

Jan MAGOTT¹, Irena WIKIERA-MAGOTT²

¹ Wrocław University of Science and Technology (Politechnika Wrocławska)

² Wrocław Medical University (Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu)

PATIENT SAFETY ANALYSIS IN GENERAL PRACTITIONER'S WORK USING FUNCTIONAL RESONANCE ANALYSIS METHOD (FRAM)

Analiza bezpieczeństwa pacjenta w pracy lekarza POZ z zastosowaniem metody analizy rezonansu funkcjonalnego (FRAM)

Abstract: *The problem considered in the paper is as follows. The patient with lumbal pain is coming to General Practitioner (GP). The undesirable result is GP's decision to treat the patient by him/herself in spite of the patient should be directed to medical specialist or hospital. In order to find the ways how the adverse outcomes occur, a system approach called Functional Resonance Analysis Method (FRAM) has been applied. The examples of emerging the unwanted GP's decision, as a consequence of functional resonance have been given. Proposals how to avoid unwanted outcomes have been suggested.*

Keywords: human factor, function performance variability, threat prediction, education and training of doctors

Streszczenie: *W pracy podjęto zagadnienie podjęcia leczenia pacjenta przez lekarza podstawowej opieki zdrowotnej (POZ), mimo że pacjent powinien być skierowany do szpitala lub specjalisty. Do znalezienia sposobów zaistnienia niepożądanego skutku zastosowano jedno z podejść systemowych, a mianowicie metodę analizy rezonansu funkcyjnego (FRAM). Przedstawiono dwa przykłady wylaniania się błędnej decyzji w konsekwencji rezonansu funkcyjnego i propozycje zapobiegania podjęciu takich decyzji.*

Słowa kluczowe: czynnik ludzki, zmienność działania funkcji, predykcja zagrożeń, edukacja i szkolenie lekarzy

1. Introduction

Nuclear power plants, health care, transportation systems: air, rail, road are the examples of safety related complex socio-technical systems. The safety of such systems is influenced by the following factors: environmental, technical, human and organizational. Classic safety analysis methods such as: Fault Tree Analysis, Event Tree Analysis, Failure Mode and Effect Analysis, Reason's Swiss Cheese Method are not sufficient. An alternative in threat prediction are systemic approaches: System-Theoretic Accident Model and Process (STAMP) [5], Functional Resonance Analysis Method (FRAM) [2], AcciMap [8]. STAMP is strongly oriented on safety control structure, while FRAM on behavior (interactions between functions).

FRAM is applied in air transportation [3], health care [2, 4]. In FRAM the emphasis is put on function performance variability of system components: people, organization and technical equipment. The main source of function performance variability is human factor. In complex systems the function performance is always variable because function execution conditions are variable. The role of human factor variability is different in Safety I and Safety II [3, 4]. In Safety I the man is treated as a threat, while in Safety II the human being is the resource which is required for system flexibility and resilience against opposites. The FRAM method is inspired by Safety II.

The problem considered in the paper is as follows. The patient with lumbal pain is coming to General Practitioner (GP). The unwanted result is the GP's decision to treat the patient by him/herself when the patient should be directed to medical specialist or hospital. The ways of emerging this unwanted result and barriers against their occurrence should be find. In order to find the ways how the adverse outcomes occur, Functional Resonance Analysis Method (FRAM) [2] will be used. The examples of emerging the undesirable GP's decision as a consequence of functional resonance of component functions variability will be given. Proposals how to avoid unwanted events will be suggested.

The structure of the paper is as follows. In Section 2, FRAM method has been outlined. Then FRAM model of GP's work has been given. In Section 4, analysis of patient safety using this model has been performed.

2. Functional Resonance Analysis Method

Resilience Engineering and Safety II are new way of thinking about safety. A *system is resilient* [2], if it can adjust its functioning prior to, during, or following events (changes, opportunities, and disturbances) and thereby sustain required operations under both expected and unexpected conditions. The features of both types of Safety are given in table 1.

Table 1

Safety I and II [3]

	Safety I	Safety II
Definition of safety	That as few things as possible go wrong.	That as many things as possible go right.
Safety management principle	Reactive, respond when something happens or is categorised as an unacceptable risk.	Proactive, continuously trying to anticipate developments and events.
View of the human factor in safety management	Humans are predominantly seen as a liability or hazard.	Humans are seen as a resource necessary for system flexibility and resilience.
Accident investigation	Accidents are caused by failures and malfunctions. The purpose of an investigation is to identify the causes.	Things basically happen in the same way, regardless of the outcome. The purpose of an investigation is to understand how things usually go right as a basis for explaining how things occasionally go wrong.
Risk assessment	Accidents are caused by failures and malfunctions. The purpose of an investigation is to identify causes and contributory factors.	To understand the conditions where performance variability can become difficult or impossible to monitor and control.

FRAM method is inspired by Resilience Engineering and Safety II. In this method, the emphasis is put on system behaviour as the effect of performance of different functions and interaction between the functions. Examples of the functions can be: To execute USG examination, To decide about further therapy. These functions are submitted to the constraints that are imposed on its performance, e.g.:

- Function execution constraints,
- Procedures, realization algorithms,
- Time,
- Required resources.

According to Resilience Engineering and Safety II, function performance is adjusted to the conditions. Because of time constraints, departure for the procedure, situations that are unforeseen in procedures, the function performance often is approximate, not exactly according to the procedure. Consequences of such adjustments to system state lead to performance variability which:

- Usually is the reason that the process runs correctly,
- Sometime is the reason of non-correct process course.

Function performance variability can be the reason of:

- Undesirable events,
- System resilience.

For the analyzed GP's work process, the following factors can influence the function performance variability:

- Time pressure/constraints,
- Circadian rhythm, stress, fatigue,
- Certain/uncertain information, complete/in-complete information, over-specification,
- Insight of imaging examination perception:
 - Summary is read only,
 - Description and summary are read,
 - Description and summary are read, and CD is analysed,
- RTG, USG, and laboratory equipment quality,
- Man-machine interface,
- Communication quality,
- Lack of/imprecise/incomprehensible procedures,
- Education and training quality,
- Organization influence/support,
- Conflicts of goals,
- Work/safety culture level,
- External disturbances.

FRAM model consists of functions and interactions between them. The function is illustrated in fig. 1.

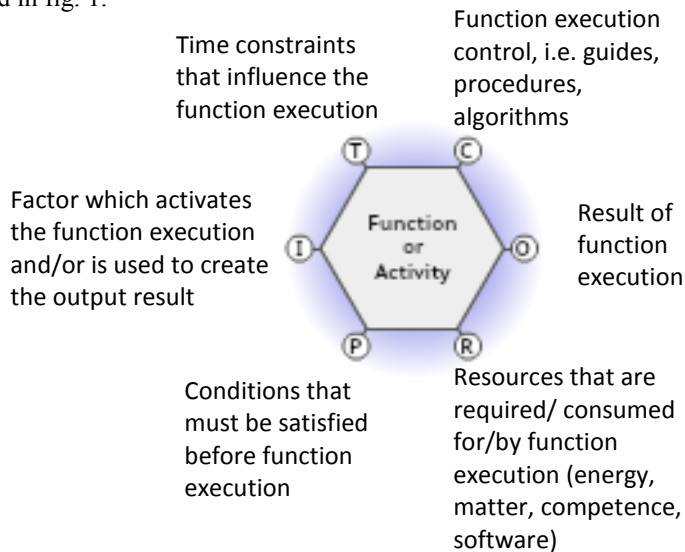


Fig. 1. Function of FRAM model with its six aspects: Input, Control, Time, Precondition, Resources, Output

In order to get a FRAM model of a fragment of reality, functions of FRAM model are connected from aspects O into aspects I, C, T, P, R usually the other functions.

Functional resonance [2] is the detectable signal that is the outcome of multiple approximate adjustments that are the basis for everyday work activities.

The FRAM method consists of four steps:

1. Identify important component functions of the system separately and couplings between them (FRAM model),
2. Characterize actual and potential variability of the functions,
3. Aggregate functions performance variability in order to identify possibility of functional resonance,
4. Develop recommendations how to control the variability, either by reducing the variability with negative consequences or enhancing the variability towards positive outcomes.

3. FRAM model of General Practitioner's work

GP's work will be illustrated by the process that starts from a patient's lumbal pain visit.

The problem: The patient with lumbal pain is coming to General Practitioner (GP). The unwanted result is the GP's decision to treat the patient by him/herself when the patient should be directed to specialist or hospital. The ways of emerging this unwanted result and barriers against their occurrence should be find.

Such pain can be caused by the following deceases e.g.:

- spine,
- kidney,
- aortic dissecting aneurysm,
- oncological,
- pancreas.

The GP undertakes the following activities:

- interview with the patient,
- examines the patient,
- formulates an initial diagnosis,
- possibly issues a referral for examinations, to a specialist, to a hospital,
- possibly analyses the examination results,
- possibly takes treatment.

Fig. 2 illustrates the FRAM model for this case. FRAM model has been created using software tool FRAM Model Visualiser (FMV) [1].

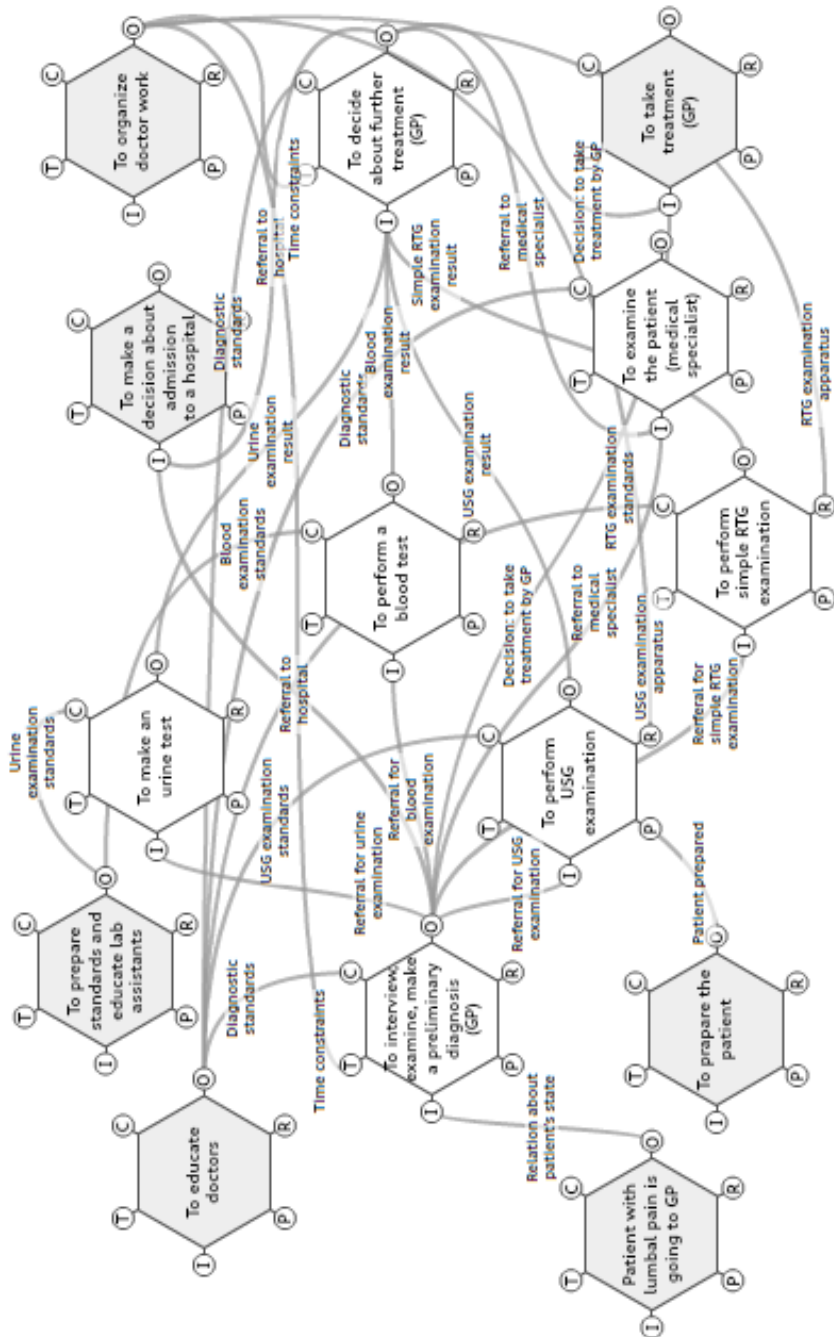


Fig. 2. FRAM model of GP's work for the patient with lumbal pain

In fig. 2 functions with grey interior are background. Interactions are represented by couplings from aspects O of functions to aspects I, C, T, P, R. The coupling connects two aspects only. Coupling from function *To educate doctors* to function *To perform simple RTG examination* is connected with neither aspect P of *To make an urine test* nor aspect R of *To perform a blood test*, in spite of the figure could suggest it. The couplings are labelled. For example aspect O of function *To organize doctor work* is connected with aspects T of the following GP functions: *To interview, examine, make preliminary diagnosis* and *To decide about further treatment*. These couplings are equipped with label *Time constraints*. After making the preliminary diagnosis, the GP gives some referrals: for examination, e.g. urine, blood, USG, simple RTG exclusive or to medical specialist exclusive or to hospital exclusive or takes treatment by her/himself. The GP cannot give a referral for the following examination: RTG with contrast, magnetic resonance (NMR), computed tomography, isotopic, oncological markers. After interpretation of the examination results, the GP gives the referral to medical specialist exclusive or gives the referral to hospital exclusive or takes the treatment him/herself. Functions and couplings are variable. For example, function *To decide about further treatment* introduces a variability because of different insight of imaging examination perception described in Section 2. The insight of perception is influenced by *Time constraints* that labels the coupling to aspect T of the above function. Before USG examination (function *To perform USG examination*) the patient should be prepared (coupling label *Patient prepared*): emptied and degassed. The coupling *Patient prepared* with aspect P of function *To perform USG examination* can have different variability. It depends on how the patient has obeyed the preparation rules for USG examination. This preparation influences the variability of coupling *USG examination result*.

4. Patient safety analysis in General Practitioner's work using FRAM model

It is difficult to find detailed statistical data about process of GP's work. Therefore, FRAM, which does not require such data, is an alternative in threat prediction for patient.

At initial stage of searching the sources of functional resonance, the number of couplings of given function with the functions can be considered. According to Perrow's Normal Accident Theory [6, 7], the essence of accidents in complex socio-technical systems is the interaction of multiple unavoidable failures that are not in a direct cause-effect sequence. Perrow connects the system safety to the number of interconnections of a component with the other elements and environment.

For function F of FRAM model, the following metrics [6] are calculated: number of couplings from aspects O into aspects I, T, C, P, R of function F denoted UL (up-stream links), number of couplings from aspect O of function F denoted DL (down-stream links).

Greater the values UL, DL of function F, greater the potential of this function to propagate functional resonance in the system.

For model given in fig. 2, values of metrics UL and DL for functions that are not background (see Section 3) are given in table 2.

Table 2

Values of metrics UL and DL for functions of model given in Fig. 2

Function	UL	DL
To interview, examine, make a preliminary diagnosis (GP)	3	7
To make an urine test	2	1
To make a blood test	2	1
To perform USG examination	4	1
To perform simple RTG examination	3	1
To decide about further treatment (GP)	6	3

The greatest values UL and DL have been obtained for functions *To interview, examine, make a preliminary diagnosis (GP)* and *To decide about further treatment (GP)*, respectively, UL=3, DL=7 and UL=6, DL=3, respectively.

Fig. 3 illustrates an example of functional resonance. In order to represent functional resonance, selected couplings will be labelled in the form *Coupling name (value)*, e.g. *USG examination result (imprecise description)*.

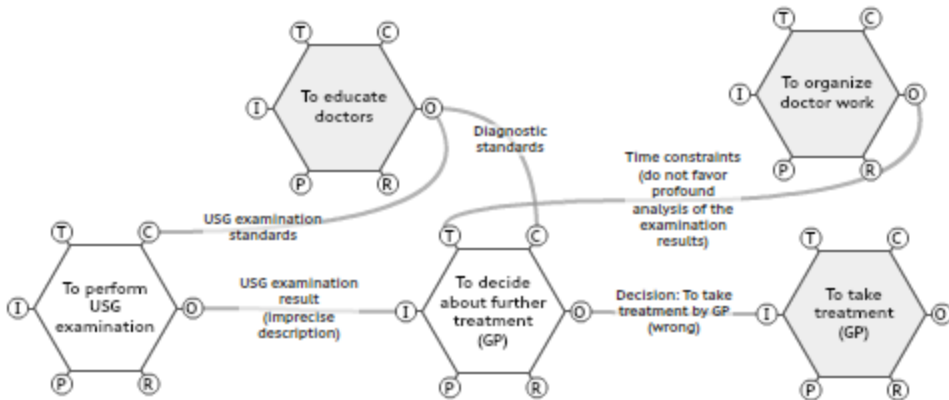


Fig. 3. Functional resonance: *USG examination result (imprecise description)*, that is the result of dishonesty of the doctor which performs USG examination, together with *Time constraints (do not favor profound analysis of the examination results)* favor *Decision: to take treatment by GP (wrong)*

A way to avoid the above situation is second Referral for USG examination with emphasis on description precision (see fig. 4). The label USG examination result (1. imprecise description, 2. precise description) illustrates two subsequent examination results. These models can be used in education and training of doctors.

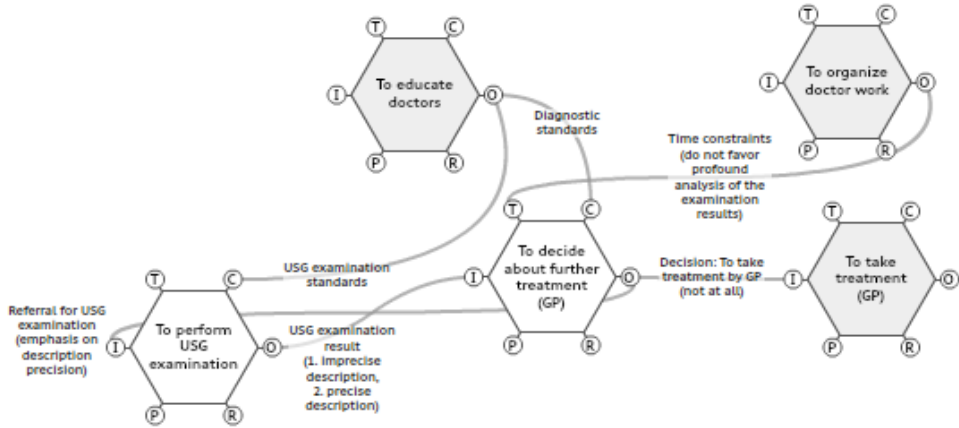


Fig. 4. In order to avoid superficial decision, GP gives second Referral for USG examination with emphasis on precise description; as a result she/he receives USG examination result (2. Precise description) and does not make the Decision: To take treatment by GP

Now the influence of dishonest interview caused by human factor will be shown. The function *To interview, examine, make a preliminary diagnosis (GP)* will be refined by:

1. To interview the patient (GP),
2. To examine the patient (GP),
3. To make a preliminary diagnosis (GP) (see fig. 5).

Dishonest interview: simulation, dissimulation, children's fears of hospitalization favor the fault decision of the GP. *Relation about patient's state (false)* (see fig. 5) induces *Picture of the patient's state after interview (inconsistent with real state)*. If the GP does not notice it during the examination, then she/he creates *Picture of the patient's state after examination that is inconsistent with real state*. Therefore, this picture under *Time constraints (do not favor profound analysis of the examination results)* can cause *Decision: To take treatment by GP (wrong)*. A remedy to this functional resonance can be the examination with an additional part of review that verifies the previous interview.

5. Summary

In the paper two functional resonances in GP's work that are risk for the patient has been given. Countermeasures has been proposed. The model of GP's work can be used in order to identify the other functional resonances and remedies in order to avoid undesirable event: GP's decision to treat the patient by him/herself in spite of the patient should be directed to specialist or hospital. This model can be an initial step in building the more general model of GP's work than the visit of patient with lumbal pain. Threat prediction using FRAM can be used in education and training of doctors.

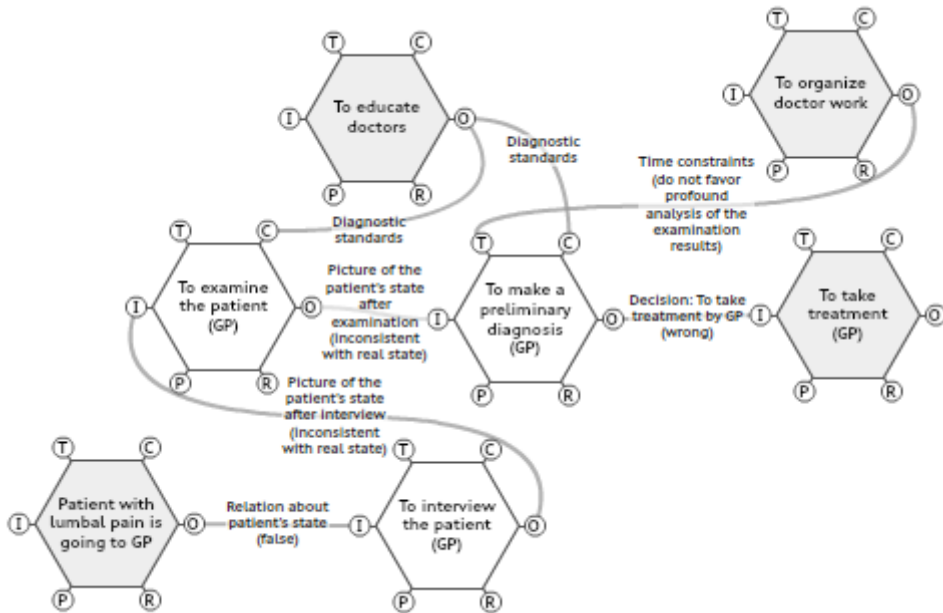


Fig. 5. Functional resonance induced by the *Relation about patient's state* that is *false*

6. References

1. Hill R., FRAM Model Visualiser (FMV) version 0.4.3.
2. Hollnagel E., Hounsgaard J., Colligan L.: FRAM – the Functional Resonance Analysis Method – a handbook for the practical use of the method. Centre for Quality, Region of Southern Denmark, 2014.
3. Hollnagel E., Leonhardt J., Licu T., Shorrock S.: Eurocontrol, From Safety I to Safety II; A White Paper. September 2013.
4. Hollnagel E., Wears R. L., Braithwaite J.: From Safety-I to Safety-II; A White Paper, The Resilient Health Care Net. University of Southern Denmark, University of Florida, USA, Macquarie University, Australia, 2015.
5. Leveson N.: Engineering a Safer World, Systems Thinking Applied to Safety. MIT Press, 2012.
6. Patriarca R., Del Pinto G., Di Gravio J., Costantino F.: FRAM for Systemic Accident Analysis: A Matrix Representation of Functional Resonance. International Journal of Reliability Quality and Safety Engineering, Vol. 25, No. 1, 2018.
7. Perrow C.: Normal Accidents – Living with High-risk Technologies. Harper Collins Publishers, 1984.
8. Rasmussen J., Svedung X.: Proactive Risk Management in a Dynamic Society. Swedish Rescue Services Agency, 2000.

ANALIZA BEZPIECZEŃSTWA PACJENTA W PRACY LEKARZA POZ Z ZASTOSOWANIEM METODY ANALIZY REZONANSU FUNKCJONALNEGO (FRAM)

1. Wprowadzenie

Przykładami złożonych systemów socjotechnicznych związanych z bezpieczeństwem są systemy: energetyki nuklearnej, medyczne, transportu lotniczego, kolejowego, drogowego. Na bezpieczeństwo tych systemów wpływ mają następujące czynniki: środowiskowe, techniczne, ludzkie i organizacyjne. Klasyczne metody analizy niezawodności czy bezpieczeństwa tych systemów, takie jak: analiza drzew niezdatności (ang. Fault Tree Analysis), analiza drzew zdarzeń (ang. Event Tree Analysis), analiza rodzajów i skutków uszkodzeń (ang. Failure Mode and Effect Analysis) czy metoda sera szwajcarskiego Reasona są niewystarczające. Alternatywą w predykcji zagrożeń są rozwijane systemowe podejścia do problematyki bezpieczeństwa takie jak: teorio-systemowy model i proces wypadku (ang. System-Theoretic Accident Model and Process STAMP) [5], metoda analizy rezonansu funkcjonalnego (ang. Functional Resonance Analysis Method - FRAM) [2], mapy wypadku (ang. AcciMap) [8]. Każde z dwu podejść STAMP i FRAM jest tematem odrębnych corocznych konferencji im poświęconych. Podejście STAMP jest silniej zorientowane na strukturę systemu związanego z bezpieczeństwem, natomiast FRAM na zachowanie (interakcje między funkcjami). Obszarami zastosowań metody FRAM są: lotnictwo [3], opieka medyczna [2, 4]. W metodzie FRAM nacisk jest położony na zmienność wykonania funkcji składowych przez komponenty systemu: ludzi, organizację i wyposażenie techniczne. Głównym źródłem zmienności wykonania funkcji systemu jest czynnik ludzki. W złożonych systemach wykonanie funkcji jest zawsze zmienne (*zmienność wykonania funkcji*), ponieważ zmieniają się warunki realizacji funkcji. Postrzeganie zmienności czynnika ludzkiego jest różne w tzw. Bezpieczeństwie I i II typu (ang. Safety I and Safety II) [3], [4]. W Bezpieczeństwie I typu człowiek traktowany jako zagrożenie, natomiast w Bezpieczeństwie II typu jako zasób niezbędny do zapewnienia elastyczności i odporności systemu wobec problemów. Metoda FRAM inspirowana jest przez Bezpieczeństwo II typu.

W pracy badany jest problem: pacjent z bólem w okolicy lędźwiowej przychodzi do lekarza podstawowej opieki zdrowotnej (POZ). Niepożądanym rezultatem wizyty jest podjęcie leczenia przez lekarza POZ, mimo że pacjent powinien być skierowany do lekarza specjalisty lub szpitala. Należy znaleźć przebiegi prowadzące do tego zdarzenia i sposoby

zapobiegania im. Do predykcji zagrożeń zostanie zastosowana metoda FRAM [2]. Wyłanianie się tych niepożądanych sytuacji następuje poprzez rezonans funkcjonalny (kumulowanie się) zmienności wyników działania funkcji składowych. Przedstawione będą przykłady wyłaniania się niekorzystnych zdarzeń w wyniku rezonansu funkcjonalnego oraz propozycje zapobiegania tymże.

Struktura pracy jest następująca. W punkcie 2 zarysowano metodę FRAM. Następnie przedstawiono model FRAM pracy lekarza POZ oraz przeanalizowano problematykę bezpieczeństwa pacjenta z użyciem opracowanego modelu.

2. Metoda analizy rezonansu funkcjonalnego (FRAM)

Inżynieria odporności (ang. Resilience Engineering) i Bezpieczeństwo II typu są nowym sposobem myślenia o bezpieczeństwie. *System jest odporny* [2], jeśli może dostosować swoje funkcjonowanie przed, podczas lub po zdarzeniach (zmianach, zaburzeniach) i podtrzymać wykonywanie wymaganych funkcji przy oczekiwanych i nieoczekiwanych warunkach. W tab. 1 podane są cechy charakterystyczne obu typów bezpieczeństwa.

Tabela 1

Bezpieczeństwo typów I i II [3]

	Bezpieczeństwo I typu	Bezpieczeństwo II typu
Definicja bezpieczeństwa	Minimalizacja liczby zdarzeń niepożądanych.	Maksymalizacja liczby zdarzeń pożądanых.
Zasada zarządzania bezpieczeństwem	System musi być reaktywny (reagujący na zagrożenia) albo traktowany jako system nieakceptowalnego ryzyka.	Proaktywny (ciągle przewidujący zmiany i zdarzenia).
Rola czynnika ludzkiego w zarządzaniu bezpieczeństwem	Człowiek traktowany jako zagrożenie.	Człowiek postrzegany jako zasób niezbędny do zapewnienia elastyczności i odporności systemu wobec problemów.
Badanie wypadków	Wypadki są powodowane przez uszkodzenia i błędne działania systemu. Celem badania jest identyfikacja tych przyczyn.	Celem jest wyjaśnienie jak zwykle poprawne działanie systemu jest bazą do okazjonalnie błędnego funkcjonowania.
Szacowanie ryzyka	Celem szacowania jest identyfikacja uszkodzeń i błędnych działań systemu.	Zrozumienie warunków, gdy zmienność rezultatów pracy systemu może być trudna lub niemożliwa do monitorowania i sterowania.

Metoda FRAM inspirowana jest inżynierią odporności i Bezpieczeństwem II typu. W metodzie tej nacisk jest położony na zachowanie systemu jako efektu działania różnych funkcji i interakcji między funkcjami, a nie na dekompozycję systemu na komponenty. Przykładami funkcji mogą być: Wykonać badanie USG, Podjąć decyzje odnośnie dalszego postępowania. Funkcje te podlegają ograniczeniom nałożonym na ich wykonanie takim jak:

- Warunki wykonania funkcji,
- Procedury, algorytmy wykonania,
- Czasowe,
- Wymagane zasoby.

Zgodnie z inżynierią odporności i Bezpieczeństwem II typu, wykonanie funkcji jest dostosowane do sytuacji. Z powodu np. ograniczeń czasowych, odstępstw od procedur, nieprzewidzianych w procedurach sytuacji, czynnika ludzkiego, wykonanie często jest przybliżone, a nie dokładne wg procedur. Konsekwencje dostosowania wykonania do stanu systemu prowadzą do zmienności wykonania, które:

- zwykle jest powodem, dla którego proces przebiega poprawnie,
- niekiedy jest przyczyną niepoprawnego biegu procesu.

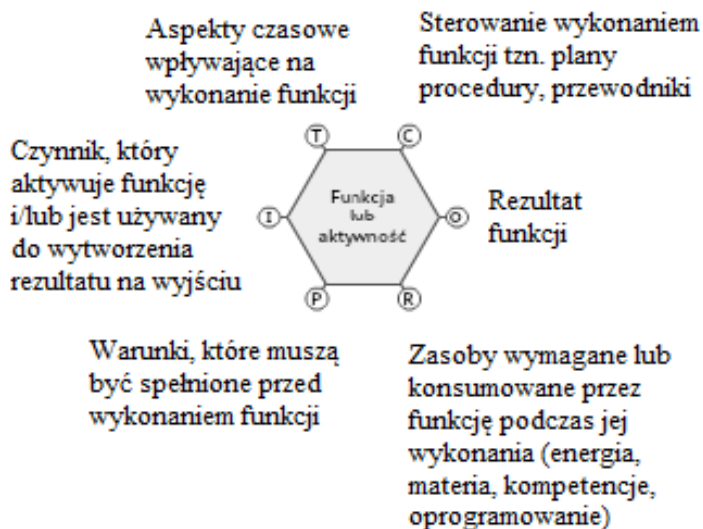
Zmienność wykonania funkcji bywa źródłem:

- zdarzeń niepożądanych,
- odporności systemu.

Dla modelowanego wycinka rzeczywistości: pacjent z bólem w okolicy lędźwiowej przychodzi do lekarza POZ, czynnikami wpływającymi na zmienność wyników wykonania składowych funkcji systemu, np. trafność diagnozy, jakość badania USG mogą być:

- czasowe: presja/ograniczenie/trwanie,
- rytm dobowy, czynniki stresu, zmęczenie,
- pewność/niepewność informacji, kompletność/niekompletność informacji, przespecyfikowanie (nadmiar) informacji,
- wnikliwość percepcji wyników badania obrazowego:
 - czytanie tylko podsumowania,
 - czytanie opisu i podsumowania,
 - czytanie opisu, podsumowania i analiza dołączonej płytki CD,
- jakość sprzętu laboratoryjnego i do badań pacjentów,
- jakość interfejsu człowiek–maszyna,
- jakość komunikacji,
- procedury: ich brak/nieprecyzyjne/niezrozumiałe, autoryzacje,
- kompetencje i przygotowanie (szkolenia),
- konflikty celów,
- wpływ i wsparcie organizacji,
- poziom kultury pracy/bezpieczeństwa,
- zakłócenia zewnętrzne.

Model dla potrzeb metody FRAM składa się z funkcji i interakcji między nimi. Funkcja obrazowana jest na rys. 1.



Rys. 1. Grafika funkcji modelu FRAM wraz z opisem jej sześciu aspektów: I (wejście), C (sterowanie), T (czas), P (warunki wstępne), R (zasoby), O (wyjście)

W celu uzyskania modelu FRAM wycinka rzeczywistości, funkcje modelu FRAM łączone są połączeniami z aspektów O funkcji do aspektów I, C, T, P, R zwykle innych funkcji.

Rezonans funkcjonalny [2] to wykrywalny sygnał, który jest wynikiem wielokrotnych przybliżonych dostosowań będących podstawą aktywności codziennej pracy.

Metoda FRAM składa się z następujących kroków:

1. Zidentyfikować istotne funkcje systemu oddzielnie,
2. Scharakteryzować zmienność wykonania funkcji systemu: faktyczną i potencjalną,
3. Agregacja zmienności wykonania połączonych funkcji w celu identyfikacji rezonansu funkcjonalnego,
4. Opracować propozycje sposobów sterowania zmiennością, redukujących zmienność o negatywnym wpływie lub zwiększających zmienność w pozytywnym kierunku.

3. Model FRAM pracy lekarza POZ

Praca lekarza POZ zostanie zilustrowana przykładem procesu będącego reakcją na przyjście pacjenta z bólem w okolicy lędźwiowej.

Problem badawczy: pacjent z bólem w okolicy lędźwiowej przychodzi do lekarza podstawowej opieki zdrowotnej (POZ). Niebezpiecznym rezultatem jest podjęcie leczenia przez lekarza POZ, mimo że pacjent powinien być skierowany do specjalisty lub szpitala.

Należy znaleźć sposoby zaistnienia niebezpiecznego zdarzenia i zabezpieczenia przez ich wystąpieniem.

Taki ból może być spowodowany chorobami, m.in.:

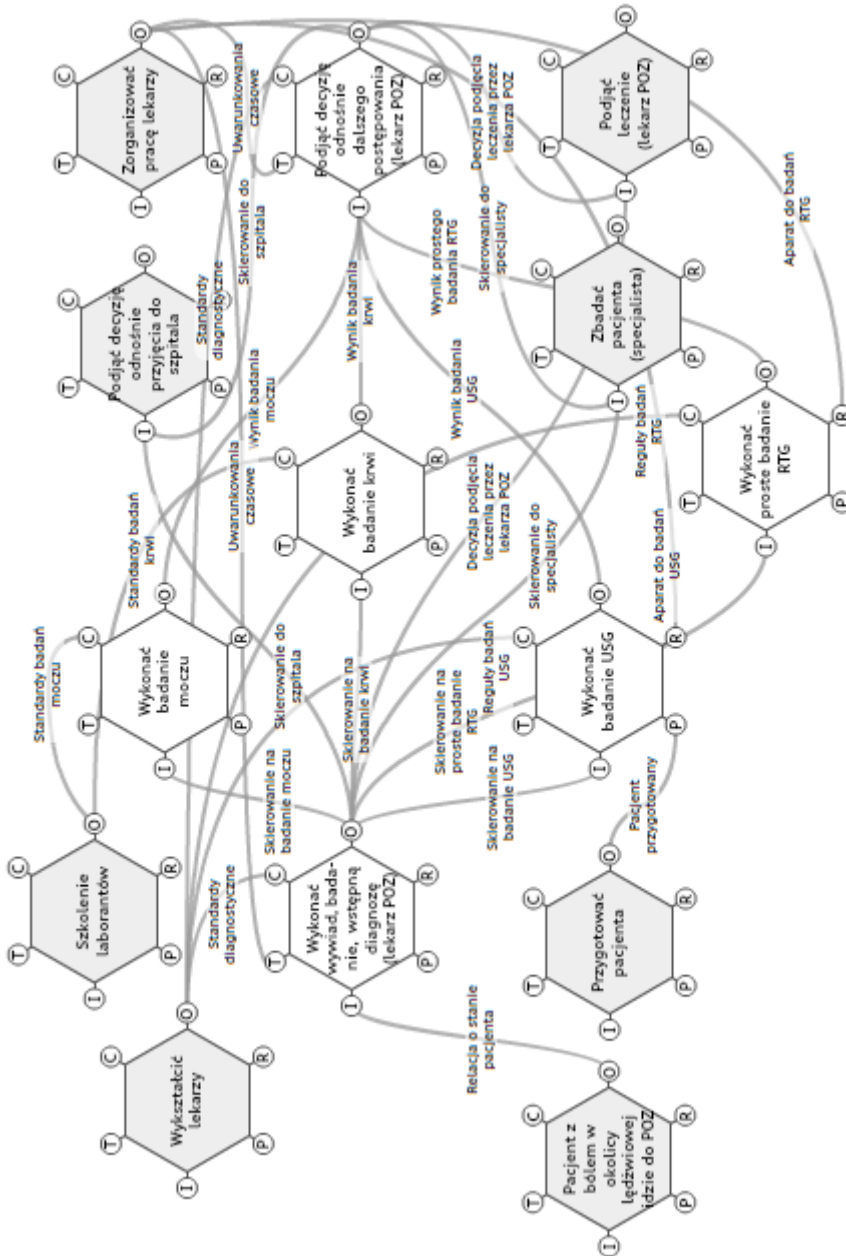
- kręgosłupa,
- nerek,
- tętniakiem rozwarstwiających aorty,
- onkologicznymi,
- trzustki.

Lekarz POZ wykonuje następujące czynności:

- przeprowadza wywiad z pacjentem,
- bada pacjenta,
- stawia wstępną diagnozę,
- ew. wydaje skierowania na badania, do specjalisty, do szpitala,
- ew. analizuje wyniki badań,
- ew. podejmuje leczenie.

Rysunek 2 ilustruje model FRAM dla tego przypadku. Model ten opracowany został z użyciem narzędzia programistycznego FRAM Model Visualiser (FMV) [1].

Na tym rysunku funkcje o szarym wnętrzu są elementami tła. Interakcje między funkcjami są reprezentowane połączeniami z aspektów O funkcji do aspektów I, C, T, P, R. Połączenie łączy tylko dwa aspekty. Połączenie między aspektem O funkcji *Zorganizować pracę lekarzy* i aspektem T funkcji *Wykonać wywiad, badanie, wstępną diagnozę (lekarz POZ)* nie łączy aspektów P funkcji: *Zorganizować pracę lekarzy* ani *Wykonać badanie moczu*, mimo że rysunek może to sugerować. Połączenia są etykietowane. Oto przykłady: Aspekt O funkcji *Zorganizować pracę lekarzy* jest połączony z aspektami T następujących funkcji lekarza POZ: *Wykonać wywiad, badanie, wstępną diagnozę* oraz *Podjąć decyzję odnośnie dalszego postępowania*. Te połączenia opatrzone są etykietą *Uwarunkowania czasowe*. Spójnik „albo” użyty będzie w znaczeniu wzajemnego wykluczania. Lekarz POZ, po postawieniu wstępnej diagnozy, wydaje skierowania: na niektóre badania spośród: krwi, moczu, USG, proste badanie RTG albo do lekarza specjalisty albo do szpitala albo podejmuje leczenie. Lekarz POZ nie może wydać skierowania na następujące badania: rentgenowskie wymagające podania kontrastu, rezonans magnetyczny (NMR), tomografię komputerową (TK), izotopowe, markery nowotworowe. Lekarz POZ po interpretacji wyników badań, daje skierowanie do szpitala albo do specjalisty albo decyduje się na podjęcie leczenia. Funkcje i połączenia charakteryzują się zmiennością. Na przykład funkcja *Podjąć decyzję odnośnie dalszego postępowania* wprowadza zmienność ze względu na np. różną wnikliwość percepcji wyniku badania obrazowego opisaną w poprzednim punkcie. Na wnikliwość percepcji wpływ mogą mieć *Uwarunkowania czasowe* etykietujące połączenie do aspektu T tej funkcji. Pacjent do badania USG powinien być przygotowany: wypróżniony, odgazowany. Połączenie *Pacjent przygotowany* z aspektem P funkcji *Wykonać badanie USG*, może mieć różną zmienność w zależności od stosowania się pacjenta do rygoru warunków wykonania badania USG. Przygotowanie pacjenta ma wpływ na zmienność *Wyniku badania USG*.



Rys. 2. Model FRAM pracy lekarza POZ wobec wizyty pacjenta z bólem w okolicy lędźwiowej

4. Analiza bezpieczeństwa pacjenta w pracy lekarza POZ z pomocą modelu FRAM

Trudno o dane probabilistyczne do specyfikacji procesu zawierającego funkcje lekarza POZ. Stąd jedną z alternatyw w predykcji zagrożeń dla pacjenta w pracy lekarza POZ jest metoda analizy rezonansu funkcjonalnego.

Na początkowym etapie szukania źródeł rezonansu funkcjonalnego można wykonać analizę liczby połączeń funkcji z innymi funkcjami. Wg teorii wypadku Perrowa [6, 7], istotą wypadków w złożonych systemach są interakcje wielu nieuniknionych uszkodzeń i błędnych działań, które nie występują w bezpośredniej relacji przyczynowo-skutkowej. Wiąże on bezpieczeństwo systemu z liczbą interakcji elementu z innymi elementami i środowiskiem.

Dla modelu FRAM, dla funkcji F wyznaczane są: liczba połączeń z funkcji poprzedzających UL [6] (liczba połączeń aspektów: wejście, czas, zasoby, warunki wstępne, sterowanie funkcji F) i liczba połączeń do funkcji następnich DL (liczba połączeń aspektu wyjście funkcji F). Im większe wartości liczb UL i DL funkcji, tym większy potencjał tej funkcji do propagowania rezonansu funkcjonalnego w systemie. Dla funkcji z Rys. 2 nie należących do otoczenia, wartości liczb UL i DL podane są w tab. 2.

Tabela 2

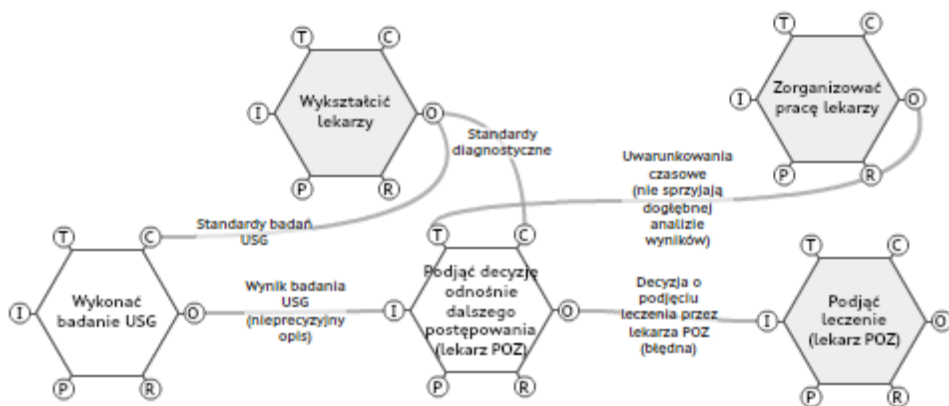
Wartości liczb połączeń z/do funkcji poprzedzających/następnych UL/DL dla rys. 2

Funkcja	UL	DL
Wykonać wywiad, badanie, wstępną diagnozę (lekarz POZ)	3	7
Wykonać badanie moczu	2	1
Wykonać badanie krwi	2	1
Wykonać badanie USG	4	1
Wykonać proste badanie RTG	3	1
Podjąć decyzję odnośnie dalszego postępowania (lekarz POZ)	6	3

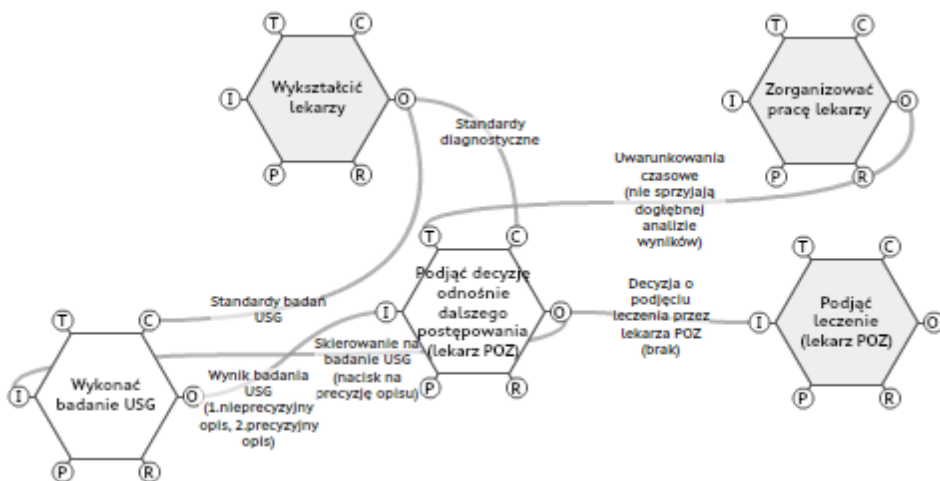
Największe wartości UL, DL uzyskano dla funkcji Wykonać wywiad, badanie, wstępną diagnozę (lekarz POZ) z Rys. 2, UL=3, DL=7. Z kolei dla funkcji Podjąć decyzję odnośnie dalszego postępowania (lekarz POZ), UL=6, DL=3.

Rysunek 3 obrazuje przykładowy rezonans funkcjonalny. W celu ilustracji tego rezonansu wybrane połączenia będą opisywane w postaci *nazwa połączenia (wartość)* np. *Wynik badania USG (nieprecyzyjny opis)*.

Sposobem na zapobieżenie powyższej sytuacji jest powtórne *Skierowanie na badanie USG z naciskiem na precyzję opisu* co obrazuje rys. 4. Etykieta *Wynik badania USG (1. nieprecyzyjny opis, 2. precyzyjny opis)* ilustruje dwa kolejne wyniki badania. Te modele mogą być użyte w szkoleniu i edukacji lekarzy.



Rys. 3. Rezonans funkcjonalny: Wynik badania USG (nieprecyzyjny opis), wynikiły z nierzetelności lekarza wykonującego badanie USG, wraz z uwarunkowaniami czasowymi (niesprzyjającymi dogłębnej analizie wyników), sprzyjają decyzji o podjęciu leczenia przez lekarza POZ (błędnej)

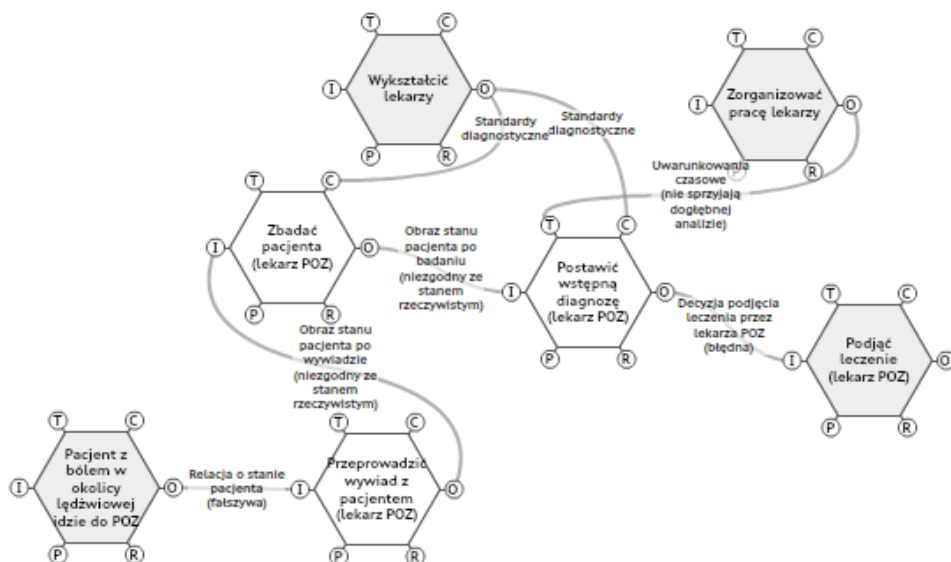


Rys. 4. W celu zapobieżenia powierzchownej decyzji, lekarz POZ wydaje powtórne skierowanie na badanie USG z naciskiem na precyzję opisu; w wyniku czego otrzymuje wynik badania USG (2. precyzyjny opis) i nie podejmuje decyzji o podjęciu leczenia przez lekarza POZ

Następnie zilustrujemy wpływ zdeformowanego wywiadu powodowanego czynnikiem ludzkim. W tym celu funkcję *Wykonać wywiad, badanie, wstępną diagnozę (lekarz POZ)* uszczegółowimy za pomocą trzech funkcji:

1. Przeprowadzić wywiad z pacjentem (lekarz POZ),
2. Zbadać pacjenta (lekarz POZ),
3. Postawić wstępną diagnozę (lekarz POZ).

Niepoprawny wywiad: symulacja, dysymulacja, obawy dziecka przed hospitalizacją grożą błędnymi decyzjami lekarza co ilustruje rys. 5.



Rys. 5. Relacja o stanie pacjenta (fałszywa) daje obraz stanu pacjenta po wywiadzie (niezgodny ze stanem rzeczywistym), a lekarz POZ nie zauważając tego podczas badania, buduje obraz stanu pacjenta po badaniu (niezgodny ze stanem rzeczywistym); w wyniku czego przy ograniczeniu uwarunkowania czasowe (nie sprzyjają dogłębnej analizie), następuje decyzja podjęcia leczenia przez lekarza POZ (błędna)

Remedium na taki przypadek jest badanie z dodatkową częścią wywiadu weryfikujące poprzedni wywiad.

5. Podsumowanie

Przedstawiono dwa przykłady wyłaniania się błędnej decyzji podjęcia leczenia przez lekarza POZ, mimo że pacjent powinien być skierowany do specjalisty lub szpitala, w konsekwencji rezonansu funkcjonalnego zmienności działania funkcji składowych. Ponadto podano propozycje zapobiegania podjęciu takich decyzji. Opracowany model może być użyty do identyfikacji innych przypadków rezonansu funkcjonalnego i sposobów zapobiegania tymże. Może być również punktem wyjścia do budowy ogólniejszego modelu pracy lekarza POZ niż obejmujący tylko wizytę pacjenta z bólem w okolicy lędźwiowej. Predykcja zagrożeń i reprezentacja zaleceń diagnostycznych z użyciem FRAM mogą być zastosowane w edukacji i szkoleniu lekarzy.

6. Literatura

1. Hill R., FRAM Model Visualiser (FMV) version 0.4.3.
2. Hollnagel E., Hounsgaard J., Colligan L.: FRAM – the Functional Resonance Analysis Method – a handbook for the practical use of the method. Centre for Quality, Region of Southern Denmark, 2014.
3. Hollnagel E., Leonhardt J., Licu T., Shorrock S.: Eurocontrol, From Safety I to Safety II; A White Paper. September 2013.
4. Hollnagel E., Wears R. L., Braithwaite J.: From Safety-I to Safety-II; A White Paper, The Resilient Health Care Net. University of Southern Denmark, University of Florida, USA, Macquarie University, Australia, 2015.
5. Leveson N.: Engineering a Safer World, Systems Thinking Applied to Safety. MIT Press, 2012.
6. Patriarca R., Del Pinto G., Di Gravio J., Costantino F.: FRAM for Systemic Accident Analysis: A Matrix Representation of Functional Resonance. International Journal of Reliability Quality and Safety Engineering, Vol. 25, No. 1, 2018.
7. Perrow C.: Normal Accidents – Living with High-risk Technologies. Harper Collins Publishers, 1984.
8. Rasmussen J., Svedung X.: Proactive Risk Management in a Dynamic Society. Swedish Rescue Services Agency, 2000.