presuojamas netinkama kryptimi	Galimas įrenginio sustojimas, prastova, spartesnis detalių dėvėjimasis	Jei detalės nepažeistos pakartoti 4.4	Įdiegti geresnę mechaninę korpuso pozicionavimo apsaugą (angl. <i>mistake-proofing</i>)
4.5	C1	Operatorius pamiršta patikrinti įrenginio statuso atvaizdavimo indikaciją	Nepatikrinus operacijos statuso, blogi gaminiai gali patekti į gerų pusgaminių padėklus	Jeigu įranga veikia tinkamai ir statusą atvaizduoja gerai pakartoti 4.4	Reikalinga perkelti įrenginio operacijos statuso indikaciją į labiau ergonomišką vietą
4.6	C1, C4, C5	Neatliekama arba blogai atliekama vizualinė kontrolė	Nepastebimas įrenginio darbo nukrypimas, blogi gaminiai gali patekti į gerų zoną	Atlikti vizualine kontrolę ankstesniems gaminiams	Reikalinga įdiegti kas valandinį priminimą, apmokyti darbuotojus kaip tikrinti kokybę arba automatizuoti kokybinę patikrą

14 lentelė. Žmogiškųjų klaidų analizė gamybos procese remiantis SHERPA metodu, 5 proceso etapas

Etapas	Klaidos kodas	Klaidos aprašymas	Pasekmė	Atstatymas	Priemonės klaidos prevencijai
5.1	A6, A7, A10, S2	Atspausdinama netinkama etiketė, (gali būti parinkta bloga rūšis, kiekis)	Netinkamas žymėjimas gamyboje, gaminiai gali būti transportuojami į netinkamas vietas bei netinkamai vedama apskaita	Perspausdinti pusgaminių lydraščius	Apmokyti darbuotojus, optimizuoti etiketės spausdinimo procedūrą
5.2	A6, A7, A10	Paletė perkeliama į netinkama zoną	Blogas produkcijos sandėliavimas, susimaišo pusgaminiai	Pervežti į tinkamą vietą	Atnaujinti produkcijos zonų ženklumą, apmokyti darbuotojus
5.3	A8	Pamirštama iš darbo vietos perkelti neatitiktis	Darbo vieta lieka netvarkinga, jeigu neatitiktys paliktos ne standartinėje vietoje gali įsimaišyti tarp gerų žaliavų	Pakartoti 5.3	Kontrolinis darbų sąrašas darbo vietoje (angl. <i>check list</i>)
5.4	A2, A8	Darbo pabaigoje OEE sistemoje neužregistruojama gamybos pabaiga	Netinkamas OEE skaičiavimas	Sistemoje užbaigiama gamyba, nepažymėtos prastovos laikas pažymimas kaip ne darbo laikas	Kontrolinis darbų sąrašas darbo vietoje (angl. <i>check list</i>)

Iš viso tarp 21 tarpinių užduočių įvardintas 51 galimas klaidų tipas. Daugiausia galimų klaidų proceso etapuose buvo įvardinta veiksmo atlikimo klaidų kategorijoje. Pasiskirstymas tarp kategorijų pateiktas 10 paveiksle.



10 pav. Atliktos SHERPA klaidų identifikavimo analizės įvardytų klaidų kiekis tarp kategorijų

Apibendrinimui 10 paveiksle pateiktos klaidų kategorijos pagal tipų pasikartojimą mažėjimo tvarka išskaidomos 15 lentelėje. Remiantis įvardintų klaidų tipais bei kiekiu procese daugiausia identifikuota veiksmo praleidimo klaidų (angl. *omission*).

15 lentelė. SHERPA metodu identifikuoti klaidų tipai korpusų komplektavimo procese

Klaidos kodas	Klaidos tipo aprašymas	Kiekis	Proceso tarpinėse užduotyse
A8	Praleistas veiksmas	6	2.1, 2.5, 4.2, 4.3, 5.3, 5.4
C1	Tikrinimas praleistas	6	2.2, 2.3, 2.4, 3.1, 4.5, 4.6
A3	Veiksmas atliekamas bloga kryptimi	4	4.1, 4.2, 4.3, 4.4
A6	Teisingas veiksmas netinkamam objektui	4	3.1, 3.3, 5.1, 5.2
S2	Atliktas blogas pasirinkimas	4	2.1, 3.1, 3.2, 5.1
A5	Blogas sulygiavimas	3	3.1, 4.1, 4.2
A7	Neteisingas veiksmas geram objektui	3	3.3, 5.1, 5.2
C5	Operacija atlikta ne laiku	3	2.2, 2.3, 4.6
I2	Perduota bloga informacija	3	1.1, 1.2, 1.3
R2	Gauta bloga informacija	3	1.1, 1.2, 1.3
A2	Operacija atlikta ne laiku	2	2.1, 5.4
A10	Blogas veiksmas netinkamam objektui	2	5.1, 5.2
R3	Informacija nepilnai įsisavinta	2	1.3, 3.2
A1	Operacija per trumpa arba per ilga	1	2.5
A4	Operacijoje atliekama per daug ar per mažai veiksmų	1	2.5
A9	Nebaigta operacija	1	3.3
C2	Tikrinimas nebaigtas	1	2.2
C4	Neteisingas tikrinimas su geru objektu	1	4.6
S1	Pasirinkimas praleistas	1	2.1

Atliekant SHERPA analizę proceso eigoje įvardintoms galimoms žmogiškosioms klaidoms reikalinga priskirti rizikos (žalos) bei tikimybės lygius (žiūrėti 4 lentelę). Kadangi analizė atliekama siekiant įvardinti gamybos efektyvumui įtaką darančias ŽK, rizikos lygis nustato gamybos bendro efektyvumo sumažėjimą, įvertinant prastovas bei neatitiktis. Rizikos ir tikimybės lygiai pagal HTA išskirtas užduotis ir jose identifikuotus klaidos tipus pateikiami 16 lentelėje.

16 lentelė. SHERPA analizės metu identifikuotų klaidų užduotyse rizikos (1-4) ir tikimybės (A-D) lygiai

Užduotis	Rizikos bei tikimybės lygis	Užduotis	Rizikos bei tikimybės lygis
1.1	2E	4.1	4E

1.2	3E	4.2	3D
1.3	4D	4.3	3C
2.1	4B	4.4	4E
2.2	3D	4.5	2C
2.3	4D	4.6	3B
2.4	3E	5.1	3D
2.5	3D	5.2	4E
3.1	4D	5.3	4C
3.2	3D	5.4	4B
3.3	4E		

Taigi, priskiriant rizikos ir tikimybės lygius įvardinta, kad rizikingiausias yra 4 proceso etapas (korpūsų komplektavimas), o rizikingiausios tarpinės užduotys yra 4.3 (korpūsas su įdėklų tinkama kryptimi įstatomas į įrenginį), 4.5 (operatorius įvertina įrenginio atliktos operacijos statusą ir perkelia pusgaminių į gerų gaminių zoną) ir 4.6 (kas valanda atliekama vizualinė kontrolė). Išskiriant 4 proceso etapo užduotis, apibūdinamos identifikuotos bei labiausiai tikėtinos klaidos:

- (4.2) **surinktas įdėklas tinkama kryptimi įstatomas į korpūsą** (3D) – dažniausiai tikėtina klaida yra veiksmo praleidimas. Operatorius praleidęs šį veiksmą dažniausiai praleidžia ir kitas proceso tarpines užduotis bei perkelia korpūsą be įdėklo į gerų pusgaminių padėklą. Tokia žmogiškoji klaida yra tiesiogiai susijusi su 6 paveiksle Pareto diagramoje pateiktoje kalibravimo ir testavimo operacijos šešto tipo neatitikčių rūšimi.
- (4.3) **korpūsas su įdėklų tinkama kryptimi įstatomas į įrenginį** (3C) – tikėtina klaida yra veiksmo praleidimas. Operatorius praleidęs šį veiksmą dažniausiai perkelia neužbaigtos operacijos pusgaminių (korpūsą su įstatytu, bet neįpresuotu įdėklų) į gerų pusgaminių padėklą. Ši žmogiškoji klaida yra tiesiogiai susijusi su 6 paveiksle Pareto diagramoje pateiktoje kalibravimo ir testavimo operacijos trečio tipo neatitikčių rūšimi.
- (4.5) **operatorius po presavimo įvertina įrenginio statuso atvaizdavimą** (2C) – dėl to, kad statuso indikatorius yra įdiegtas ne ergonomiškoje vietoje (ne darbuotojo akių lygyje, o dešinėje pusėje, juosmens lygyje), monotonišką operaciją atliekantis darbuotojas ne visada nukreipia žvilgsnį į šoną nuo natūralios stovimos darbo pozicijos, todėl praleidžia statuso indikacijos patikrinimą. Jeigu operacija atliekama standartizuotai pagal visus reikalavimus iki šios užduoties – klaidos rizika yra maža. Jeigu pasitaikytų blogos žaliavų partijos arba būtų neįvykdytos išankstinės pasiruošimo sąlygos (pavyzdžiui, nesuderintas įrenginys), tada statuso indikacija yra kritiškai svarbi. Tokio tipo klaidos taip pat gali būti susijusios su 6 paveiksle pateiktomis trečios ir šeštos rūšies neatitiktimis.
- (4.6) **vizualinė kontrolė atliekama kas valandą** (3B) – šis veiksmas dažnai yra atliekamas ne laiku arba praleidžiamas, nes laikas tikrinimui yra nurodytas tik kokybės kontrolės lapuose, papildomo priminimo ar indikacijos kas valandą nėra. Rizika kyla, jei gamyboje pasitaikytų blogų žaliavų partija, nepatikrinus gaminio pagal specifikaciją ir kokybinius vizualius kriterijus galima pagaminti nemažą kiekį neatitikčių.

Taip pat reikėtų įvardinti šiose tarpinėse operacijose galimus nusižengimus, kai darbuotojas dirba ne pagal standartinę procedūrą. Jeigu vienu metu operatorius į rankas paima gerą pusgaminių ir neužbaigtos operacijos korpūsą, po pertraukimo ar dėl išsiblašymo jis gali sumaišyti šiuos pusgaminius – blogą padėti prie gerų, o geram gaminiui pakartoti presavimo operaciją.

Daugumos klaidų atsiradimą lemia tokie PSFs: darbuotojų patirtis, vizualinės aiškios informacijos trūkumas, darbo proceso tvarka, organizavimas. Korpusų komplektavimo darbo vietoje dienos eigoje operatoriai dirba nepastoviai, nes turi kelias atsakomybes. Darbas skirstomas pagal gamybos užsakymų poreikį taip, kad riboti žmogiškieji ištekliai būtų naudojami efektyviausiai. Tačiau kiekybinės PSFs vertės nėra naudojamos SHERPA metode.

Sudarius visų proceso etapų žmogiškųjų klaidų analizę ir atlikus proceso stebėjimą bei vertinimą galima išskirti, kad dauguma klaidų korpuso komplektavimo procese turi mažą atsiradimo tikimybę ir rizikos lygį. Kai kurioms klaidoms įvykus, pasekmių atstatymui reikalingas nedidelis žmogiškųjų išteklių laikas, todėl pasekmių atstatymas įmonei nesudaro pastebimos ekonominės žalos, dažniausiai tik trumpą prastovą, kuri turi neigiamą įtaką darbo našumui, gamybos įrenginių OEE rodikliui.

Vadovaujantis bendruoju HRA algoritmu pateiktu 3 paveiksle ir įvertinus klaidų reikšmingumo lygį, atliktas nereikšmingų klaidų atrūšiovimas. Todėl toliau žmogaus patikimumo analizė ir klaidų tikimybės kiekybinis įvertinimas atliekamas korpusų komplektavimo proceso 4 etape ir jo tarpinėse užduotyse.

2.1.3. HEART metodo taikymas kiekybinei žmogiškųjų klaidų tikimybei apskaičiuoti

Siekiant kiekybiškai įvertinti SHERPA metodu 4 proceso etape identifikuotų klaidų tikimybę, naudojama pirmos kartos žmogaus patikimumo analizės HEART technika, apžvelgta 1.4.2 skyrelyje. Teorinės klaidos tikimybės apskaičiavimui HEART yra greitas, paprastas ir patvirtintas metodas. 4 proceso etapui priskiriamas „G“ užduoties tipas – pažįstama, gerai suplanuota rutininė operacija atliekama įgudusio darbuotojo pagal nustatytus standartus (žiūrėti HEART GTTs 5 lentelę), kurio nominali tikimybė yra 0,0004.

Korpusų komplektavimo procesui, naudojantis HEART metodu, reikalinga priskirti klaidų atsiradimui įtaką darančius veiksniai (EPCs). Tai atliekama remiantis proceso dokumentų įvertinimu, realiu proceso stebėjimu bei SHERPA taikymo metu surinkta informacija. Parenkant EPCs reikia atsižvelgti į tai, kad jos nesikartotų su užduoties tipe apibūdintomis sąlygomis. EPCs ir jų vertės parenkami iš HEART EPCs lentelės pateiktos 1 priede. 4 proceso etapui priskirti veiksniai (EPCs), svorio koeficientai (APOA) bei jų poveikio klaidoms (AA) skaičiavimai pateikiami 17 lentelėje.

17 lentelė. HEART analizės taikymas, EPCs įvertinimas bei poveikio klaidoms (AA) apskaičiavimas

EPCs eilės numeris ir aprašymas	EPCs daugiklis	APOA	Priskirtas EPCs poveikis (AA)
5. Informacija nepateikiama lengvai įsisavinamu būdu (operacijos statuso indikatorius vieta netinkamoje vietoje)	8	0,3	$((8-1) * 0,3) + 1 = 3,1$
10. Reikalinga naudoti specifines žinias skirtingose operacijose (bazinių žinių taikymas pereinant nuo vienos prie kitos operacijos)	5.5	0,1	$((5.5-1) * 0,1) + 1 = 1,45$
17. Retai tikrinama pagaminta produkcijos kokybė	3	0,7	$((3-1) * 0,7) + 1 = 2,4$
26. Nėra įdiegto būdo bendram proceso efektyvumui ir kokybei sekti (įdiegta sistema matuoja tik prieinamumą (angl. <i>availability</i>))	1.4	0,4	$((1,4-1) * 0,4) + 1 = 1,16$
36. Užduoties atlikimo tempas gali būti kintantis dėl aplinkinių pertraukimo	1.06	0,5	$((1,06-1) * 0,5) + 1 = 1,03$
39. Blaškymasis, užduoties pertraukimas	4	0,5	$((4-1) * 0,5) + 1 = 2,5$
40. Paros laikas (dirbama ir naktinėmis pamainomis)	2.4	0,3	$((2,4-1) * 0,3) + 1 = 1,42$

Naudojantis 1 ir 2 formulėmis apskaičiuojamas bendras EPCs poveikis bei teorinė proceso klaidos tikimybė:

$$AA_{bendras} = 3,1 * 1,45 * 2,4 * 1,16 * 1,03 * 2,5 * 1,42 = 45,758$$

$$HEP_{HEART} = AA * NHEP = 45,758 * 0,004 = \mathbf{0,0183}$$

Taip pat apskaičiuojamos klaidos tikimybės, kai naudojami HEART GTTs lentelėje pateikti „G“ tipo užduoties nominalios tikimybės 5-tasis ir 95-tasis procentiliai:

$$HEP_{HEART\ 5-tasis\ procentilis} = AA * NHEP_{5-tojo\ procentilio} = 45,758 * 0,00008 = 0,00366$$

$$HEP_{HEART\ 95-tasis\ procentilis} = AA * NHEP_{95-tojo\ procentilio} = 45,758 * 0,009 = 0,4118$$

5-tasis procentilis statistikoje nurodo, kad už 5-tojo procentilio tikimybės reikšmę mažesnės yra tik 5 procentai reikšmių. Taip pat už 95-tojo procentilio tikimybę – 95 % verčių yra mažesnės.

Palyginimui atliekami skaičiavimai, priskiriant EPCs kiekvienai 4 proceso tarpinei užduočiai atskirai. Įvertinus atskirus poveikius, apskaičiuota galimos žmogiškosios klaidos tikimybė visame 4 proceso etape skyrėsi nežymiai (0,0011):

$$HEP_{HEART}(vertinant\ tarpines\ užduotis\ atskirai) = \mathbf{0,0172}$$

Todėl galima priimti prielaidą, kad bendras 4 proceso etapui priskirtas EPCs poveikis (AA) įtraukiant visus galimus EPCs su priskirtomis vertėmis kompensuoja ir neblogai įvertina proceso užduoties klaidos tikimybę.

Skaičiuojant įvykių sekos tikimybę, kad operatorius vieno darbo ciklo metu suklys vienoje iš 4.2, 4.3 ar 4.5 tarpinių užduočių, naudojant kiekvienos atskiros tarpinės užduoties tikimybę apskaičiuojama:

$$HEP_{HEART}(klaida\ vienoje\ iš\ 4.2,\ 4.3,\ 4.5\ tarpinių\ užduočių) = \mathbf{0,015253}$$

2.1.4. SPAR-H metodo taikymas kiekybinei žmogiškųjų klaidų tikimybei apskaičiuoti

Taikant SPAR-H žmogaus patikimumo analizės metodą, analizuojamai užduočiai pirmiausia reikia priskirti vieną iš dviejų tipų: veiksmo atlikimas ar diagnostika. Analizuojamo korpusų komplektavimo proceso 4 užduoties etapas priskiriamas veiksmo atlikimo grupei. Todėl PSFs vertinimas atliekamas naudojantis veiksmo atlikimo PSFs verčių daugikliais. Įvertinus kiekvieną 4 korpuso komplektavimo etapo tarpinę užduotį, PSFs lygis 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 ir 4.6 užduotyse įvertintas nominaliu 1, todėl šiose užduotyse PSFs nekoreguoja nominalios klaidos tikimybės, priskiriamoms veiksmo užduotims. 4.5 tarpinei užduočiai atliktas PSFs vertinimas pateikiamas 18 lentelėje, kuri sudaryta naudojantis 6 lentele bei 2 priede pateiktu NRC SPAR-H darbalapiu.

18 lentelė. SPAR-H metode 4.5 tarpinei užduočiai priskiriamų PSFs darbalapis

Veiklos našumui įtaką darantis veiksnys (PSF)	PSF lygis	Veiksmo atlikimo daugikliai	Pastabos
Laikas skirtas užduočiai atlikti	Neadekvatus laikas	P(klaidos)=1	Darbo ciklas 1 detalei pagaminti yra 15 sekundžių, darbuotojas per šį laiko tarpą vidutiniu tempu
	Dalinai neadekvatus laikas	10	
	Nominalus laikas	1	

	Laisvas laikas > 5 × reikalingas laikas užduočiai atlikti	0,1	spėja atlikti visas 4 proceso etapo užduotis
	Laisvas laikas > 50 × reikalingas laikas užduočiai atlikti	0,01	
Stresas	Nepaprastai didelis	5	Stresą keliančių faktorių darbo aplinkoje nepastebėta
	Aukštas	2	
	Nominalus lygis	1	
Kompleksiškumas	Aukštas	5	4 proceso užduotis susideda tik iš kelių tarpinių užduočių, o kiekviena atitinkama užduotis paprasta
	Vidutinis	2	
	Nominalus	1	
Patirtis ir mokymai	Žemas lygis	3	Operatorių kompetencijos lygis vidutinis
	Nominalus lygis	1	
	Aukštas lygis	0,5	
Procedūros	Neįdiegtos, neaprašytos	50	Peržiūrėjus proceso dokumentus ir fiziškai įvertinus procesą — procedūros pakankamos
	Neužbaigtos	20	
	Įdiegtos, tačiau nekokybiškos	5	
	Nominalios (tinkamos procedūros)	1	
Ergonomika	Trūksta patogumo, darbuotojas klaidinamas	50	Operacijos statuso indikatorius ne ergonomiškoje vietoje, HMI ne prie įrenginio
	Žema	10	
	Nominali	1	
	Aukštas ergonomikos lygis	0,5	
Darbuotojų tinkamumas	Netinkamas	P(klaidos)=1	Nėra darbuotojų su ribotu darbingumo lygiu
	Prastė fizinė, psichologinė forma	5	
	Nominalus	1	
Darbo procesai	Prastas lygis	5	Planavimo, informacijos perdavimo procesai nominalūs, tobulinant reikėtų skaitmenizuoti informacijos perdavimą
	Nominalus lygis	1	
	Geras planavimas, organizavimas, komunikacija	0,5	

Apskaičiuojamas sudėtinis 4.5 tarpinės užduoties PSFs koeficientas.

$$PSF_{\text{sudėtinis, 4.5 tarpinės užduoties}} = 10$$

Veiksmo atlikimo klaidoms SPAR-H metode priskiriama nominali 0,001 klaidos tikimybė. 4.5 tarpinei proceso užduočiai apskaičiuojama tikimybė (kadangi veikia tik vienas neigiamas PSFs, nereikia naudoti modifikuotos HEP apskaičiavimo formulės):

$$HEP_{SPAR-H \text{ 4.5 tarpinės užduoties}} = PSF_{\text{kombinuotas}} * NHEP = 10 * 0,001 = 0,01$$

Norint apskaičiuoti tikimybę, kad 4 proceso etape vienos detalės ciklo metu, po to įtraukiant 4.6 kokybės kontrolės užduotį, bent vienoje 4 proceso etapo tarpinėje užduotyje įvyks žmogiškoji klaida, galima pasinaudoti tikimybių teorijos įvykių sąjungos skaičiavimo formule:

$$HEP_{SPAR-H}(4.1 \cup 4.2 \cup 4.3 \cup 4.4 \cup 4.5 \cup 4.6) = \mathbf{0,015}$$

Skaičiuojant teorinę klaidos tikimybę tarp korpusų komplektavimo tarpinių užduočių, kuriose operatorius gali padaryti klaidą ir praleisti neatitiktį į kitus procesus, vienos detalės gamybos darbo ciklo metu formuluojama: būtent vienoje iš trijų tarpinių užduočių suklystama taip, kad operatorius

perkelia blogą gaminį į gerų gaminių padėklą. Tokia formuluo­te apima 4.2, 4.3, 4.5 tarpinių užduočių klaidų įvykius. Tai blogiausio scenarijaus atvejis, nes įtraukiama ir sunkiausiai nuspėjama 4.5 užduoties klaida. Sekai įvykti galimos tokios sąlygos:

1. operatorius suklysta 4.2 užduotyje, neįstatydamas įdėklo į korpusą, praleidžia kitas užduotis ir perkelia detalę be įdėklo į gerų gaminių padėklą;
2. 4.2 užduotis atlikta teisingai, bet 4.3 užduotyje, praleidžiamas veiksmas ir ne pilnai įpresuoto įdėklo gaminy­s perkeliama į gerųjų padėklą, praleidžiant tolimesnę veiksmų seką;
3. užduotys iki 4.5 atliekamos teisingai, tačiau dėl žaliavų kokybės ar įrenginio veikimo stabilumo 4.4 proceso etapo metu detalė buvo įpresuota netinkamai. Tada darbuotojas nepastebi operacijos statuso indikatorius atvaizdavimo ir perkelia blogą detalę į gerų gaminių padėklą.

Apskaičiuojama tikimybė, kad įvyks vienas iš šių aprašytų scenarijų:

$$HEP_{SPAR-H} \text{ (klaida vienoje iš 4.2, 4.3, 4.5 tarpinių užduočių)} = 0,011958$$

2.1.5. HEART ir SHERPA metodais apskaičiuotų žmogiškųjų klaidų tikimybių palyginimas

Identifikavus rizikingiausias korpusų komplektavimo proceso vietas bei naudojantis HEART ir SPAR-H žmogaus patikimumo analizės metodais buvo apskaičiuotos teorinės 4 proceso etapo bei atitinkamo tarpinių užduočių scenarijaus teorinės žmogiškųjų klaidų tikimybės. Tikimybė, kad vieno proceso cikle darbuotojas 4.2, 4.3, 4.5 tarpinių užduočių vykdymo metu padarys klaidą, nurodo tikimybę kiek blogų gaminių gali būti perkelti kaip geri ir mažinti kitų procesų bendrą įrangos išnaudojimo efektyvumą (OEE rodiklį). Apskaičiuotų teorinių tikimybių palyginimas pateikiamas 19 lentelėje.

19 lentelė. Kiekybinių ŽK tikimybių palyginimas tarp HEART ir SPAR-H metodais gautų verčių

Proceso etapas, įvykių seka	HEART HEP	SPAR-H HEP	Skirtumas
4 proceso etape bent vienoje iš tarpinių užduočių įvyks žmogiškoji klaida	0,0172	0,015	0,0022
Žmogiškoji klaida vienoje iš 4.2, 4.3, 4.5 tarpinių užduočių	0,01525	0,01196	0,0033

HEART metodu apskaičiuotos tikimybės yra didesnės. Tai gali būti dėl to, kad HEART metode yra naudojama daugiau įtaką darančių veiksnių ir jų kiekybinių koeficientų. Todėl įtraukus daugiau PSFs svarstomas pesimistinis klaidos įvykio ir aplinkybių scenarijus.

2.2. Žmogiškosios klaidos tikimybės priklausomybė nuo išdirbto laiko remiantis SHERPA* metodu

Dalis problemų gali būti analizuojamos ir sprendžiamos anksčiau aprašytais metodais, bet kai kurie žmogaus darbo aspektai remiasi ir kitais veiksniais. Vienas iš tokių metoduose atskirai neįvardintų veiksnių gali būti darbo eigoje patiriamas nuovargis, kuris negali būti tiesiogiai išmatuojamas. Todėl galima tik diskutuoti kokia yra kitų veiksnių įtaka nuovargiui.

Naudojantis aptartais pirmos ir antros kartos žmogaus patikimumo analizės metodais galima apskaičiuoti žmogiškosios klaidos teorinę tikimybę, tačiau ji nėra dinaminė. Našumui įtaką darantys veiksniai (PSFs) bei jų svoriai ekspertų yra priskiriami statiskai, vertinant bendras atliekamos užduoties ir darbuotojų patikimumui įtaką darančias sąlygas. Tai vienas iš pirmųjų kartų metodų

trūkumų, kadangi negalima įvertinti tokių sudėtinių PSFs poveikio ir jų priklausomybės laike. Dėl šios priežasties negalima kurti žmogiškosios klaidos įvykio modelio darbo metu. Todėl darbo vietoje einant darbo laikui negalima įvertinti ar klaidos tikimybė kinta dėl nuovargio ar susitelkimo į užduotį sumažėjimo.

Remiantis trečios kartos SHERPA* HRA metodu, priimama prielaida, kad žmogaus patikimumas priklausomas nuo išdirbto laiko. Pagal modifikuotą Veibulio pasiskirstymo formulę (5) po išdirbio laiko žmogaus patikimumas krenta. Todėl remiantis nagrinėta literatūra [28, 38] formuojama prielaida:

„darbo aplinkoje žmogiškosios klaidos tikimybė didėja priklausomai nuo išdirbto laiko“.

Prielaidai pagrįsti pirmiausia apskaičiuojama teorinė žmogiškosios klaidos tikimybė kintanti laike. Tam naudojama SHERPA* žmogaus patikimumo analizės technika su modifikuotu Veibulio pasiskirstymo dėsniumi.

Projekto vystymo metu įmonėje buvo identifikuotas kitas surinkimo procesas, kuriame dėl žmogiškosios klaidos taip pat mažėja proceso OEE rodiklis bei yra sudaromos gamybos neatitiktys. Vienoje spartaus tempo rutininio surinkimo proceso darbo vietoje identifikuota pasikartojanti elektronikos jungties netinkamo įstatymo klaida.

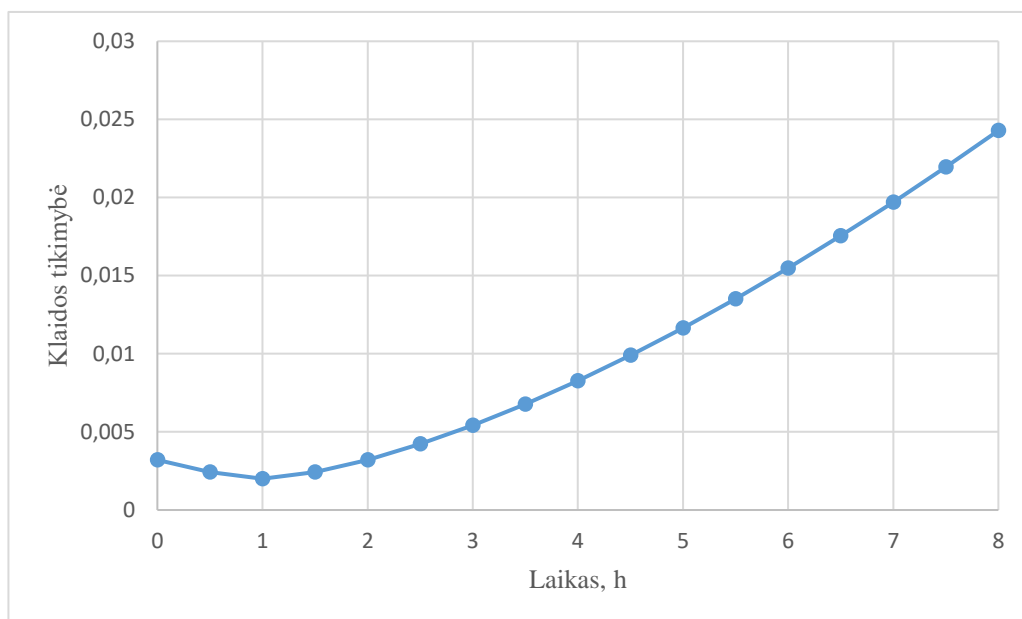
SHERPA* metodas naudoja HEART metodo užduočių tipų (GTTs) klasifikavimą bei SPAR-H metodo ŽK įtaką darančių veiksnių (PSFs) priskyrimo techniką. Nagrinėjamas surinkimo procesas, kuriame operatorius pusiau automatinės linijos darbo vietoje turi prijungti dvi elektronikos plokštes ir įstatyti antrą plokštę ant korpuso kaiščių. Ši užduotis naudojantis SHERPA* technikos 9 lentele priskiriama 5 užduoties tipui (GTTs), kuris nurodo, kad tai pažįstama, gerai suplanuota rutininė operacija. Naudojantis SPAR-H darbalapiu (žiūrėti 6, 18 lenteles bei 2 priedą) priskiriami veiksmo atlikimo ŽK įtaką darantys veiksniai. Be nominalių PSFs, kurie nekeičia užduoties nominalios klaidos tikimybės, išskirti tokie veiksniai:

- laikas skirtas užduočiai atlikti – dalinai neadekvatus laikas, kiekybinis šio veiksnio įvertis yra 10;
- patirtis, mokymai – aukštas lygis, kiekybinis veiksnio įvertis 0,5;
- ergonomika – aukštas ergonomikos lygis, kiekybinis įvertis 0,5;

Laikas skirtas užduočiai atlikti šiame proceso etape yra labai artimas fiziškai reikalingam užduoties atlikimo laikui, todėl šis PSF didina klaidos tikimybę. Atlikus proceso ir darbuotojų darbo ciklų greičio matavimus, standartiniu atveju be aplinkinių veiksnių įtakos, įvertinta, kad patyrusiam darbuotojui lieka 1 sekundė po vienos detalės ciklo. Todėl šiam PSF priskiriamas 0,8 svorio koeficientas, remiantis HEART metodo svorių koeficientų priskyrimu. Patirčiai ir mokymams priskiriamas aukštas lygis, nes visų pamainų darbuotojai šioje darbo vietoje dirba ilgiau nei metus ir yra gerai apmokyti. Ergonomika yra įvertinta aukštu lygiu, nes darbo vieta saugi, joje pakankama vietos, įdiegtas reguliuojamo aukščio keltuvas darbo padėties patogumui bei pritaikytas įrankis elektronikos plokščių sujungimui. Apskaičiuojamas šios užduoties sudėtinis PSF:

$$PSF_{sudėtinis} = (10 * 0,8) * 0,5 * 0,5 = 2$$

Naudojantis SHERPA* metodo 5 tipo GTTs parametrais k , α ir β bei modifikuotu Veibulio pasiskirstymo dėsnio (5), apskaičiuojama teorinė klaidos tikimybė pagal išdirbtas valandas. Teorinė apskaičiuota žmogiškosios klaidos tikimybė (HEP) pateikiama 11 paveiksle.



11 pav. SHERPA* metodu apskaičiuota teorinė ŽK tikimybė, kai PSFs = 2

Pateiktas grafikas nurodo, kad SHERPA* metodu apskaičiuota teorinė tikimybė yra dinaminė. Pirmą valandą dėl darbuotojo apsiratimo, įdirbio laiko klaidos tikimybė mažėja, o nuo pirmos valandos iki paminos pabaigos didėja, galimai dėl nuovargio ir mažėjančio dėmesio sutelkimo į atliekamą užduotį. Prielaidos patvirtinimui gauta teorinės tikimybės priklausomybė nuo laiko gali būti lyginama su gamybos duomenimis.

2.3. Žmogiškųjų klaidų teorinių tikimybių palyginimas su gamybos duomenimis

Norint įvertinti apskaičiuotų teorinių klaidų tikimybių tikslumą, reikalinga teorinius duomenis palyginti su produkcijos realiais duomenimis. Taip galima įvertinti apžvelgtų metodų pritaikymą gamybos procesuose.

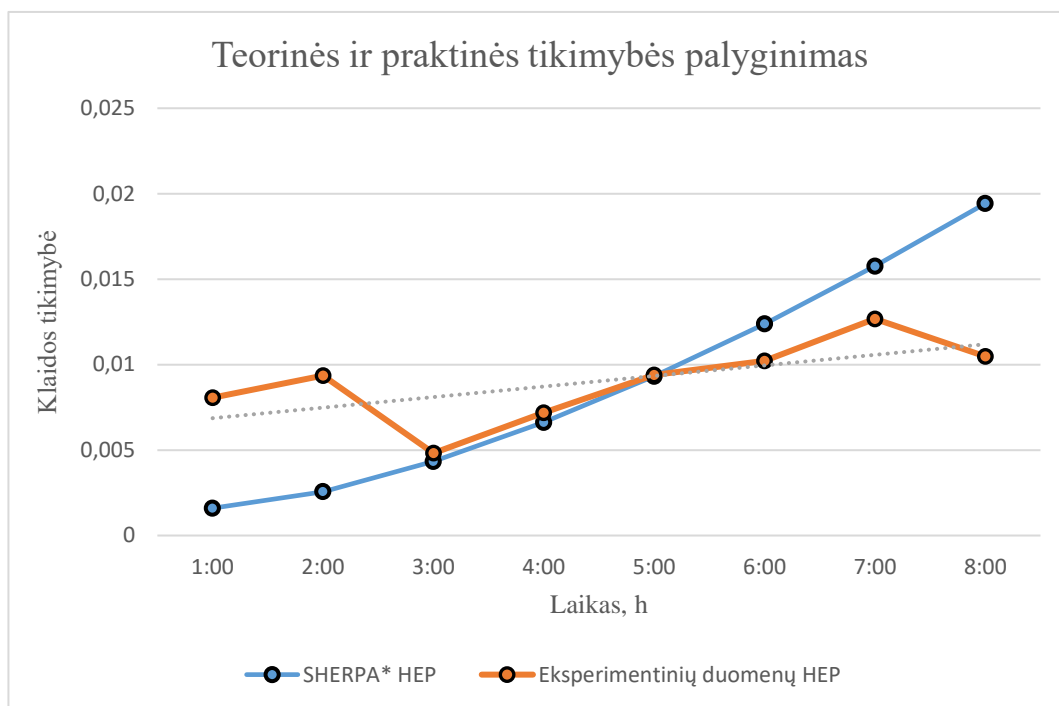
2.3.1. Žmogiškosios klaidos priklausomybės nuo išdirbto laiko palyginimas su gamybos duomenimis

SHERPA* metodu apskaičiuotos žmogiškosios klaidos tikimybės funkcijos bei prielaidos, teigiančios, kad žmogiškosios klaidos tikimybė didėja po įdirbio laiko, patikrinimui naudojami surinkimo proceso darbo vietos istoriniai duomenys, kurie reikalingi OEE kokybės rodiklio skaičiavimui.

Išanalizavus procesą nustatytas įrenginio defekto tipas, nurodantis įvardytą žmogiškąją klaidą, todėl priimama, kad šios neatitikties įvykis rutiniame surinkimo procese lyginamas ŽK tikimybei. Šio defekto įvykiai analizuojami išdirbto paminos laiko skalėje, vėliau lyginami su teorine klaidos tikimybės pasiskirstymo funkcija laike, grindžiančia prielaidą.

Įvardintoje surinkimo proceso darbo vietoje operatorius gali padaryti klaidą sujungiant elektronikos plokštes. Ši klaida yra aptinkama testavimo metu ir užfiksuojama kaip blogas produktas, tada įrangos

OEE kokybės rodiklis krenta. Klaidos įvykiui analizuoti buvo nagrinėjama istorinių duomenų OEE kokybės rodiklio sandara, išskiriant būtent šio tipo defekto rūšį iš visų neatitikčių. Remiantis dviejų savaitių, 2 pamainų kokybės rodiklio duomenimis, eksperimentinės ŽK tikimybės pagal išdirbtą laiką buvo perskaičiuotos kas valandą. Apskaičiavimas vykdomas šio tipo klaidos įvykių kiekį išskyrus iš visų neatitikčių kiekio ir dalijant jį iš atitinkamos valandos visų galimybių suklysti (gamintų detalių) kiekio. Atlikus skaičiavimus galime sudaryti prielaidos tikrinimui skirtą grafiką. Sudarytas grafikas lygina SHERPA* metodu apskaičiuotą teorinę ŽK tikimybę ir darbo eigoje iš OEE kokybės rodiklio skaičiavimo duomenų apskaičiuotą, kas valandą diskretizuotą, klaidos tikimybę. Lyginamasis teorinės ir praktinės klaidos tikimybės grafikas pateikiamas 12 paveiksle.



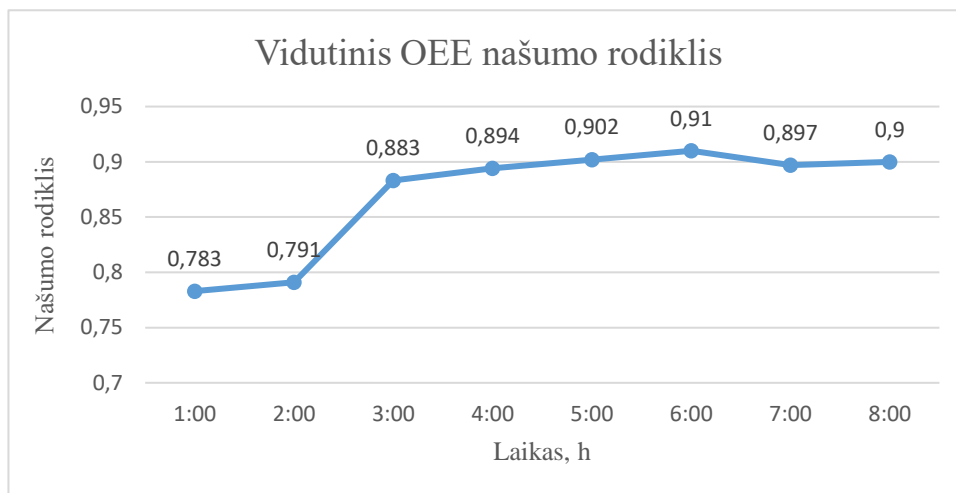
12 pav. SHERPA* metodu apskaičiuotos teorinės ŽK tikimybės ir istoriniais gamybos OEE kokybės rodiklio duomenimis apskaičiuotos klaidos įvykio tikimybės, tarp atskirto neatitikties tipo, palyginimas

Remiantis SHERPA* metodu apskaičiuota teorine klaidos tikimybe – nuo darbo pradžios per pirmą valandą darbuotojo klaidos tikimybė mažėja, nes tai yra apsipratimo, įdirbio laikas. Vėliau nuo pirmos valandos dėl kintančių klaidoms įtaką darančių veiksnių poveikio (galimai dėl sutelkto dėmesio į užduotį mažėjimo bei nuovargio didėjimo) teorinė klaidos tikimybė didėja iki darbo pamainos pabaigos.

Lyginant šią teorinę klaidos tikimybę su praktiškai, remiantis gamybos duomenimis, apskaičiuota klaidos įvykio tikimybe, galima pastebėti tai, kad šiame rutiniame procese pirmas dvi valandas klaidos tikimybė yra didesnė. Galima teigti, kad darbuotojams reikalingas didesnis įdirbio laikas, tam kad ŽK tikimybė sumažėtų. Toliau prielaidą grindžianti tendencija klaidos tikimybei didėti pastebima gamyboje nuo 3 iki 7 darbo valandos. Lyginant šį laikotarpį galima pagrįsti prielaidą, kad ŽK tikimybė nuo išdirbto laiko turi didėjimo tendenciją. Pastebimas paskutinės valandos klaidos tikimybės sumažėjimas, suteikiantis praktinei tikimybės kreivei kiek kitokią formą. Tačiau remiantis SHERPA* metodo autoriaus atliktais eksperimentiniais duomenimis [38] taip pat buvo pastebimas paskutinės valandos tikimybės mažėjimas. Tokia paskutinės valandos sumažėjusios klaidos tikimybės tendencija yra sunkiai paaiškinama dėl žmogaus elgesio kompleksiskumo bei žmogaus

kognityvinių ir psichologinių savybių. Todėl kiekviename skirtingame kontekste galėtų būti įvertinta kitaip.

Taip pat remiantis dviejų savaitių laikotarpio nagrinėtais OEE duomenimis apskaičiuotas vidutinis įrenginio darbo našumas. Našumo rodiklio vertės, diskretizuotos kas valandą pateikiamos 13 paveiksle.



13 pav. OEE našumo rodiklio priklausomybė nuo laiko

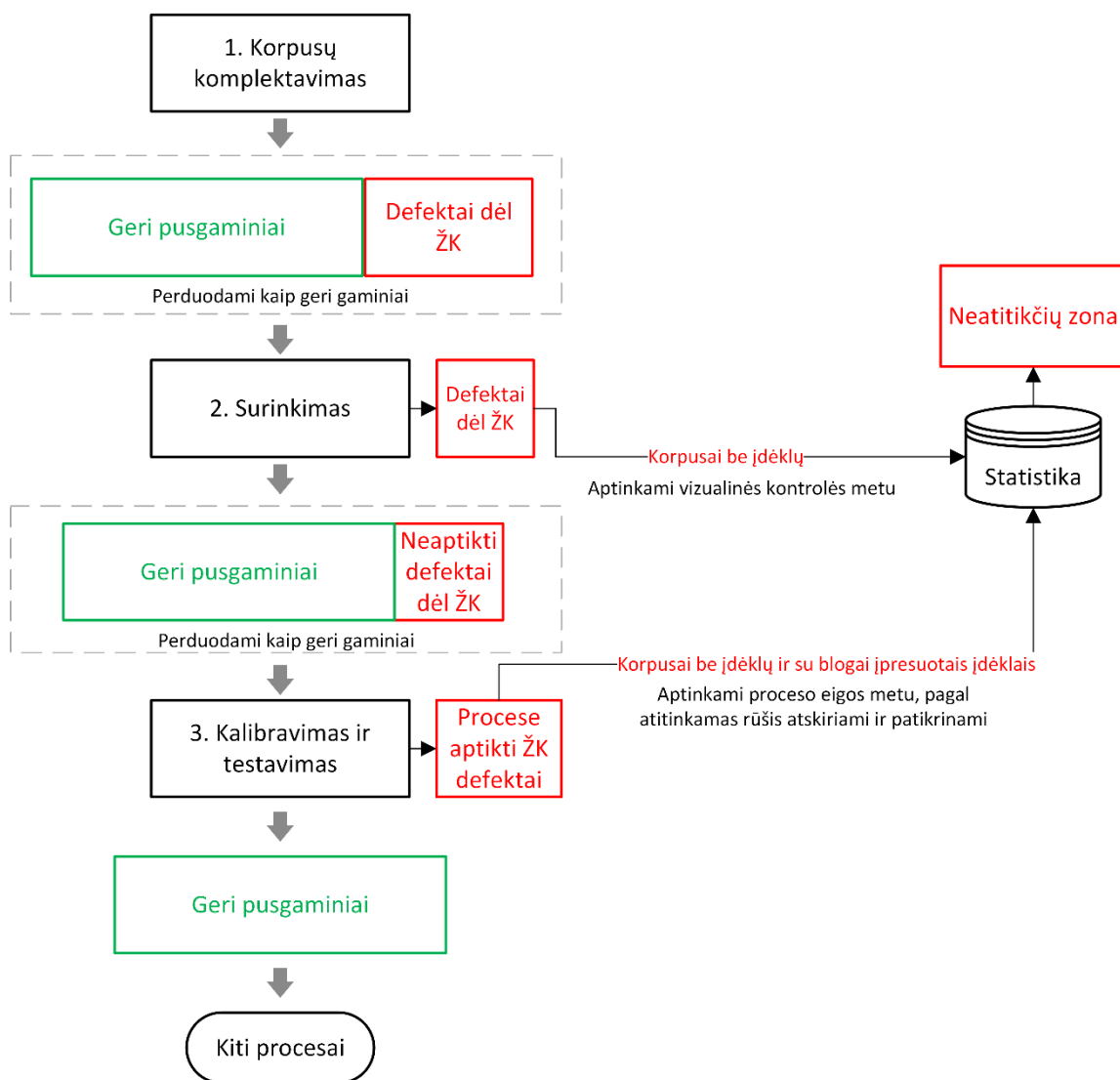
Remiantis našumo rodiklio duomenimis galima pastebėti mažesnio OEE rodiklio pirmomis valandomis koreliaciją su našumu. Našumo ir kokybės rodiklių duomenimis pagrindžiama, kad šioje darbo vietoje įdirbio laikas yra dvi valandos. Todėl lyginant su SHERPA* metode taikomu pirmos valandos įdirbio laiku, operatoriui reikia daugiau laiko apsiprasti šios darbo vietos aplinkoje. Vertinant 13 paveiksle pateiktą našumo rodiklio grafiką – nuo trečios valandos našumo rodiklis didėja, todėl negalima teigti, kad darbo tempas priklauso nuo išdirbto laiko. Bendrai įvertinus 12 ir 13 paveikslų grafikus galima svarstyti tai, kad žmogaus dėmesio sutelkimas į atliekamą užduotį mažėja. Darbo tempas dėl to nesikeičia, tačiau kokybė krenta. Dėmesio sutelkimas gali mažėti dėl nuovargio, nes analizuoto proceso darbo tempas yra greitas ir per pamainą atliekama daugybė operacijų. Apibendrinant galima teigti, kad žmogiškosios klaidos daro įtaką kokybei bei bendram įrenginių efektyvumui.

Šio proceso ŽK mažinimui galimos kelios strategijos:

- technologinio proceso keitimas bei žmogiškojo faktoriaus mažinimas arba pašalinimas iš atliekamos operacijos;
- organizacinės darbo tvarkos koregavimas, organizuojant optimalesnius pertraukų laikus ar darbuotojų rotaciją tarp darbo vietų, kad dėmesio sutelkimas į užduotį darbo eigoje išliktų kuo didesnis;
- nustatyto darbo ciklo procese didinimas. Laikas skirtas užduočiai atlikti buvo įvertintas kaip vienas iš pagrindinių klaidai įtaką darančių faktorių. Tačiau siekiant aukšto įrenginių išnaudojimo efektyvumo, įmonei ilginti vienos detalės ciklą gali būti finansiškai nenaudinga.

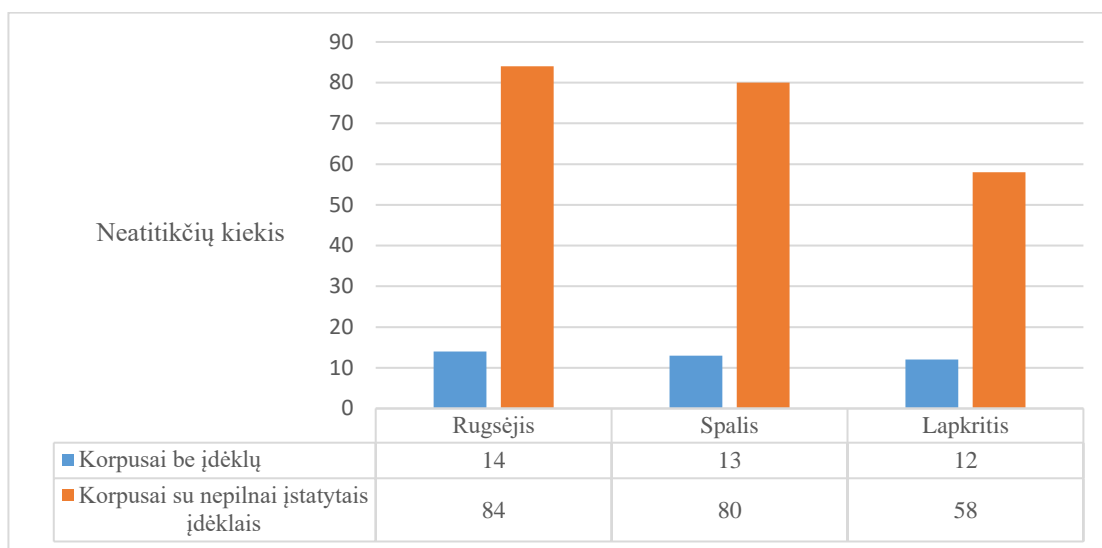
2.3.2. Neatitikčių įvykusių dėl žmogiškųjų klaidų korpusų komplektavimo procese kiekybinis įvertinimas

Atlikus galimų ŽK identifikavimą korpusų komplektavimo procese, jų įtakos produkcijos neatitiktims kiekybiniam įvertinimui, buvo atliktas trijų mėnesių neatitiktų stebėjimas gamyboje. Neatitiktys buvo stebimos dviejuose tolimesniuose gamybos (surinkimo ir kalibravimo) procesuose, kuriuose buvo sulaikomi identifikuotų neatitiktų tipai (korpusas su blogai įpresuotu įdėklu, korpusas be įdėklo). Statistikos surinkimui buvo įtraukti minėtų dviejų procesų darbuotojai. Surinkimo procese buvo atliekama periodinė vizualinė kontrolė, siekiant įvertinti įdėklo poziciją. Kalibravimo ir testavimo procese duomenys apie tokias neatitiktis surenkami skaitmeniniu būdu, todėl darbuotojai buvo apmokyti ir informuoti kokias neatitiktis atskirti nuo kitų neatitiktų. Kiekviena neatitiktis galimai susijusi su įdėklų presavimu įvykusia klaida (žiūrėti 6 paveikslą) buvo sulaikoma ir analizuojama. Dalis neatitiktų susijusių su įdėklų presavimu buvo pastebimos surinkimo procese vizualinės patikros metu ir didžioji dalis buvo aptikta tarp kalibravimo ir testavimo proceso neatitiktų. Vizualus algoritmas, kuriame pateikta korpusų komplektavimo procese praleistų defektų perdavimo eiga bei kaip buvo sulaikomi gaminiai ir renkami duomenys, pavaizduotas 14 paveiksle.



14 pav. Korpuso komplektavimo operacijoje dėl ŽK įvykusių neatitiktų perdavimas ir sekimas

Gamybos darbuotojai buvo apmokyti kaip identifikuoti šių dviejų tipų defektus ir registruoti juos statistikos surinkimui. Trijų mėnesių statistika, kiekiai bei defektų rūšys, pateikiamos 15 paveiksle.



15 pav. Trijų mėnesių surinkimo ir kalibravimo procesuose aptiktos korpusų komplektavimo proceso neatitiktys

Šios neatitiktys tuo laikotarpiu sudarė 0,21 % visos produkcijos kiekio. Kai teorinė tokių neatitikčių tikimybė apskaičiuota HEART metodu buvo 1,535 %, o SPAR-H metodu 1,196 %.

Lyginant neatitikčių procentą su teoriškai apskaičiuotomis ŽK klaidų tikimybėmis, identifikuotų klaidų įvykiai gamyboje pasireiškė rečiau. Praktinė įvykio tikimybė yra mažesnė nei 5-tojo procentilio HEART metodu apskaičiuota teorine tikimybė, tai nurodo, kad teoriškai apskaičiuotos tikimybės yra labiau pesimistinės. Teorinės ir praktinės įvykio tikimybės galėjo nesutapti dėl patirties trūkumo taikant žmogiškųjų klaidų analizės metodus ir priskiriant klaidoms įtaką darančius veiksnius. Be to projekto vystymo eigoje šios identifikuotos klaidos buvo aptariamoms su proceso operatoriais. Tai galėjo turėti teigiamos įtakos mažesnei praktinei žmogiškosios klaidos įvykio tikimybei, nes minėta problema buvo darbuotojams aiškiai identifikuota bei pabrėžiama.

Identifikuotos klaidos gali būti mažinamos techninėmis priemonėmis, kurios aptariamoms kitame skyriuje.

3. Žmogiškųjų klaidų mažinimas korpusų komplektavimo procese

Įgūdžiais ir taisyklėmis grįstoje veikloje įvykstančioms žmogiškosioms klaidoms mažinti galimos priemonės yra:

- rutininės veiklos procesų automatizavimas;
- žmogaus atliekamų veiksmų ribojimas techninėmis priemonėmis;
- įdiegiama kiekvieno gaminio kokybės kontrolė.

Automatizuojant procesą panaikinama galimybė darbuotojui suklysti. Tačiau norint pilnai automatizuoti procesus, kuriuose atliekama įvairių rūšių produkcija, tenka susidurti su daugybe sunkumų ir tokio tipo įrenginys gali tapti labai sudėtingas ir brangus. Tai pat procese galima įdiegti tokias technines priemones, kurios neleistų darbuotojui atlikti klaidingų veiksmų. Kitas metodas identifikuotoms neatitiktųjų problemoms spręsti – kiekvieno gaminio kokybės tikrinimas. Kontrolę gali atlikti automatizuotas įrenginys arba žmogus. Tačiau žmogaus atliekama kontrolė taip pat įterptų į procesą žmogiškąjį faktorių, todėl šis metodas gali būti nepatikimas, siekiant aukščiausio patikimumo lygio. Pasirenkant procesų tobulinimo strategiją, prieš tai reikia įvertinti planuojamo keitimo naudą bei atlikti ekonominius skaičiavimus, kurie leidžia įvertinti ar įmonei toks pakeitimas atneša ekonominę naudą.

Turint konkrečias identifikuotas žmogiškąsias klaidas, apskaičiavus jų teorines tikimybes, taip pat kiekybiškai įvertinus realias atitinkamų ŽK tipų pasekmes, įvertinta, kad korpusų komplektavimo procese tikimybė suklysti ir rizika bei patiriama žala yra nedidelė, tačiau netenkinanti produkcijos plano. Neatitiktys susijusios su korpusų komplektavimo operacija yra aptinkamos kalibravimo ir testavimo procese. Įvykus identifikuotoms ŽK šiek tiek didėja defektingumo rodiklis bei mažėja bendras gamybos efektyvumas. Todėl įvertinus visą žmogaus patikimumo analizės metu surinktą informaciją – pilnai automatizuoti tokį rutininį procesą yra finansiškai neefektyvu ir sudėtinga. Reikalinga rasti mažesnių investicijų reikalaujančią proceso tobulinimo strategiją.

Projekto vystymo metu buvo suformuotas pasiūlymas, kaip išvengti tikimybės įdėti neatitiktis (neužbaigtos operacijos produktus) tarp gerų gaminių. Siūloma automatizuoti kokybės kontrolę, užtikrinant, kad į gerų gaminių zoną būtų galima perkelti tik kokybiškus gaminius. Taip apribojant darbuotojo veiksmus ir atliekant kokybės kontrolę – žmogiškųjų klaidų šiame procese galima išvengti.

3.1. Darbo vietos tobulinimas ir siūlomų priemonių aprašymas

Įmonėje naudojami standartizuoti vienodos formos padėklai, į kuriuos sudedama 12 gaminių. Siūloma darbo vietoje užfiksuoti gaminių padėklą ir jį paleisti tik tada, kai jis pilnai užpildomas ir yra įvertinta įdėklų įpresavimo kokybė. Taip pat įdiegti HMI skydelį operatorių akių lygyje, kuriame būtų atvaizduojamas pagamintos detalės kokybės statusas.

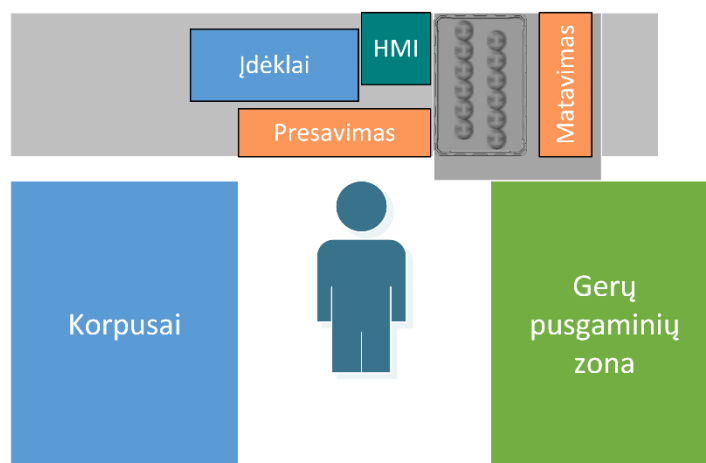
Siūlomam korpusų įdėklo įpresavimo proceso kokybės tikrinimo įrenginiui keliamas pagrindinis funkcinis reikalavimas – reikalinga užtikrinti, kad neužbaigtos operacijos ir nekokybiški pusgaminiai nepatektų į gerų pusgaminių zoną. Pagrindinis šios užduoties tikslas sumažinti neatitiktųjų kiekį kalibravimo ir testavimo procese, kuris turi ilgiausią gamybos darbo ciklą, taip mažinant gamybos grandinės trikdžius, vengiant „butelio kakliuko“ efekto.

Siekama, kad įrenginys aptiktų 4 darbo būsenos režimus:

1. įdėtas tuščias padėklas – padėklo užfiksavimui inicijuoti;
2. į padėklą įdėtas korpusas be įdėklo – operatoriui atvaizduojamas aptiktas nekokybiškas gaminys;
3. į padėklą įdėtas korpusas su nepilnai įpresuotu įdėklu – operatoriui atvaizduojamas aptiktas nekokybiškas gaminys;
4. į padėklą įdėtas geras korpuso komplektas su tinkamai įpresuotu įdėklu.

Įdėklo pozicijai korpusė matuoti galimi būdai: kontaktinis ir nekontaktinis. Matuoti kontaktiniu būdu galima naudojantis cilindrais ar pavaromis, kurios turi gylio arba atstumo matavimo funkciją. Nekontaktinis būdas yra matuoti su optiniais padėties jutikliais. Įvertinus abu būdus, kontaktinis metodas netinka, nes tada bus reikalinga diegti papildomas priemones pusgaminiam padėkle užfiksuoti. Tai gali prailginti darbo procedūros ciklą, kuris turi būti ne ilgesnis nei nustatyto esamo proceso – 15 sekundžių. Todėl pasirenkamas nekontaktinis matavimo metodas, naudojant optinius jutiklius.

Siūlomo proceso patobulinimo struktūra pateikta 16 paveiksle.



16 pav. Tobulinamos korpusų komplektavimo darbo vietos struktūra

3.2. Įrenginio projektavimas

Poskyryje aprašomas projektuojamo įrenginio komponentų parinkimas, darbo stalo, reguliuojamų jutiklių laikiklių projektavimas, programuojamo loginio valdiklio programos algoritmas ir pateikiama bendra įrenginio struktūrinė schema.

Operacijoje atliekamo pusgaminio surinkimo kokybės įvertinimui keliamos matavimo sąlygos: reikalinga aptikti nekokybišką pusgaminį, kuriame nėra įdėklo arba jis įpresuotas ne iki galinės pozicijos. Todėl reikia parinkti tokį jutiklį kuris matuotų geresniu nei 1,5 mm tikslumu, nes atlikus kalibravimo ir testavimo proceso neatitikčių analizę, mažiausias neįpresuoto įdėklo atstumas iki įpresuotos padėties buvo apie 2.5 mm. Siekiama aptikti ir šias retas įdėklo presavimo metu susidariusias neatitiktis, kurios yra blogiausias matavimo scenarijus, kadangi dėl matavimo neapibrėžties gali tapti sunku atskirti ribinius gaminius nuo gerų. Taip pat matavimo neapibrėžties turi būti kuo mažesnė, nes pusgaminiai padėkle turi minimalų laisvumą.

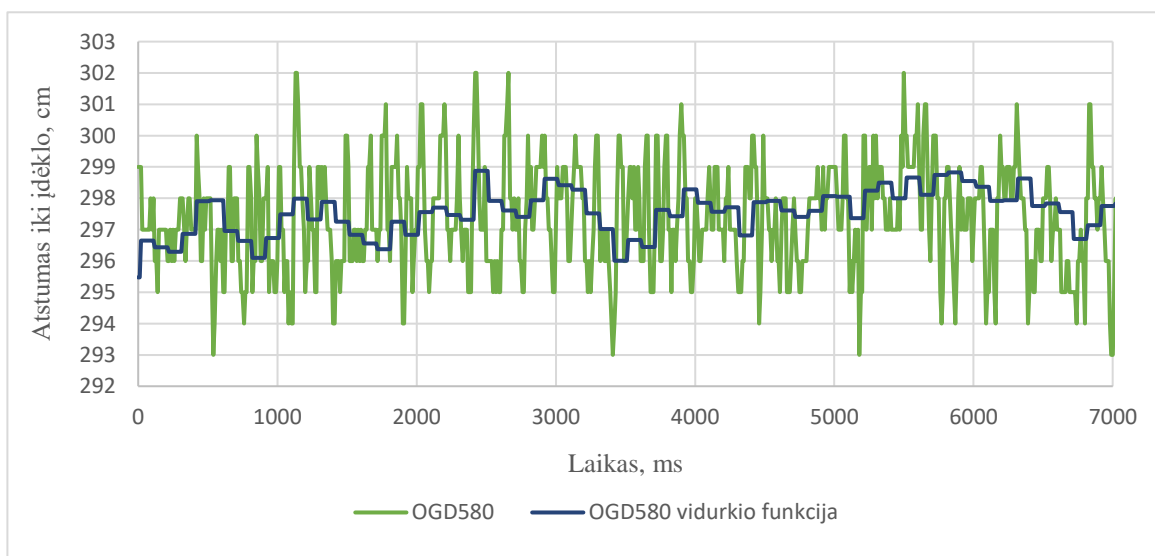
Tarp 2.3.2 skyrelyje aptartų rastų defektų, dažniausiai įdėklas buvo neįpresuotas apie 5-7 mm iki galinės padėties. Tai nurodo 4.3 tarpinės užduoties veiksmo praleidimo klaidą, kurios metu operatorius neįstatė korpuso su įdėklu į įrenginį. Buvo tik atlikta 4.2 tarpinė užduotis – įdėklo įstatymas į korpusą. Tokios klaidos pasireiškia operatoriaus nukrypimo nuo standartinės darbo

procedūros metu, kai darbuotojas prieš presavimo operaciją pasiruošia kelias detales ir dėl pertraukimo ar išsiblašymo pamiršta įdėti pasiruoštą korpusą su įdėklu į įrenginį, taip perkeldamas jį į gerų pusgaminų zoną arba sumaišo gerą pusgaminį su blogu. Visų įvardintų klaidos scenarijų prevencijai projektuojamas kokybės tikrinimo įrenginys.

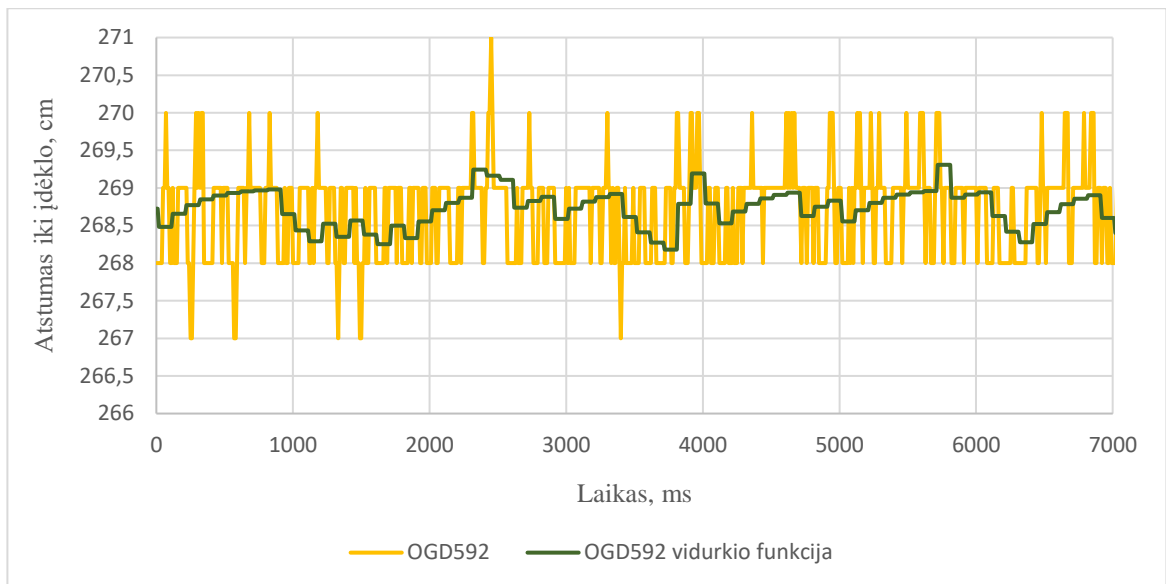
3.2.1. Įrenginio funkcinių komponentų parinkimas

Sudėtingiausia parinkti tinkamo tipo jutiklį, kuris tiksliai matuotų atstumą iki sferinio juodo objekto (įdėklo). Tamsūs objektai sunkiai atspindi šviesą, todėl būtina į sferinį objektą pataikyti tinkamu kampu, kad optinis jutiklio spindulys turėtų geriausią atspindį. Literatūroje nepavyksta rasti kokio jutikliai tokiai užduočiai atlikti yra tinkamiausi, todėl pagal techninius atstumo ir detalės parametrus buvo pasirinkti jutikliai ir atlikti jų bandymai bei palyginimas.

Atsižvelgiant į įmonėje naudojamo gaminių padėklo matmenis ir darbo vietą, kurioje gali būti išdėstyta 12 jutiklių, parenkami jutikliai kurie matuotų bent iki 30 cm atstumo. Minėtai matavimo funkcijai atlikti buvo išbandyti ir palyginti du fotoelektriniai jutikliai: „ifm OGD580“ 5 mm spindulio skersmens bei „ifm OGD592“ 3 mm spindulio skersmens. Jutikliai buvo nukreipti į sferinio įdėklo įpresuoto korpuse kampą, kuriame pirmojo bandymo metu buvo pasiektas geriausias jutiklių stabilumas. Į padėkle esančio korpuso įdėklą nukreiptų jutiklių matavimo duomenys palyginimui pateikti 17 ir 18 paveiksluose. Jutiklio duomenų diskretizavimo laikas yra kas 10 ms, o valdiklyje suprogramuotos sumavimo ir vidurkio skaičiavimo funkcijos (dalinai atitinkančios „lead-lag“ filtrą) diskretizavimo laikas yra 0,1 s.



17 pav. Įdėklo pozicijos korpuse matavimas „ifm OGD580“ fotoelektriniu jutikliu



18 pav. Įdėklo pozicijos korpuse matavimas „ifm OGD592” fotoelektriniu jutikliu

„OGD592“ bei „OGD580 jutikliai yra vienodos technologijos ir tikslumo klasės. „OGD580“ matuojamas atstumas yra nuo 0,025 iki 1,5 m, o „OGD592“ nuo 0,025 iki 0,3 m. Tačiau, matuojant atstumą iki sferinio objekto, tikslumą nulemia šviesos spindulio skersmuo. Kadangi „OGD580“ skersmuo yra 5 mm, jis atsispindi nuo didesnio sferinės formos įdėklo ploto, kuris yra ne vienoje plokštumoje, todėl šio jutiklio dispersija ir standartinis nuokrypis yra kur kas didesni.

Jutiklių palyginimui atlikus 100 s trukmės (10000 diskretizavimo verčių) matavimą, nukreipiant jutiklio spindulį į gero pusgaminio įdėklą vienodu kampu sudaryta 20 lentelė.

20 lentelė. Atstumo iki įdėklo matavimų tarp fotoelektrinių jutiklių palyginimas

Jutiklio pavadinimas / vidurkio funkcija	OGD580	OGD592	OGD580 vidurkio f-ja	OGD592 vidurkio f-ja
Dispersija	2,78444	0,36312	0,45680	0,05669
Standartinis nuokrypis	1,66866	0,60259	0,67587	0,2381

Įvertinus abiejų jutiklių matavimų dispersiją bei standartinį nuokrypį, buvo pasirinktas „ifm OGD592“ jutiklis. Šio jutiklio apribojimas yra maksimalus matuojamas atstumas, kuris gali būti kraštutinis norint atskirti tolimesnėje padėklo eilėje esančių gaminių būseną: tarp to ar gaminyje yra be įdėklo, ar jo padėkle iš viso nėra. Tai nėra esminis šio įrenginio kriterijus, bet norima aptikti ir tokią būseną dėl statistikos rinkimo. Atlikus eksperimentinius bandymus „OGD592“ jutiklis matuoja tolimesnį atstumą, nei nurodyta įtaiso specifikacijoje, fiziškai matuojama iki 0,323 m, tai padeda siekiant išvengti minėto apribojimo.

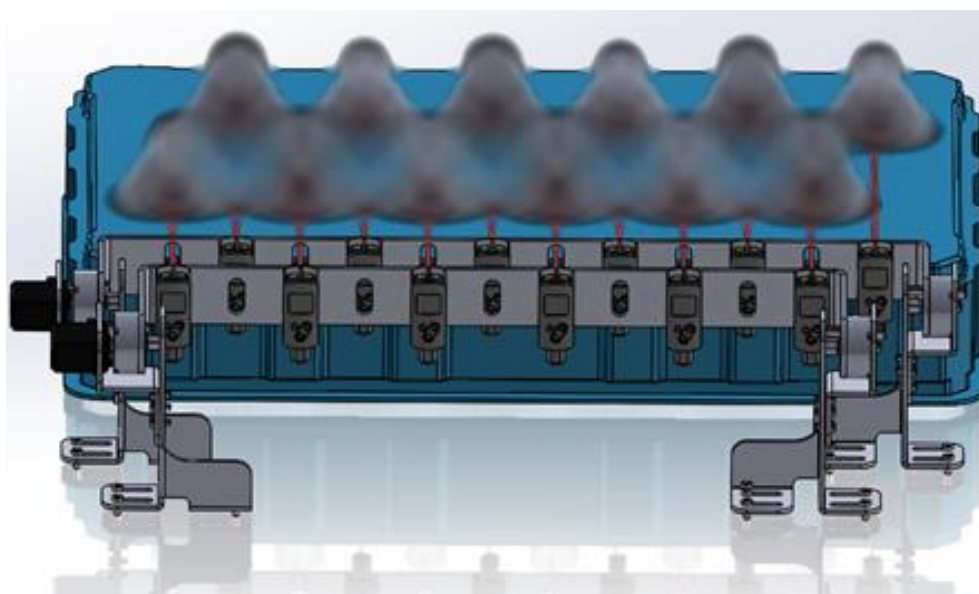
Naudojant programinį filtrą ar vidurkio funkciją galima turėti ženkliai stabilesnius matavimo duomenis. Jutiklių palyginimui buvo naudota vidurkio funkcija, kuri atnaujina vertę kas 0,1 s. Ilginant diskretizavimo trukmę matavimo duomenys gali būti dar stabilesni, tačiau mažėja matavimo greitaveika.

Pasirinkus jutiklio tipą įrenginio funkcionalumui užtikrinti buvo atliktas likusių automatikos komponentų parinkimas. Jutiklių duomenų perdavimui parinkti 2 valdantieji (angl. *master*)

komunikacijos įtaisai „IO-Link ifm AL1332“ su „EtherCAT“ sąsaja, kurie perduoda jutiklių duomenis pasirinktam „BeagleBone Black Industrial“ programuojamam loginiam valdikliui (PLV). Padėklo padėties aptikimui parinktas talpuminis jutiklis, o padėklo užfiksavimui pneumatinis cilindras, kurio valdymui parinktas „Festo“ elektromagnetinis vožtuvas. Įrenginio statuso atvaizdavimui bei valdymo sąsajai naudojamas planšetinis kompiuteris. Atitinkamai automatikos įrenginių maitinimui naudojamas 24 V nuolatinės įtampos šaltinis, o valdiklio maitinimui 5 V nuolatinės įtampos šaltinis.

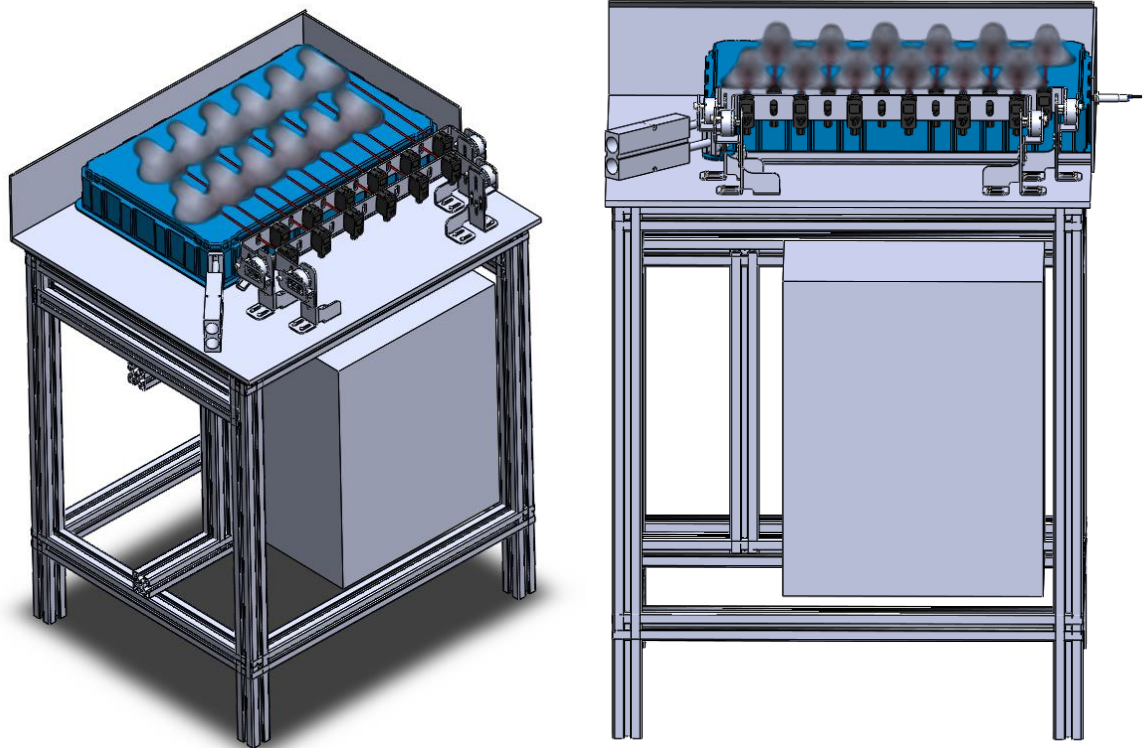
3.2.2. Mechaninių detalių projektavimas

Norint suprojektuoti preciziškai matuojantį įrenginį, parinkus jutiklius, reikalinga suprojektuoti tvirtus ir tikslus laikiklius. Jutiklių bandymo metu buvo nustatyta, kad matavimo tikslumas labai priklauso nuo spindulio kampo ir yra stabiliausias, kai jutiklio spinduliu pataikoma į korpuso ir įdėklo sudurtinę vietą. Laikikliai buvo projektuojami remiantis gamyboje naudojamo padėklo brėžiniu ir pusgaminių pozicionavimu juose. Jutikliams sutalpinti į ribotą atstumą bei turėti galimybę juos reguliuoti buvo nuspręsta projektuoti dvi laikiklių plokštes: priekinę ir galinę, taip kaip pusgaminiai išsidėstyti padėkle. Suprojektuoti jutiklių laikikliai leidžia reguliuoti jų padėtį X, Z ir sukimosi apie X ašį kryptimis, kai Y ašis yra nukreipta nuo jutiklių į padėklą. Suprojektuoti jutiklių laikikliai pateikiami 19 paveiksle. Projektavimas atliktas naudojantis „SolidWorks“ programine įranga.



19 pav. Suprojektuoti reguliuojami jutiklių laikikliai ir bendras matavimo eskizas

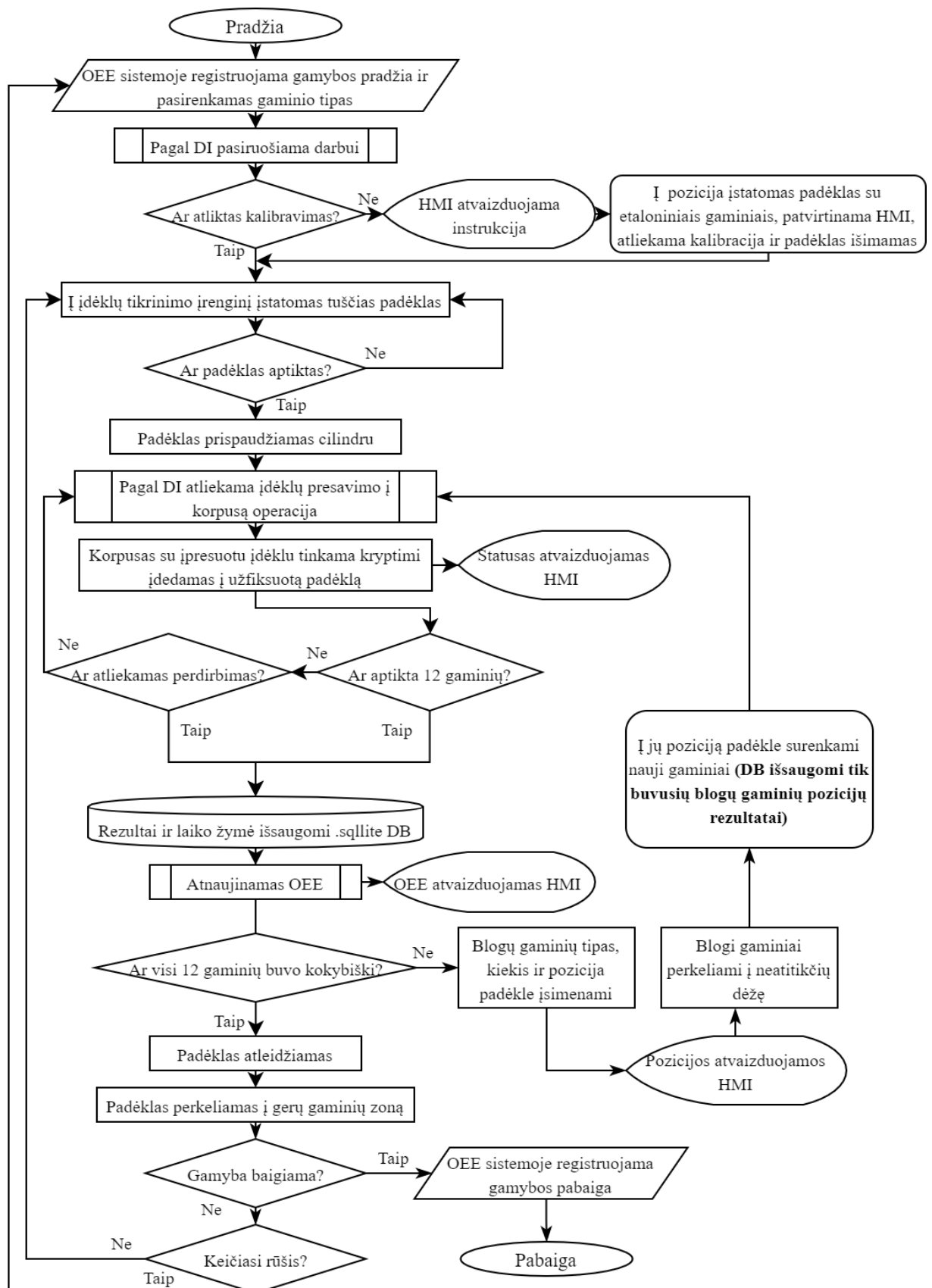
Vėliau buvo suprojektuotas įrenginio stalas, kurio išorės matmenys be stalviršio: ilgis 745 mm, plotis 645 mm, aukštis 850 mm. Projektavimui buvo pasirinkti 45 mm aliuminiai profiliai, stalviršiui planuojama naudoti „PVC-U“ 1 cm storio plokštę, taip pat 4 mm storio nerūdijančio plieno „AISI 304“ laikiklius padėklui nukreipti bei apsaugai nuo jutiklių spindulių patekimo į aplinką. Taip pat parinkta elektros spinta (aukštis 500 mm, plotis, 400 mm, gylis 250 mm). Bendras suprojektuoto kokybės tikrinimo įrenginio vaizdas pateikiamas 20 paveiksle.



20 pav. Suprojektuoto įrenginio bendras eskizas

3.2.3. Įrenginio programavimo algoritmas

Įrenginio programavimas atliekamas naudojantis struktūrizuoto teksto (ST) programavimo kalba „Codesys“ programinės įrangos aplinkoje. Įrenginys programuojamas taip, kad į poziciją įstačius tuščią padėklą, pneumatinis cilindras jį užfiksuotų ir neleistų operatoriams paimti padėklą, kuriame yra bent vienas nekokybiškas pusgaminis. Cilindras paleidžia padėklą tik išmatavus visų pusgaminių įdėklų pozicijas, kurių atstumas telpa į nustatytas kokybės ribas. Matavimo ribos yra nustatomos įrenginio kalibravimo metu, kai į įrenginį įstatomas padėklas su etaloniniais gaminiais. Kiekvienai atskirai pozicijai padėkle priskiriama išmatuota riba, kuri darbo metu geram gaminiui, dėl neapibrėžtumo ir korpuso laisvumo padėkle gali nukrypti maksimaliai ± 1 mm, kitu atveju priimama, kad gaminys yra nekokybiškas. Aptikus nekokybišką gaminį, įrenginys statistikos kaupimui priskiria neatitikties rūšį: „be įdėklo“ arba „netinkamai įpresuotas įdėklas“. Įrenginio bendrasis programos algoritmas pateikiamas 21 paveiksle.

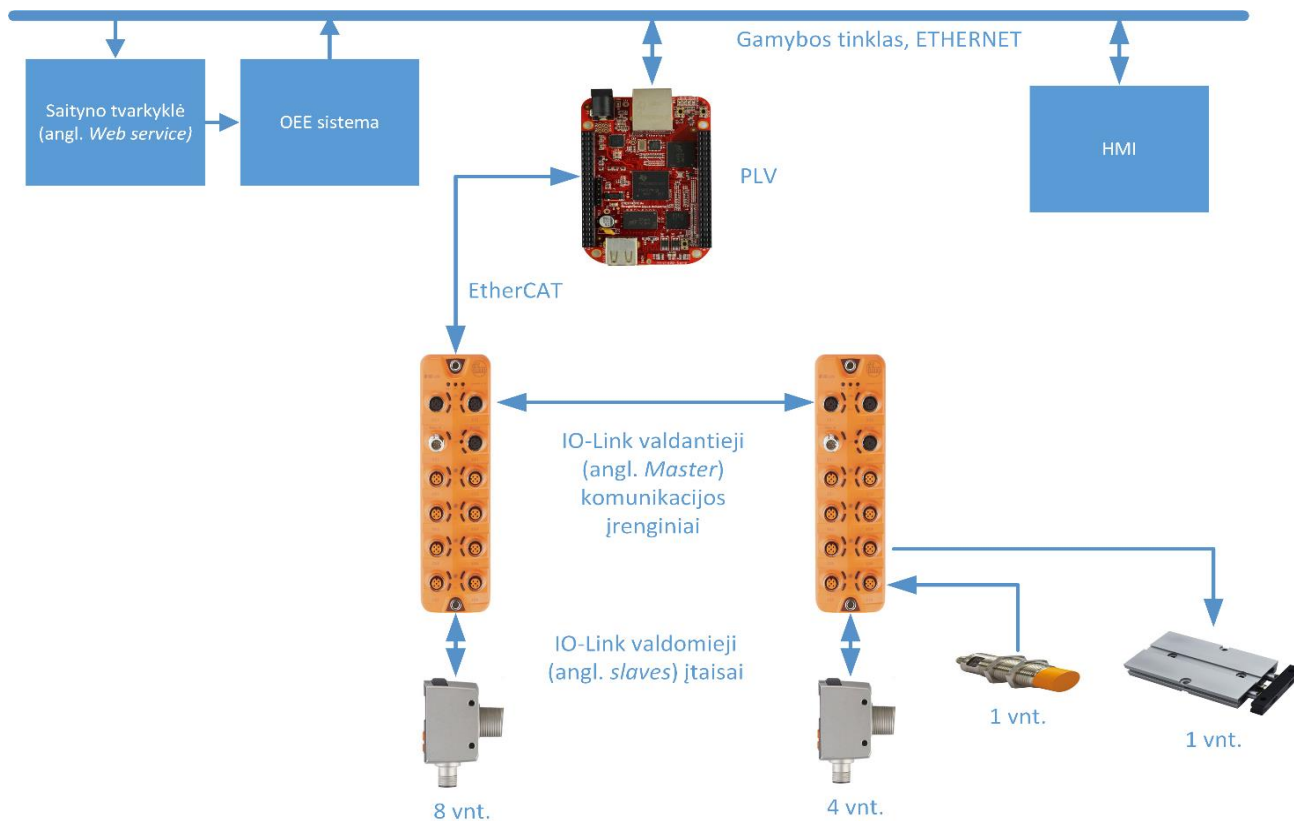


21 pav. Proceso tobulinimui siūlomo įrenginio algoritmas

Programuojama, kad valdiklis rinktų produkcijos pagamintų detalių ir neatitikčių kiekį su laiko žymėmis, kurios bus perduodamos į OEE sistemą, efektyvumo rodikliams skaičiuoti. Prieš tai visi gamybos duomenys saugomi duomenų bazėje, iš kurios saityno tvarkyklės (angl. *web service*)

pagalba perduodami į įmonėje naudojamą OEE sistemą „JSON“ duomenų paketo formatu. Viename pakete perduodama laiko žymė, gaminio tipas, gerų gaminių kiekis, blogų atitinkamos rūšies gaminių kiekis. HMI vizualizacija programuojama „Codesys“ aplinkoje ir atvaizduojama planšetinio kompiuterio ekrane.

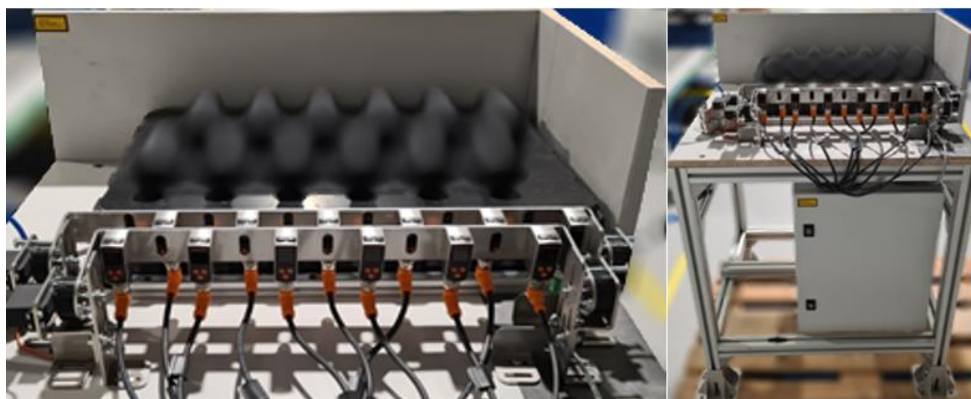
Bendra įrenginio komponentų ir komunikacijos hierarchija pateikiama 22 paveiksle.



22 pav. Įrenginio komponentų bei komunikacijos hierarchijos struktūra

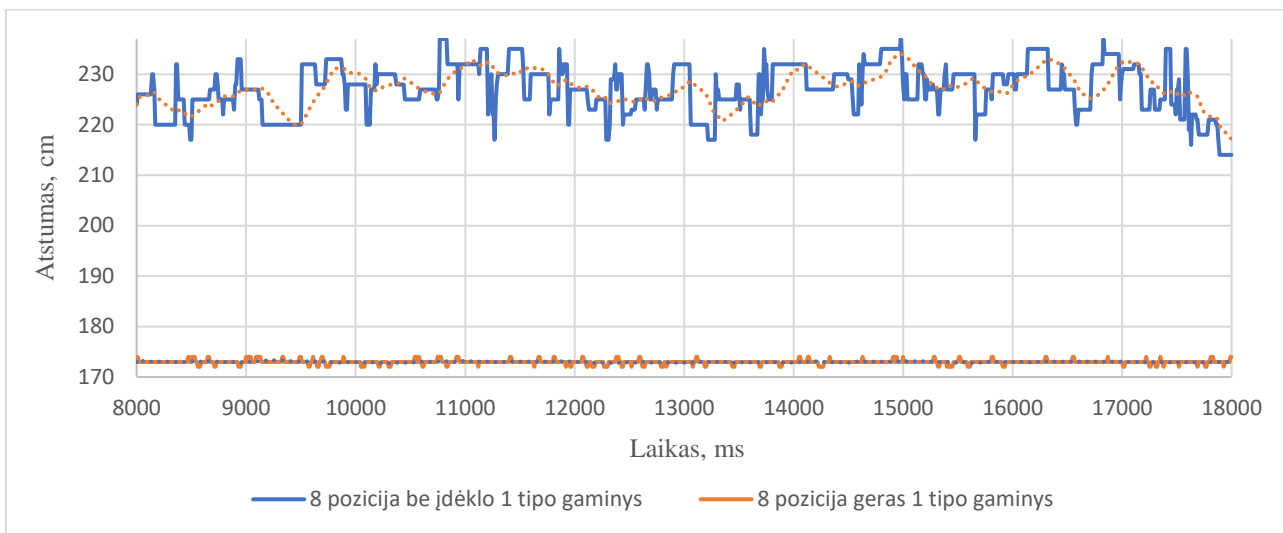
3.3. Įrenginio bandymai

Sukonstravus įrenginio prototipą ir atlikus pirminį kalibravimą buvo atliekami įrenginio funkcionalumo bandymai. Vertinama ar stendas geba aptikti ir atskirti gerus gaminius nuo blogų, pagal nurodytas technines sąlygas bei būsenas. Sukonstruoto įrenginio pirminė versija pateikiama 23 paveiksle.



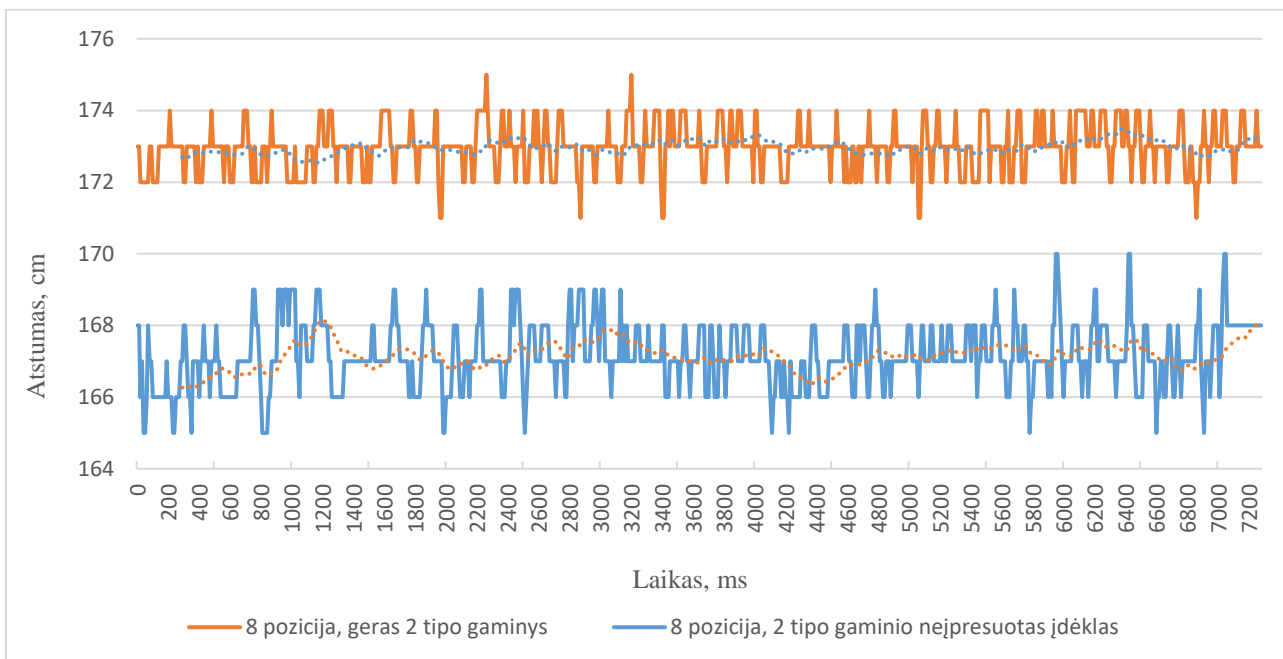
23 pav. Sukonstruoto įrenginio prototipo bendras vaizdas

Pirmiausia bandomas korpusų komplektavimo 4.2 tarpinės užduoties praleisto veiksmo atvejis, kai į korpusą neįdėtas įdėklas. Atliekamas tokios neatitikties aptikimas, lyginant jį su geru gaminiu. Rezultatai pateikiami neapdorotų jutiklio duomenų formatu, tam kad priklausomai nuo atsitiktinio gaminio įdėjimo į padėklą būtų galima stebėti jutiklio duomenų išsibarstymą. Didelis išsibarstymas matomas, kai korpuse nėra įdėklo. Jutiklio spindulys pataiko į korpusą ir blogai atsispindi, nes įrenginio jutikliai suderinti atitinkamu kampu matuoti įdėklo poziciją. 24 paveiksle jutikliams artimesnėje eilėje, 8 padėklo pozicijoje, pateikiamas gero ir be įdėklo pirmo tipo gaminių matavimo palyginimas.



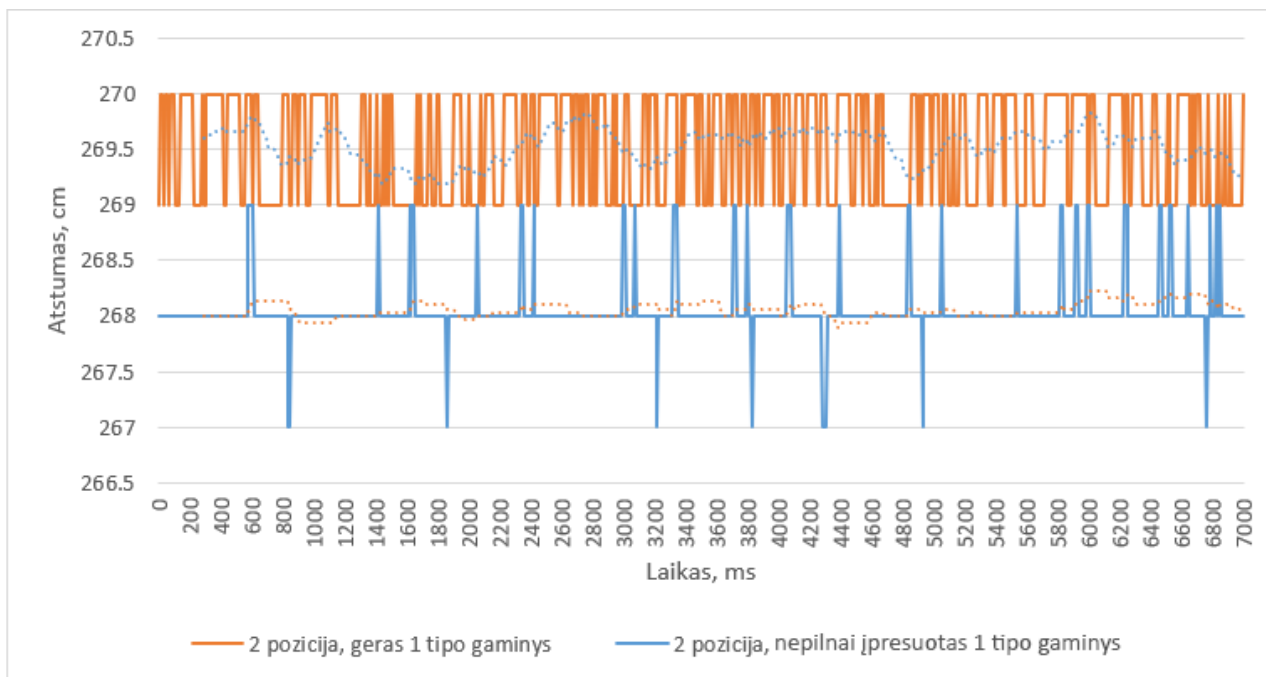
24 pav. Be įdėklo ir gero 1 tipo rūšies gaminio matavimo palyginimas stendo 8 pozicijoje

Po to atliekamas korpusų komplektavimo 4.3 tarpinės užduoties praleisto veiksmo (į presavimo įrenginį neįdėto paruošto gaminio) neatitikties aptikimas, lyginant jį su geru gaminiu. Bandomas nebaigtas blogas gaminy's, paruoštas 4.4 korpusų komplektavimo operacijai. Įdėklą reikalinga įpresuoti dar apie 7 mm. Palyginimo grafikas, naudojant 2 tipo rūšies gaminius pateiktas 25 paveiksle.



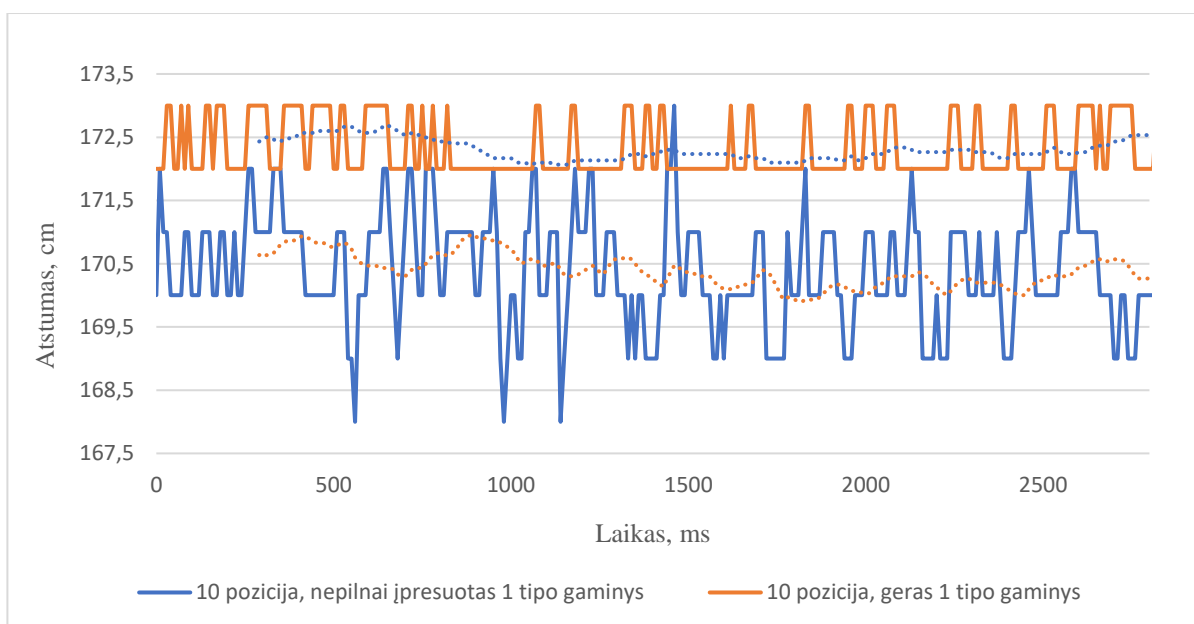
25 pav. Neįpresuoto ir gero 2 tipo rūšies gaminio matavimo palyginimas stendo 8 pozicijoje

Vėliau jautkliams tolimesnėje padėklo eilėje, 2 pozicijoje atliekamas nepilnai įpresuoto įdėklo matavimas. Blogas gaminys lyginamas su geru 1 tipo gaminiu. Tokio tipo neatitiktis gali susidaryti 4.5 tarpinės užduoties metu, kai operatorius įdeda korpusą su įdėklu į įrenginį. Įrenginys atlieka netinkamą presavimą, tada parodo blogo gaminio statusą, į kurį operatorius neatkreipia dėmesio ir padeda tokį gaminį į gerų gaminių padėklą. Toks gaminys yra kritinis matavimui, nes blogiausiu atveju, dėl atsitiktinio pasukimo kampo padėkle, blogas gaminys gali įtilpti į nustatytas gero gaminio atstumo ribas. Tačiau naudojant verčių filtrą įrenginys geba atskirti gera nuo blogo. Palyginimo grafikas naudojant 1 tipo rūšies gaminius pateiktas 26 paveiksle.



26 pav. Nepilnai įpresuoto ir gero 1 tipo rūšies gaminio matavimo palyginimas stendo 2 pozicijoje

Paskutinis bandymas pakartojamas kitoje pozicijoje su nepilnai įpresuotu gaminiu, matavimai pateikiami 27 paveiksle.



27 pav. Nepilnai įpresuoto ir gero 1 tipo rūšies gaminio matavimo palyginimas stendo 10 pozicijoje

Atlikus įvairių atvejų ir skirtingų gaminių bandymus (iš viso apie 30 bandymų su 5 rūšių gaminiais) galima teigti, kad gauti rezultatai tenkina išskeltas įrenginio technines sąlygas. Įdiegus tokį įrenginį į serijinį procesą galima sustabdyti identifikuotų neatitikčių susidariusių dėl žmogiškųjų klaidų perdavimą kitiems gamybos procesams. Taip pat informuoti darbuotoją apie atliekamos operacijos statusą ir suteikti jam grįžtamąjį ryšį apie jo darbo pamainos rezultatus, sekant OEE rodiklį. Įdiegus šio proceso statistikos skaičiavimą kiekybinis klaidų įvykių įvertinimas gali būti gerokai greitesnis ir sklandesnis. Taigi įgyvendinus ir įdiegus techninį pasiūlymą gali būti eliminuoti įgūdžiais grįstoje veikloje pasireiškiantys veiksmo praleidimai ir veiksmo sekos užmiršimai.

Įdiegus tokį įrenginį į serijinę gamybą žmogiškųjų klaidų analizė turi būti tęsiama, siekiant įvertinti proceso pokytį ir stebėti ar žmogiškosios klaidos pašalinimas nesudaro naujų techninių, metodinių problemų. Taip pat analizuoti ar neatsiranda nauji klaidoms įtaką darantys veiksniai.

Išvados ir rezultatai

1. Buvo apžvelgti žmogiškųjų klaidų tipai bei išnagrinėti jų identifikavimo metodai taikomi analizavimui gamybos procesuose. Klaidų identifikavimui pritaikytas pirmos kartos SHERPA metodas, kiekybinei klaidos tikimybės analizei: HEART ir SPAR-H pirmos kartos metodai. Dinaminiam klaidos tikimybės skaičiavimui – trečios kartos SHERPA* metodas.
2. Išnagrinėjus gamybos procesus, remiantis OEE duomenimis, buvo nustatytas bendrą gamybos našumą mažinantis procesas, kurio detali analizė nurodė kitą korpusų komplektavimo gamybos etapą, kuriame žmogiškosios klaidos yra tiesiogiai nepastebimos ir sukuriančios gamybos našumo apribojimą dėl neatitikčių.
3. Atlikus gamybos proceso analizę nustatyti klaidos atsiradimui įtaką darantys veiksniai: prasta ergonomika, darbuotojo pertraukimai, neatvaizduojami veiklos rezultatai, kurie turi įtakos veiksmo ir tikrinimo praleidimo klaidoms. Apskaičiuotos korpusų komplektavimo operacijos galimos klaidos tikimybės, remiantis HEART – 1,72 %, o SPAR-H – 1,5 %. SHERPA* metodu apskaičiuota surinkimo proceso teorinė žmogiškosios klaidos tikimybė nurodo, kad po įdirbio trukmės einant darbo laikui ji didėja nuo 0,2 % iki 2,42 % dėl nuovargio ir į užduotį sutelkto dėmesio mažėjimo.
4. Palyginus teorines ir praktines klaidos tikimybes korpusų komplektavimo procese nustatyta, kad apskaičiuotos teorinės tikimybės HEART metodu yra 1,35 %, o SPAR-H metodu yra 0,986 % didesnės nei gautoje gamybos statistikoje. Galimos skirtumų priežastys: neteisingai parinkti įtaką klaidoms darantys veiksniai ir jų koeficientai bei tyrimo metu darbuotojų informavimas apie žmogiškųjų klaidų problemą procese. SHERPA* metodu apskaičiuavus dinaminę teorinę klaidos tikimybę ir palyginus su gamybos duomenimis, galime teigti, kad šis metodas tinkamas vertinti darbuotojo nuovargio ir dėmesio sutelkimo į darbą įtaką žmogiškosioms klaidoms.
5. Korpusų komplektavimo procese įvykstančių žmogiškųjų klaidų mažinimui pasiūlytas kokybės patikros įrenginys, užtikrinantis, kad darbuotojas neturėtų galimybės praleisti darbo operacijų. Atlikti įrenginio bandymai patvirtino, kad naudojantis juo galima aptikti visus minėtus nekokybiškus gaminius tarp įvairių gaminio rūšių ir taip sumažinti visų produkto neatitikčių kiekį 0,21 %.

Literatūros sąrašas

1. KIRWAN, B. *A Guide To Practical Human Reliability Assessment*. . [s.l.]: CRC Press, 1994. 610 p. ISBN 978-0-7484-0052-2
2. DEMOTT, D.L. Tailoring a human reliability analysis to industry needs. *2016 Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)* [interaktyvus]. 2016. p. 1–4. Prieiga per internetą: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7448030>
3. NATIONAL OFFSHORE PETROLEUM SAFETY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT AUTHORITY Human error » NOPSEMA. [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-06-05]. Prieiga per internetą: <https://www.nopsema.gov.au/resources/human-factors/human-error/?fbclid=IwAR29aguOwkwntV8PN2qgAme8IBKDai9TTt8JnUyvnuKrcVx4bKUJadmJwco>
4. RASMUSSEN, J. Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* . 1983. Vol. SMC-13, no. 3, p. 257–266.
5. REASON, J. *Human Error*. . [s.l.]: Cambridge University Press, 1990. 324 p. ISBN 978-0-521-31419-0
6. EMBREY, D. Human Error Understanding Human Behaviour and Error. *Hum. Reliab. Associates* . 2005. Vol. 1.
7. HP REPOSITORY Generic Error Modelling System (GEMS). [interaktyvus]. 2012. [žiūrėta 2020-06-05]. Prieiga per internetą: <https://ext.eurocontrol.int/ehp/?q=node/1593>
8. SWAIN, A.D. - GUTTMANN, H.E. *Handbook of human-reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications Final report* [interaktyvus]. United States, 1983. p. 699. [žiūrėta 2020-11-15]. Prieiga per internetą: <http://www.osti.gov/servlets/purl/5752058/>
9. DEKKER, S. *The Field Guide to Understanding Human Error*. . [s.l.]: Ashgate Publishing, Ltd., 2006. 268 p. ISBN 978-0-7546-4826-0
10. DEKKER, S. ir kt. Six stages to the new view of human error. *Safety Science Monitor* . 2007. Vol. 11.
11. RAUSAND, M. *Risk Assessment: Theory, Methods, and Applications*. . [s.l.]: John Wiley & Sons, 2013. 587 p. ISBN 978-1-118-28110-9
12. KIRWAN, B. Human error identification in human reliability assessment. Part 1: Overview of approaches. *Applied Ergonomics* [interaktyvus]. 1992. Vol. 23, no. 5, p. 299–318. [žiūrėta 2021-04-26]. . Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0003687092902924>
13. BORING, R.L. - BLACKMAN, H.S. The origins of the SPAR-H method's performance shaping factor multipliers. *2007 IEEE 8th Human Factors and Power Plants and HPRCT 13th Annual Meeting* [interaktyvus]. 2007. p. 177–184. Prieiga per internetą: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4413202>
14. BORING, R.L. ir kt. The Measure of human error: Direct and indirect performance shaping factors. *2007 IEEE 8th Human Factors and Power Plants and HPRCT 13th Annual Meeting* . 2007. p. 170–176.
15. BOJE, H. Human Error Probabilities (HEPs) for generic tasks and Performance Shaping Factors (PSFs) selected for railway operations. [interaktyvus]. 2016. p. 43. Prieiga per internetą: https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/10626190/Report_on_HRA_for_Banedanmark_v_2_02_Final_Issue.pdf

16. DE FELICE, F. - PETRILLO, A. An Overview on Human Error Analysis and Reliability Assessment. *Human Factors and Reliability Engineering for Safety and Security in Critical Infrastructures* [interaktyvus]. Cham: Springer International Publishing, 2018. p. 19–41. [žiūrėta 2021-04-26]. ISBN 978-3-319-62319-1 Prieiga per internetą: https://doi.org/10.1007/978-3-319-62319-1_2
17. BELL, J. - HOLROYD, J. *Review of human reliability assessment methods* [interaktyvus]. [s.l.]: Health and Safety Laboratory, 2009. [žiūrėta 2021-04-16]. Prieiga per internetą: <https://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr679.pdf>
18. GRIFFITH, C.D. - MAHADEVAN, S. Inclusion of fatigue effects in human reliability analysis. *Reliability Engineering & System Safety* [interaktyvus]. 2011. Vol. 96, no. 11, p. 1437–1447. [žiūrėta 2021-05-05]. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832011001244>
19. DE AMBROGGI, M. - TRUCCO, P. Modelling and assessment of dependent performance shaping factors through Analytic Network Process. *Reliability Engineering & System Safety* [interaktyvus]. 2011. Vol. 96, no. 7, p. 849–860. [žiūrėta 2021-05-05]. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832011000329>
20. DINDAR, S. ir kt. Bayesian network-based human error reliability assessment of derailments. *Reliability Engineering & System Safety* [interaktyvus]. 2020. Vol. 197, p. 106825. [žiūrėta 2021-04-25]. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832019308233>
21. GHASEMI, M. ir kt. Application of SHERPA to Identify and Prevent Human Errors in Control Units of Petrochemical Industry. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* . 2013. Vol. 19, p. 203–209.
22. BLIGÅRD, L.-O. - OSVALDER, A.-L. Predictive use error analysis – Development of AEA, SHERPA and PHEA to better predict, identify and present use errors. *International Journal of Industrial Ergonomics* [interaktyvus]. 2014. Vol. 44, no. 1, p. 153–170. [žiūrėta 2021-04-27]. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169814113001364>
23. WILLIAMS, J.C. Heart—A Proposed Method for Achieving High Reliability in Process Operation by Means of Human Factors Engineering Technology. *Safety and Reliability* [interaktyvus]. 2015. Vol. 35, no. 3, p. 5–25. [žiūrėta 2021-05-05]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1080/09617353.2015.11691046>
24. WILLIAMS, J.C. A data-based method for assessing and reducing human error to improve operational performance. *Conference Record for 1988 IEEE Fourth Conference on Human Factors and Power Plants*, . 1988. p. 436–450.
25. WILLIAMS, J. - BELL, J. Consolidation of the Error Producing Conditions Used in the Human Error Assessment and Reduction Technique (Heart): *Safety and Reliability* . 2015. Vol. 35, p. 26–76.
26. SALMON, P. ir kt. Human Error and Road Transport: Phase One. *A framework for an error tolerant road transport system* [interaktyvus]. 2005. [žiūrėta 2021-04-06]. Prieiga per internetą: https://www.monash.edu/__data/assets/pdf_file/0010/216946/Human-Error-and-Road-Transport-Phase-One-A-framework-for-an-error-tolerant-road-transport-system.pdf
27. GERTMAN, D.I. ir kt. The SPAR-H Human Reliability Analysis Method (NUREG/CR-6883, INL/EXT-05-00509). *NRC Web* [interaktyvus]. 2005. [žiūrėta 2021-05-06]. Prieiga per internetą: <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/contract/cr6883/index.html>

28. DI PASQUALE, V. ir kt. A Simulator for Human Error Probability Analysis (SHERPA). *Reliability Engineering & System Safety* [interaktyvus]. 2015. Vol. 139, p. 17–32. [žiūrėta 2021-04-26]. . Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832015000484>
29. GALYEAN, W. ir kt. SPAR-H Step-by-Step Guidance. *Idaho National Laboratory Risk, Reliability, and NRC Programs Department* [interaktyvus]. 2011. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/241972082_SPAR-H_Step-by-Step_Guidance
30. MURCHISON, N. - GILMORE, W.E. [interaktyvus]. .[s.l.]: Sandia National Lab. (SNL-NM), Albuquerque, NM (United States), 2018. [žiūrėta 2021-04-26]. Prieiga per internetą: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1515627>
31. HOLLNAGEL, E. *Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM)*. . [s.l.]: Elsevier, 1998. 303 p. ISBN 978-0-08-052929-5
32. WANG, W. - ZHAO, T. *The Application of the Root Causes of Human Error Analysis Method Based on HAZOP Analysis in Using Process of Weapon*. . 2009.
33. KIM, I.S. Human reliability analysis in the man–machine interface design review. *Annals of Nuclear Energy* . 2001. Vol. 28, p. 1069–1081.
34. ZHU, X. Analysis and improvement of enterprise’s equipment effectiveness based on OEE. *2011 International Conference on Electronics, Communications and Control (ICECC)* . 2011. p. 4167–4171.
35. SUKMA, D. ir kt. A Systematic Literature Review of Overall Equipment Effectiveness Implementation in Asia. *INAQUE Journal of Industrial & Quality Engineering* . 2021. Vol. 9, p. 109–117.
36. LORENZO, D.K. Practical applications of human reliability analyses. *1989 IEEE Global Telecommunications Conference and Exhibition „Communications Technology for the 1990s and Beyond“* . 1989. p. 778–782 t.2.
37. STANTON, N. Hierarchical task analysis: Developments, applications, and extensions. *Applied ergonomics* . 2006. Vol. 37, p. 55–79.
38. DI PASQUALE, V. ir kt. Methodology for the analysis and quantification of human error probability in manufacturing systems. *2016 IEEE Student Conference on Research and Development (SCOREd)* [interaktyvus]. 2016. p. 1–5. Prieiga per internetą: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7810093>

Priedai

1 priedas. HEART metodo EPCs, atnaujinti remiantis naujausiais 2015 duomenimis [25]

No.	Error-producing condition	Maximum predicted nominal amount
1.	Unfamiliarity with a situation which is potentially important but which only occurs infrequently or which is novel	×17
2.	A shortage of time available for error detection and correction	×11
3.	A low signal-to-noise ratio	×10
4.	A means of suppressing or overriding information or features which is too easily accessible	×9
5.	No means of conveying spatial and functional information to operators in a form which they can readily assimilate	×8
6.	A mismatch between an operator's model of the world and that imagined by the designer (also known as Model Mismatch)	×8
7.	No obvious means of reversing an unintended action (also known as irreversibility)	×8
8.	A channel capacity overload, particularly one caused by simultaneous presentation of non-redundant information (also known as channel overload)	×6
9.	A need to unlearn a technique and apply one which requires the application of an opposing philosophy (also known as technique unlearning)	×6
10.	The need to transfer specific knowledge from task to task without loss (also known as knowledge transfer)	×5,5
11.	Ambiguity in the required performance standards	×5
12.	A mismatch between perceived and real risk	×4
13.	Poor, ambiguous, or ill-matched system feedback	×4
14.	No clear direct and timely confirmation of an intended action from the portion of the system over which control is to be exerted	×3
15.	Operator inexperienced (e.g., a newly qualified tradesman, but not an "expert")	×3
16.	An impoverished quality of information conveyed by procedures and person-person interaction	×3
17.	Little or no independent checking or testing of output	×3
18.	A conflict between immediate and long-term objectives	×2,5
19.	No diversity of information input for veracity checks	×2,5
20.	A mismatch between the educational achievement level of an individual and the requirements of the task	×2
21.	An incentive to use other more dangerous procedures	×2
22.	Little opportunity to exercise mind and body outside the immediate confines of a job	×1,8
23.	Unreliable instrumentation (enough that it is noticed)	×1,6
24.	A need for absolute judgements which are beyond the capabilities or experience of an operator	×1,6
25.	Unclear allocation of function and responsibility	×1,6
26.	No obvious way to keep track of progress during an activity	×1,4
27.	A danger that finite physical abilities will be exceeded	×1,4
28.	Little or no intrinsic meaning in a task	×1,4
29.	High-level emotional stress	×1,3 (revised ×2)
30.	Evidence of ill-health amongst operatives, especially fever	×1,2
31.	Low workforce morale	×1,2
32.	Inconsistency of meaning of displays and procedures	×1,2 (revised ×3)
33.	A poor or hostile environment (below 75% of health or life-threatening severity)	×1,15 (revised ×2)
34.	Prolonged inactivity or highly repetitions cycling of low mental workload tasks	×1,1 for first half-hour ×1,05 for each hour thereafter
35.	Disruption of normal work-sleep cycles	×1,1 (revised ×1,2 per 24hrs sleep lost)
36.	Task pacing caused by the intervention of others	×1,06
37.	Additional team members over and above those necessary to perform task normally and satisfactorily	×1,03 per additional person (revised ×1,2)
38.	Age of personnel performing perceptual tasks	×1,02 (revised ×1,16 for every 10 years for ages 25 to 85 years)
39.	Distraction, task interruption (new)	×4
40.	Time of-Day (new)	×2,4

2 priedas. NRC SPAR-H analizės darbalapiai diagnostikos ir veiksmo atlikimo veiklai [27]

HRA Worksheets for At-Power SPAR HUMAN ERROR WORKSHEET

Plant: _____ Initiating Event: _____ Basic Event : _____ Event Coder: _____

Basic Event Context: _____

Basic Event Description: _____

Does this task contain a significant amount of diagnosis activity? YES (start with Part I–Diagnosis) NO (skip Part I – Diagnosis; start with Part II – Action) Why? _____

PART I. EVALUATE EACH PSF FOR DIAGNOSIS

A. Evaluate PSFs for the Diagnosis Portion of the Task, If Any.

PSFs	PSF Levels	Multiplier for Diagnosis	Please note specific reasons for PSF level selection in this column.
Available Time	Inadequate time	P(failure) = 1.0 <input type="checkbox"/>	
	Barely adequate time ($\approx 2/3$ x nominal)	10 <input type="checkbox"/>	
	Nominal time	1 <input type="checkbox"/>	
	Extra time (between 1 and 2 x nominal and > than 30 min)	0.1 <input type="checkbox"/>	
	Expansive time (> 2 x nominal and > 30 min)	0.01 <input type="checkbox"/>	
	Insufficient information	1 <input type="checkbox"/>	
Stress/ Stressors	Extreme	5 <input type="checkbox"/>	
	High	2 <input type="checkbox"/>	
	Nominal	1 <input type="checkbox"/>	
	Insufficient Information	1 <input type="checkbox"/>	
Complexity	Highly complex	5 <input type="checkbox"/>	
	Moderately complex	2 <input type="checkbox"/>	
	Nominal	1 <input type="checkbox"/>	
	Obvious diagnosis	0.1 <input type="checkbox"/>	
	Insufficient Information	1 <input type="checkbox"/>	
Experience/ Training	Low	10 <input type="checkbox"/>	
	Nominal	1 <input type="checkbox"/>	
	High	0.5 <input type="checkbox"/>	
	Insufficient Information	1 <input type="checkbox"/>	
Procedures	Not available	50 <input type="checkbox"/>	
	Incomplete	20 <input type="checkbox"/>	
	Available, but poor	5 <input type="checkbox"/>	
	Nominal	1 <input type="checkbox"/>	
	Diagnostic/symptom oriented	0.5 <input type="checkbox"/>	
	Insufficient Information	1 <input type="checkbox"/>	
Ergonomics/ HMI	Missing/Misleading	50 <input type="checkbox"/>	
	Poor	10 <input type="checkbox"/>	
	Nominal	1 <input type="checkbox"/>	
	Good	0.5 <input type="checkbox"/>	
	Insufficient Information	1 <input type="checkbox"/>	
Fitness for Duty	Unfit	P(failure) = 1.0 <input type="checkbox"/>	
	Degraded Fitness	5 <input type="checkbox"/>	
	Nominal	1 <input type="checkbox"/>	
	Insufficient Information	1 <input type="checkbox"/>	
Work Processes	Poor	2 <input type="checkbox"/>	
	Nominal	1 <input type="checkbox"/>	
	Good	0.8 <input type="checkbox"/>	
	Insufficient Information	1 <input type="checkbox"/>	

Rev 1 (1/20/04)

Reviewer: _____

Plant: _____ Initiating Event: _____ Basic Event : _____ Event Coder: _____

Basic Event Context: _____

Basic Event Description: _____

B. Calculate the Diagnosis Failure Probability.

(1) If all PSF ratings are nominal, then the Diagnosis Failure Probability = 1.0E-2

(2) Otherwise, the Diagnosis Failure Probability is: 1.0E-2 x Time x Stress or Stressors x Complexity x Experience or Training x Procedures x Ergonomics or HMI x Fitness for Duty x Processes

Diagnosis: 1.0E-2x _____ x _____ x _____ x _____ x _____ x _____ x _____ x _____ =

C. Calculate the Adjustment Factor IF Negative Multiple (≥3) PSFs are Present.

When 3 or more negative PSF influences are present, in lieu of the equation above, you must compute a composite PSF score used in conjunction with the adjustment factor. Negative PSFs are present anytime a multiplier greater than 1 is selected. The Nominal HEP (NHEP) is 1.0E-2 for Diagnosis. The composite PSF score is computed by multiplying all the assigned PSF values. Then the adjustment factor below is applied to compute the HEP:

$$HEP = \frac{NHEP \cdot PSF_{composite}}{NHEP \cdot (PSF_{composite} - 1) + 1}$$

Diagnosis HEP with Adjustment Factor =

D. Record Final Diagnosis HEP.

If no adjustment factor was applied, record the value from Part B as your final diagnosis HEP. If an adjustment factor was applied, record the value from Part C.

Final Diagnosis HEP =

Plant: _____ Initiating Event: _____ Basic Event : _____ Event Coder: _____

Basic Event Context: _____

Basic Event Description: _____

Part II. EVALUATE EACH PSF FOR ACTION

A. Evaluate PSFs for the Action Portion of the Task, If Any.

PSFs	PSF Levels	Multiplier for Action	Please note specific reasons for PSF level selection in this column.
Available Time	Inadequate time	P(failure) = 1.0	<input type="checkbox"/>
	Time available is \approx the time required	10	<input type="checkbox"/>
	Nominal time	1	<input type="checkbox"/>
	Time available \geq 5x the time required	0.1	<input type="checkbox"/>
	Time available is \geq 50x the time required	0.01	<input type="checkbox"/>
	Insufficient Information	1	<input type="checkbox"/>
Stress/Stressors	Extreme	5	<input type="checkbox"/>
	High	2	<input type="checkbox"/>
	Nominal	1	<input type="checkbox"/>
	Insufficient Information	1	<input type="checkbox"/>
Complexity	Highly complex	5	<input type="checkbox"/>
	Moderately complex	2	<input type="checkbox"/>
	Nominal	1	<input type="checkbox"/>
	Insufficient Information	1	<input type="checkbox"/>
Experience/Training	Low	3	<input type="checkbox"/>
	Nominal	1	<input type="checkbox"/>
	High	0.5	<input type="checkbox"/>
	Insufficient Information	1	<input type="checkbox"/>
Procedures	Not available	50	<input type="checkbox"/>
	Incomplete	20	<input type="checkbox"/>
	Available, but poor	5	<input type="checkbox"/>
	Nominal	1	<input type="checkbox"/>
	Insufficient Information	1	<input type="checkbox"/>
Ergonomics/HMI	Missing/Misleading	50	<input type="checkbox"/>
	Poor	10	<input type="checkbox"/>
	Nominal	1	<input type="checkbox"/>
	Good	0.5	<input type="checkbox"/>
	Insufficient Information	1	<input type="checkbox"/>
Fitness for Duty	Unfit	P(failure) = 1.0	<input type="checkbox"/>
	Degraded Fitness	5	<input type="checkbox"/>
	Nominal	1	<input type="checkbox"/>
	Insufficient Information	1	<input type="checkbox"/>
Work Processes	Poor	5	<input type="checkbox"/>
	Nominal	1	<input type="checkbox"/>
	Good	0.5	<input type="checkbox"/>
	Insufficient Information	1	<input type="checkbox"/>

Plant: _____ Initiating Event: _____ Basic Event : _____ Event Coder: _____

Basic Event Context: _____

Basic Event Description: _____

B. Calculate the Action Failure Probability.

(1) If all PSF ratings are nominal, then the Action Failure Probability = 1.0E-3

(2) Otherwise, the Action Failure Probability is: 1.0E-3 x Time x Stress or Stressors x Complexity x Experience or Training x Procedures x Ergonomics or HMI x Fitness for Duty x Processes

Action: 1.0E-3x _____ x _____ x _____ x _____ x _____ x _____ x _____ x _____ =

C. Calculate the Adjustment Factor IF Negative Multiple (≥3) PSFs are Present.

When 3 or more negative PSF influences are present, in lieu of the equation above, you must compute a composite PSF score used in conjunction with the adjustment factor. Negative PSFs are present anytime a multiplier greater than 1 is selected. The Nominal HEP (NHEP) is 1.0E-3 for Action. The composite PSF score is computed by multiplying all the assigned PSF values. Then the adjustment factor below is applied to compute the HEP:

$$HEP = \frac{NHEP \cdot PSF_{composite}}{NHEP \cdot (PSF_{composite} - 1) + 1}$$

Action HEP with Adjustment Factor =

D. Record Final Action HEP.

If no adjustment factor was applied, record the value from Part B as your final action HEP. If an adjustment factor was applied, record the value from Part C.

Final Action HEP =

Plant: _____ Initiating Event: _____ Basic Event : _____ Event Coder: _____

Basic Event Context: _____

Basic Event Description: _____

PART III. CALCULATE TASK FAILURE PROBABILITY WITHOUT FORMAL DEPENDENCE ($P_{w/od}$)

Calculate the Task Failure Probability Without Formal Dependence ($P_{w/od}$) by adding the Diagnosis Failure Probability from Part I and the Action Failure Probability from Part II. In instances where an action is required without a diagnosis and there is no dependency, then this step is omitted.

$$P_{w/od} = \text{Diagnosis HEP} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad + \quad \text{Action HEP} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad = \quad \boxed{\hspace{2cm}}$$

Part IV. DEPENDENCY

For all tasks, except the first task in the sequence, use the table and formulae below to calculate the Task Failure Probability With Formal Dependence ($P_{w/d}$).

If there is a reason why failure on previous tasks should not be considered, such as it is impossible to take the current action unless the previous action has been properly performed, explain here: _____

Dependency Condition Table

Condition Number	Crew (same or different)	Time (close in time or not close in time)	Location (same or different)	Cues (additional or no additional)	Dependency	Number of Human Action Failures Rule <input type="checkbox"/> - Not Applicable. Why? _____		
1	s	c	s	na	complete	When considering recovery in a series e.g., 2 nd , 3 rd , or 4 th checker If this error is the 3rd error in the sequence , then the dependency is at least moderate . If this error is the 4th error in the sequence , then the dependency is at least high .		
a				complete				
3			d	na	high			
a				high				
5	nc	s	s	na	high			
a				moderate				
7			d	na	moderate			
a				low				
9			d	c	s		na	moderate
a							moderate	
11					d		na	moderate
a							moderate	
13	nc	s			s		na	low
a							low	
15			d	na	low			
a				low				
17					zero			

Using $P_{w/od}$ = Probability of Task Failure Without Formal Dependence (calculated in Part III):

- For Complete Dependence the probability of failure is 1.
- For High Dependence the probability of failure is $(1 + P_{w/od})/2$
- For Moderate Dependence the probability of failure is $(1 + 6 \times P_{w/od})/7$
- For Low Dependence the probability of failure is $(1 + 19 \times P_{w/od})/20$
- For Zero Dependence the probability of failure is $P_{w/od}$

Calculate $P_{w/d}$ using the appropriate values:

$$P_{w/d} = (1 + (\underline{\hspace{1cm}} * \underline{\hspace{1cm}})) / \underline{\hspace{1cm}} = \boxed{\hspace{2cm}}$$

Reviewer: _____