

Jakub ŻYWIEC, Barbara TCHÓRZEWSKA-CIEŚLAK  
*Rzeszow University of Technology (Politechnika Rzeszowska)*

## USE OF THE CREAM METHOD FOR THE ASSESSMENT OF OPERATOR RELIABILITY IN THE PROCESS OF BACKWASHING FILTERS AT A WATER TREATMENT STATION

### Wykorzystanie metody CREAM do oceny niezawodności operatora w procesie płukania filtrów pospiesznych na stacji uzdatniania wody

**Abstract:** *The paper presents the application of the CREAM (Cognitive Reliability and Error Analysis Method) method to assess operator reliability in the backwashing of filters process at the Water Treatment Station. For this purpose, two operators were surveyed. Based on the results, the human error probability was determined, which in both cases ranges from  $5 \cdot 10^{-5}$  to  $1 \cdot 10^{-2}$ . The results also indicate that the surveyed operators have extensive work experience and high qualifications.*

**Keywords:** CREAM method, operator, reliability

**Streszczenie:** *W artykule przedstawiono zastosowanie metody CREAM (ang. Cognitive Reliability and Error Analysis Method) do oceny niezawodności operatora podczas płukania filtrów na stacji uzdatniania wody. W tym celu badaniom poddanych zostało dwóch operatorów. Na podstawie wyników określono prawdopodobieństwo popełnienia błędu przez operatorów, które w obu przypadkach wynosi od  $5 \cdot 10^{-5}$  do  $1 \cdot 10^{-2}$ . Wyniki wskazują również na duże doświadczenie oraz wysokie kwalifikacje badanych operatorów.*

**Słowa kluczowe:** niezawodność, metoda CREAM, operator

## **1. Introduction**

Anthropotechnical systems are defined as systems: human - technical object - environment [2,4,9]. Numerous scientific publications indicate a large relationship between human activity and the functioning of the technical system. In many cases, system failures are associated with a human error [1,3,7,9,10,11]. This problem gave rise to the need to develop methods for assessing the reliability of the human factor in the operation of technical systems. According to the definition, operator reliability is the probability that the operator will correctly perform the task set by the system in specific conditions, over a given time interval, without making an error [2,4]. The first methods of assessing operator reliability were developed as early as in the 1960s. Among the HRA (Human Reliability Analysis) methods there are: the first generation methods such as THERP (Technique For Human Error-Rate Prediction), HEART (Human Error Assessment And Reduction Technique) – their main goal is to quantify the probability of operator error; the second generation methods, e.g. CREAM (Cognitive Reliability and Error Analysis Methods), ATHEANA (A Technique for Human Event Analysis) – these methods emphasize the recognition of factors affecting the operator's error; the third generation of HRA methods, e.g. DHRA (Dynamic Human Reliability Analysis), VHRAM (Virtual Human Reliability Analysis Method) – these are methods using computer simulations in operator reliability tests in dynamic conditions [1,2,3,4,7].

Collective water supply systems (CWSS) are an example of an anthropotechnical system [4,5,6]. The works [10,11] present data on the relationship between human activity and CWSS failures. Due to the tasks of CWSS which is to provide consumers with water of the right quality and quantity, under the required pressure, at any time, the influence of the human factor in the assessment of the reliability of CWSS can not be omitted [4,5,6]. The paper presents the application of the CREAM method to assess the reliability of an operator working at a Water Treatment Plant (WTP), which is one of key elements of the entire CWSS.

## **2. Subject of study**

For the purposes of presenting the application of the CREAM method to assess operator reliability in WTP, the procedure for rinsing fast water filters located on the object was adopted as study subject. One of the basic processes within the technological process of water treatment is water filtration after the coagulation process on fast filters. In this process, as a result of water filtration through an anthracite-sand bed, natural and post-coagulation suspensions are removed [8]. During operation, the filter bed is contaminated with retained particles and requires rinsing. The operator decides about the need to rinse the filter, based on the readings of operating parameters such as: height of water pressure loss on the filter and time of operation. A diagram of the filter flushing procedure is shown in

fig. 1. The consequences of a wrong filter rinsing process may be: limitation of filter efficiency in the next exploitation period, penetration of removed impurities to further stages of treatment or even damage to the filter bed [8].

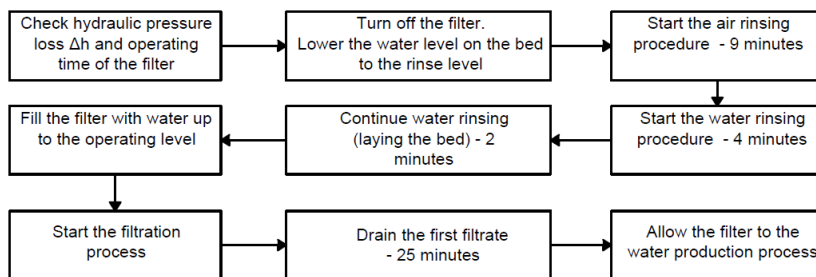


Fig. 1. Diagram of the fast filter rinsing procedure

### 3. Research methodology

#### 3.1. Method assumptions

The CREAM method is based on the COCOM (Contextual Control Model) cognitive model, which describes the relationship between cognitive functions that occur in the human mind [2]. In simplified terms, this model assumes that every human action results from a controlled process of using human competences depending on the requirements of a given situation. Actions taken by man are also intentional and reactive. Human control over taken actions can smoothly change its level - from its complete lack to full control [2]. According to the COCOM model in this spectrum four categories of control levels can be distinguished, called control modes [2]:

1. *Chaotic control mode* – the operator takes subsequent actions in a random, unplanned manner. This mode is characteristic for unpredictable situations, when the operator loses the possibility of logical thinking, does not analyse possible solutions and consequences of actions taken, he panics.

2. *Situational control mode* – the operator takes further actions based on a temporary state of the system, regardless of the achievement of the primary goal of the task. Most often it concerns situations in which time limits occur or the operator is not able to properly interpret the momentary state of the system. His actions follow the patterns known to him.

3. *Tactical control mode* – the operator takes further actions according to procedures known to him. In case of an unknown situation, the next action is taken after analysing the current conditions, the context of the situation and the status of system operating parameters.

4. *Strategic control mode* – the operator takes actions in a planned manner, knowing their consequences. His primarily concerned is achieving the goal of the task. The operator has extensive knowledge and experience.

Each of the control modes is described by values of the probability of making error by the operator which decrease as the operator's control increases [2]. These values are presented in tab. 1.

**Table 1**

**Probability of operator error depending on the control mode (based on [2])**

Control mode	Probability
<b>Chaotic</b>	$10^{-1} < P < 1$
<b>Situational</b>	$1 \cdot 10^{-2} < P < 5 \cdot 10^{-1}$
<b>Tactical</b>	$1 \cdot 10^{-3} < P < 1 \cdot 10^{-1}$
<b>Strategic</b>	$5 \cdot 10^{-5} < P < 1 \cdot 10^{-2}$

The essence of the method is to determine the likelihood of an operator's mistake while performing a task, based on determining the operation control mode. For this purpose nine CPC factors (Common Performance Conditions) whose impact on operator reliability can be positive (reliability increases), negative (reliability decreases) or undefined, should be assessed [2]. Table 2 presents possible assessments of CPC factors and their impact on the level of reliability.

**Table 2**

**Possibilities of assessing CPC factors and their impact on the level of reliability of task performance (based on [2])**

No.	CPC factor	Level	Impact on the level of reliability
1	Adequacy of organisation	very efficient	positive
		efficient	not significant
		inefficient	negative
		defficient	negative
2	Working conditions	advantageous	positive
		compatible	not significant
		incomaptible	negative
3	Adequacy of MMI and operational support	supportive	positive
		adequate	not significant
		tolerable	not significant
		inappropriate	negative
4	Availability of procedures/plans	appropriate	positive
		acceptable	not significant
		inappropriate	negative

table 2 cont.

5	Number of simultaneous goals	fewer than capacity	not significant
		matching current capacity	not significant
		more than capacity	negative
6	Available time	adequate	positive
		temporarily inadequate	not significant
		continuously inadequate	negative
7	Time of day	day-time	not significant
		night-time	negative
8	Adequacy of training and experience	adequate, high experience	positive
		adequate, limited experience	not significant
		inadequate	negative
9	Crew collaboration quality	very efficient	positive
		efficient	not significant
		inefficient	not significant
		defficient	negative

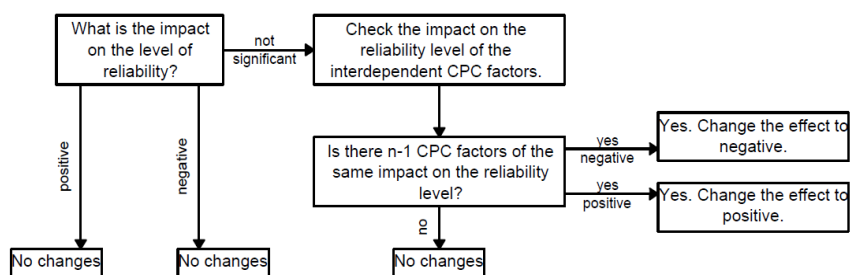
CPC factors are interdependent according to the model presented by E. Hollnagel in [2]. There are two types of relationships: proportional (an increase in factor A corresponds to an increase in factor B) and inversely proportional (an increase in factor A causes a decrease in factor B) [2]. These relationships are shown in fig. 2.

CPC factor		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Adequacy of organisation	Working conditions	Adequacy of MMI and operational support	Availability of procedures/plans	Number of simultaneous goals	Available time	Time of day	Adequacy of training and experience	Crew collaboration quality
1	Adequacy of organisation									
2	Working conditions	+		+			+	+	+	
3	Adequacy of MMI and operational support	+								
4	Availability of procedures/plans	+								
5	Number of simultaneous goals		-	-	-					
6	Available time		+	+	+	-		+		+
7	Time of day									
8	Adequacy of training and experience	+								
9	Crew collaboration quality	+							+	

+ proportional correlation  
 - inversely proportional correlation

Fig. 2. Interdependence of CPC factors (based on [2])

If in the first stage of CPC assessment the obtained result has an “indefinite” influence on the level of reliability, the influence of interdependent factors should be checked [2]. If  $n-1$  of  $n$  interdependent factors has equal influence on the level of reliability (positive or negative), the "indefinite" level of impact on reliability should be corrected according to the influence of  $n-1$  interdependent factors [2]. Figure 2 shows that only 4 out of 9 CPC factors depend on more than one factor and correction of their impact on reliability should be considered. These factors are: working conditions, the number of simultaneously performed tasks, the amount of time to complete the task and team cooperation. The procedure for correcting the level of influence of the CPC factor on reliability is presented in fig. 4.



**Fig. 3.** Principles of correction of the level of impact on reliability for CPC interdependent factors (based on [2])

After making the correction, you should determine the total CPC assessment result [2]. The number of factors having a negative impact on the level of reliability ( $\Sigma_N$ ), the number of factors having an indefinite impact on the level of reliability ( $\Sigma_0$ ) and the number of factors having a positive impact on the level of reliability ( $\Sigma_P$ ), should be determined. The final result should be presented in the form of a matrix  $[\Sigma_N; \Sigma_0; \Sigma_P]$ . Based on it, the control mode in which the operator performs the task is determined [2]. Figure 5 shows the relationship between the summary result of CPC factors assessment and the control mode. There are 52 possible result combinations, the most favourable  $[\Sigma_N=0, \Sigma_0=2, \Sigma_P=7]$  means that there are 0 factors that negatively affect operator reliability, with 2 indefinite impacts, while 7 of them have a positive impact; the most adverse result which can be obtained is the combination  $[\Sigma_N=9, \Sigma_0=0, \Sigma_P=0]$ , where all 9 assessed factors have a negative impact on operator reliability [2].

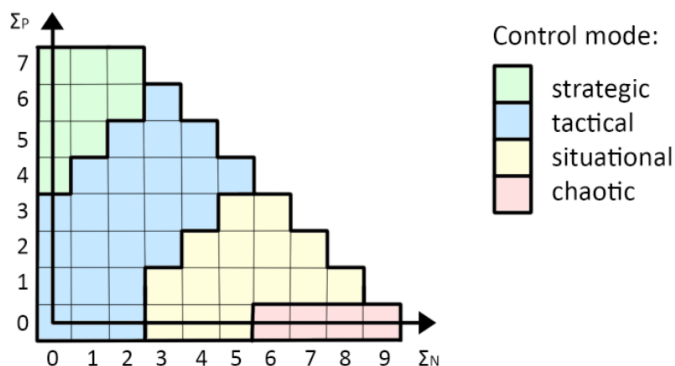


Fig. 4. Relationship between the summary result of CPC factors assessment and the mode of operator's control (based on [2])

### 3.2. Data source

Data for analysis were obtained as part of surveys carried out at WTP in 2019. Two operators of the fast filter rinsing process were evaluated for reliability. Respondents evaluated CPC factors, which were presented earlier in tab. 2.

## 4. Research results

Tables 3 and 4 present the results of the assessment of CPC factors by the examined operators and their impact on the level of reliability before and after the correction taking into account the relationships between the coefficients.

Table 3

### Results and impact of CPC assessment on operator A reliability

No.	CPC factor	Operator A		
		Level	Impact on the level of reliability	Corrected impact on the level of reliability
1	Adequacy of organisation	efficient	not significant	
2	Working conditions	advantageous	positive	positive
3	Adequacy of MMI and operational support	supportive	positive	
4	Availability of procedures/plans	appropriate	positive	
5	Number of simultaneous goals	matching current capacity	not significant	positive

				table 3 cont.
6	Available time	temporarily inadequate	not significant	positive
7	Time of day	day-time	not significant	
8	Adequacy of training and experience	adequate, limited experience	not significant	
9	Crew collaboration quality	efficient	not significant	not significant

**Table 4**

**Results and impact of CPC assessment on operator B reliability**

No.	CPC factor	Operator B		
		Level	Impact on the level of reliability	Corrected impact on the level of reliability
1	Adequacy of organisation	efficient	not significant	
2	Working conditions	compatible	not significant	not significant
3	Adequacy of MMI and operational support	adequate	not significant	
4	Availability of procedures/plans	appropriate	positive	
5	Number of simultaneous goals	matching current capacity	not significant	not significant
6	Available time	adequate	positive	positive
7	Time of day	day-time	not significant	
8	Adequacy of training and experience	adequate, high experience	positive	
9	Crew collaboration quality	efficient	not significant	positive

The summary results of the assessment of CPC factors for operator A are: before correction [ $\sum_N=0$ ;  $\sum_0=6$ ;  $\sum_P=3$ ], after correction [ $\sum_N=0$ ;  $\sum_0=4$ ;  $\sum_P=5$ ], whereas for operator B: before correction [ $\sum_N=0$ ;  $\sum_0=6$ ;  $\sum_P=3$ ], after correction [ $\sum_N=0$ ;  $\sum_0=5$ ;  $\sum_P=4$ ]. Based on the results, it was determined that both operators, according to the results before correction, act in a tactical control mode for which the probability of error is  $1 \cdot 10^{-3}$  to  $1 \cdot 10^{-1}$ . After considering the relationship between the factors and correcting the impact assessment on the level of reliability based on the results obtained, it was found that both operators act in a strategic control mode, for which the probability of making an error is from  $5 \cdot 10^{-5}$  to  $1 \cdot 10^{-2}$ .



## 5. Conclusions

The paper presents the application of the CREAM method to assess operator reliability during the rinsing process of fast water filters in WTP. The conducted tests showed that the examined operators act in a strategic control mode and the probability of their making a mistake is from  $5 \cdot 10^{-5}$  to  $1 \cdot 10^{-2}$ . These results indicate large experience and high qualifications of the examined operators.

The presented CREAM method allows us to assess operator reliability in an easy and quick way. Despite this, it should be noted that the results obtained are not precise, they only show us the range of the operator's probability of making error. The restrictions also apply to the model of interdependence between CPC factors. Further research should focus on obtaining accurate results and developing a dependency model covering all CPC factors.

## 6. References

1. Boring R.L.: Dynamic human reliability analysis: Benefits and challenges of simulating human performance. Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, ESREL, 2007.
2. Hollnagel E.: Cognitive Reliability and Error Analysis Method – CREAM. Elsevier, 1998.
3. Klich E., Kaleta R., Zieja M.: Metody identyfikacji przyczyn zdarzeń lotniczych. Materiały Szkoły Niezawodności, Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej, Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB, Szczyrk 2010.
4. Rak J., Tchórzewska-Cieślak B.: Pojęcie niezawodności i bezpieczeństwa pracy operatora w systemie wodociągowym. Instal, nr 2, 2019.
5. Rak J., Tchórzewska-Cieślak B., Żywiec J.: Czynniki niezawodności człowieka w systemach zaopatrzenia w wodę. Instal, nr 3, 2019.
6. Rak J., Tchórzewska-Cieślak B., Żywiec J.: Nowy segment estymatorów wskaźników niezawodności operatora systemu wodociągowego. Instal, nr 4, 2019.
7. Rasmussen M., Boring R., Ulrich T., Ewing S.: The Virtual Human Reliability Analyst. Advances in Human Error, Reliability, Resilience, and Performance, vol. 589, 2017.
8. Świdorska-Bróż M., Kowal A.L.: Oczyszczanie wody. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.
9. Smalko Z., Szpytko J.: The man - machine type systems modeling approach. Journal of KONBiN, No. 5 (8), 2008, DOI 10.2478/v10040-008-0111-x.
10. Tanga Y., Wu S., Miao X., Pollard S.J.T., Hrudey S.: Resilience to evolving drinking water contamination risks: a human error prevention perspective. Journal of Cleaner Production, Vol. 57, 2013.

11. Wu S., Hradey S., French S., Bedford T., Soane E., Pollard S.: A role for human reliability analysis (HRA) in preventing drinking water incidents and securing safe drinking water. *Water Research*, 43(13), 2009.

# **WYKORZYSTANIE METODY CREAM DO OCENY NIEZAWODNOŚCI OPERATORA W PROCESIE PŁUKANIA FILTRÓW POSPIESZNYCH NA STACJI UZDATNIANIA WODY**

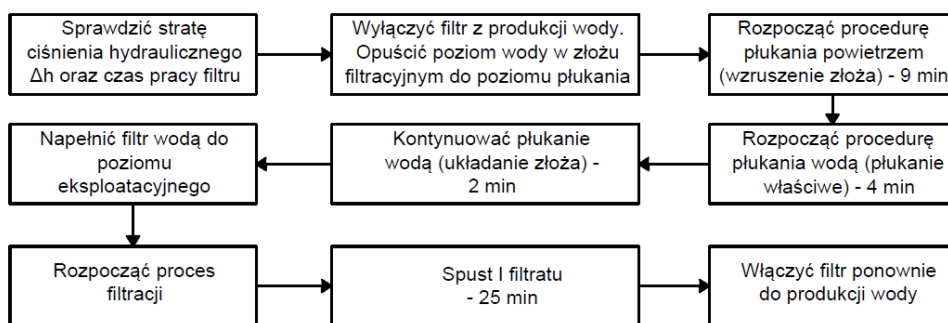
## **1. Wprowadzenie**

Systemami antropotechnicznymi określamy układy człowiek – obiekt techniczny – otoczenie [2,4,9]. Liczne publikacje naukowe wskazują na duży związek między działaniem człowieka a funkcjonowaniem systemu technicznego. W wielu przypadkach awarie systemów są związane z błędem popełnianym przez człowieka [1,3,7,9,10,11]. Problem ten zrodził potrzebę opracowania metod pozwalających ocenić niezawodność czynnika ludzkiego w działaniu systemów technicznych. Według definicji niezawodność operatora to prawdopodobieństwo poprawnego wykonania przez niego zadania stawianego przez system w określonych warunkach, w danym przedziale czasowym, bez popełnienia błędu [2,4]. Pierwsze metody oceny niezawodności operatora powstały już w latach 60. XX wieku. Wśród metod HRA (ang. Human Reliability Analysis) wyróżnia się: metody I generacji, takie jak: THERP (ang. Technique For Human Error-Rate Prediction), HEART (ang. Human Error Assessment And Reduction Technique) – ich głównym celem jest kwantyfikacja prawdopodobieństwa błędu operatora; metody II generacji np. CREAM (ang. Cognitive Reliability and Error Analysis Methods), ATHEANA (ang. A Technique for Human Event Analysis) – w metodach tych kładzie się nacisk na poznanie czynników wpływających na popełnienie błędu przez operatora; III generacja metod HRA np. DHRA (ang. Dynamic Human Reliability Analysis), VHRAM (ang. Virtual Human Reliability Analysis Method) – to metody wykorzystujące symulacje komputerowe w badaniach niezawodności operatora w warunkach dynamicznych [1,2,3,4,7].

Systemy zbiorowego zaopatrzenia w wodę (SZZW) są przykładem systemu antropotechnicznego [4,5,6]. W pracach [10,11] przedstawiono dane na temat związku działania człowieka, a awariami SZZW. Ze względu na zadania SZZW, jakim jest dostarczenie do konsumentów wody w odpowiedniej jakości i ilości, pod wymaganym ciśnieniem, w dowolnej chwili czasu, wpływ czynnika ludzkiego w ocenie niezawodności SZZW nie może zostać pominięty [4,5,6]. W pracy przedstawiono zastosowanie metody CREAM do oceny niezawodności operatora pracującego na stacji uzdatniania wody (SUW), która jest jednym z kluczowych elementów całego SZZW.

## 2. Przedmiot badań

Na potrzeby przedstawienia zastosowania metody CREAM do oceny niezawodności operatora w SUW przyjęto za przedmiot badań procedurę płukania filtrów pośpiesznych wody, znajdujących się na obiekcie. Jednym z podstawowych procesów w ramach ciągu technologicznego uzdatniania wody jest filtracja wody po procesie koagulacji na filtrach pośpiesznych. W procesie tym na skutek filtracji wody przez złożę antracytowo-piaskowe usuwane są zawiesiny naturalne oraz pokoagulacyjne [8]. Podczas eksploatacji złożę filtracyjne ulega zanieczyszczeniu zatrzymywanymi cząsteczkami i wymaga płukania. O konieczności przeprowadzenia płukania filtra decyduje operator na podstawie odczytów parametrów eksploatacyjnych, takich jak: wysokość straty ciśnienia wody na filtrze oraz czasu eksploatacji. Schemat procedury płukania filtrów przedstawiono na rys. 1. Skutkami błędnie przeprowadzonego procesu płukania filtra mogą być: ograniczenie wydajności filtra w kolejnym okresie eksploatacyjnym, przedostanie się usuwanych zanieczyszczeń do dalszych etapów uzdatniania lub nawet uszkodzenie złoża filtracyjnego [8].



Rys. 1. Schemat procedury płukania filtra pośpiesznego

## 3. Metodyka badań

### 3.1. Założenia metody

Metoda CREAM bazuje na modelu procesów poznawczych COCOM (ang. Contextual Control Model), który opisuje zależności między funkcjami poznawczymi zachodzącymi w umyśle człowieka [2]. W uproszczeniu model ten zakłada, że każde działanie człowieka wynika z kontrolowanego procesu użycia posiadanych kompetencji w zależności od wymagań danej sytuacji. Działania podejmowane przez człowieka mają również charakter intencjonalny oraz reaktywny. Kontrola człowieka nad podejmowanymi działaniami może płynnie zmieniać swój poziom – od jej całkowitego braku aż do pełnej kontroli [2]. Według

modelu COCOM w tym spektrum można wyróżnić cztery kategorie poziomów kontroli, zwane trybami kontroli [2]:

1. *Tryb kontroli chaotyczny* – operator podejmuje kolejne działania w sposób losowy, nieplanowany. Tryb ten jest charakterystyczny dla sytuacji nieprzewidywalnych, gdy operator traci możliwość logicznego myślenia, nie analizuje możliwych rozwiązań i skutków podejmowanych działań, ulega panice.

2. *Tryb kontroli sytuacyjny* – operator podejmuje kolejne działania w oparciu o chwilowy stan systemu, bez względu na realizację nadrzędnego celu zadania. Najczęściej dotyczy to sytuacji, w których występują ograniczenia czasowe lub operator nie potrafi odpowiednio zinterpretować chwilowego stanu systemu. Jego działania naśladują znane mu wzorce.

3. *Tryb kontroli taktyczny* – operator podejmuje kolejne działania według znanych mu procedur. W przypadku wystąpienia sytuacji nieznanego kolejnego działania podejmuje po przeanalizowaniu obecnych warunków, kontekstu sytuacji i stanu parametrów eksploatacyjnych systemu.

4. *Tryb kontroli strategiczny* – operator podejmuje działania w sposób zaplanowany, znając ich skutki. Na uwadze ma przede wszystkim realizację celu zadania. Operator ma dużą wiedzę i doświadczenie.

Każdy z trybów kontroli jest opisany przez wartości prawdopodobieństwa popełnienia błędu przez operatora, które zmniejszają się wraz ze wzrostem kontroli działania operatora [2]. Wartości te zostały przedstawione w tab. 1.

**Tabela 1**

**Prawdopodobieństwo błędu operatora w zależności od trybu kontroli (na podstawie [2])**

Tryb kontroli	Wartość prawdopodobieństwa
chaotyczny	$10^{-1} < P < 1$
sytuacyjny	$1 \cdot 10^{-2} < P < 5 \cdot 10^{-1}$
taktyczny	$1 \cdot 10^{-3} < P < 1 \cdot 10^{-1}$
strategiczny	$5 \cdot 10^{-5} < P < 1 \cdot 10^{-2}$

Istotą metody jest wyznaczenie prawdopodobieństwa popełnienia błędu przez operatora podczas wykonywania zadania na podstawie określenia trybu kontroli działania. W tym celu należy ocenić 9 czynników CPC (ang. Common Performance Conditions), których wpływ na niezawodność operatora może być pozytywny (zwiększa się poziom niezawodności), negatywny (zmniejsza się poziom niezawodności) lub wpływ nieokreślony [2]. W tabeli 2 przedstawiono możliwe oceny czynników CPC oraz ich wpływ na poziom niezawodności.

Tabela 2

**Możliwości oceny czynników CPC oraz ich wpływ na poziom niezawodności wykonania zadania (na podstawie [2])**

Lp.	Nazwa czynnika CPC	Ocena	Wpływ na poziom niezawodności
1	Organizacja pracy	bardzo efektywna	pozytywny
		efektywna	nieokreślony
		nieefektywna	negatywny
		bardzo nieefektywna	negatywny
2	Warunki pracy	korzystne	pozytywny
		odpowiednie	nieokreślony
		niekorzystne	negatywny
3	Jakość interfejsu człowiek – maszyna	efektywna	pozytywny
		odpowiednia	nieokreślony
		tolerowalna	nieokreślony
		nieodpowiednia	negatywny
4	Dostępność procedur/planów	odpowiednia	pozytywny
		akceptowalna	nieokreślony
		nieakceptowalna	negatywny
5	Liczba jednocześnie wykonywanych zadań	nieprzekraczająca aktualnych możliwości	nieokreślony
		odpowiadająca aktualnym możliwościom	nieokreślony
		przekraczająca aktualne możliwości	negatywny
6	Ilość czasu na wykonanie zadania	odpowiednia	pozytywny
		sporadycznie nieodpowiednia	nieokreślony
		ciągle nieodpowiednia	negatywny
7	Pora dnia	pora dzienna	nieokreślony
		pora nocna	negatywny
8	Kwalifikacje i doświadczenie	odpowiednie, duże doświadczenie	pozytywny
		odpowiednie, ograniczone doświadczenie	nieokreślony
		nieodpowiednia	negatywny
9	Współpraca zespołu	bardzo wydajna	pozytywny
		wydajna	nieokreślony
		niewydajna	nieokreślony
		bardzo niewydajna	negatywny

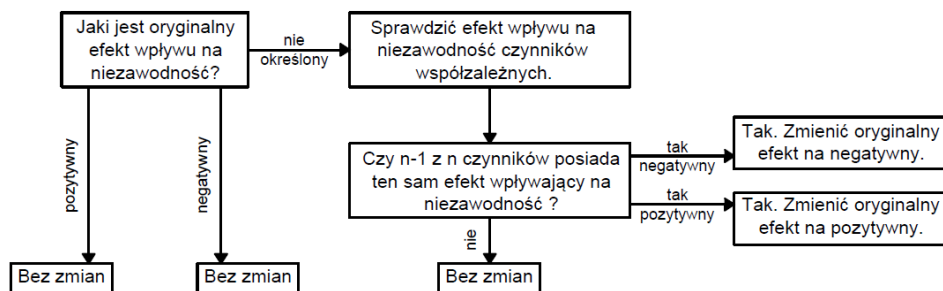
Czynniki CPC są od siebie współzależne według modelu przedstawionego przez E. Hollnagel w pracy [2]. Rozróżnia się dwa typy zależności: proporcjonalne (wzrostowi czynnika A odpowiada wzrost czynnika B) i odwrotnie proporcjonalne (wzrost czynnika A powoduje spadek czynnika B) [2]. Zależności te przedstawiono na rys. 2.

Czynnik CPC		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Organizacja pracy	Warunki pracy	Jakość interfejsu człowiek - maszyna	Dostępność procedur/planów	Liczba jednocześnie wykonywanych zadań	Ilość czasu na wykonanie zadania	Pora dnia	Kwalifikacje i doświadczenie	Współpraca zespołu
1	Organizacja pracy									
2	Warunki pracy	+		+			+	+	+	
3	Jakość interfejsu człowiek - maszyna	+								
4	Dostępność procedur/planów	+								
5	Liczba jednocześnie wykonywanych zadań		-	-	-					
6	Ilość czasu na wykonanie zadania		+	+	+	-		+		+
7	Pora dnia									
8	Kwalifikacje i doświadczenie	+								
9	Współpraca zespołu	+							+	

Legenda:  współzależność proporcjonalna  
 współzależność odwrotnie proporcjonalna

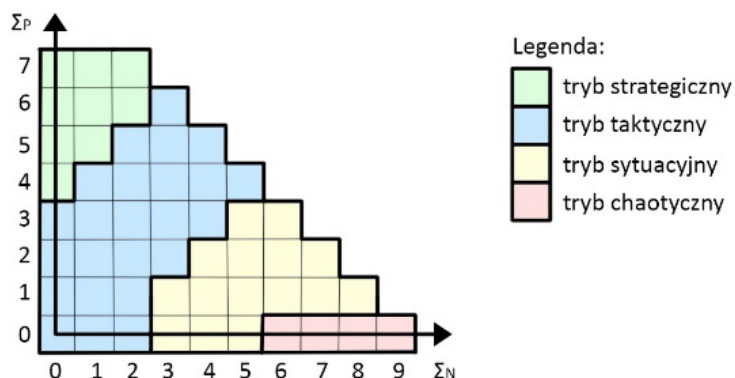
**Rys. 2.** Współzależności czynników CPC (na podstawie [2])

Jeżeli w pierwszym etapie oceny czynnika CPC uzyskany wynik ma „nieokreślony” wpływ na poziom niezawodności, należy sprawdzić wpływ czynników współzależnych [2]. Jeśli n-1 z n czynników współzależnych posiada jednakowy wpływ na poziom niezawodności (pozytywny lub negatywny) należy skorygować „nieokreślony” poziom wpływu na niezawodność zgodnie z wpływem n-1 czynników współzależnych [2]. Z rys. 2 wynika, że tylko 4 spośród 9 czynników CPC zależą od więcej niż jednego czynnika i należy rozważyć korektę ich wpływu na poziom niezawodności. Czynniki te to: warunki pracy, liczba jednocześnie wykonywanych zadań, ilość czasu na wykonanie zadania oraz współpraca zespołu. Procedurę korekty poziomu wpływu czynnika CPC na niezawodność przedstawiono na rys. 4.



Rys. 3. Zasady korekty poziomu wpływu na niezawodność dla czynników CPC współzależnych (na podstawie [2])

Po przeprowadzeniu korekty trzeba wyznaczyć sumaryczny wynik oceny czynników CPC [2]. Należy określić ilość czynników, posiadających negatywny wpływ na poziom niezawodności ( $\Sigma_N$ ), ilość czynników posiadających nieokreślony wpływ na poziom niezawodności ( $\Sigma_0$ ) oraz ilość czynników wpływających pozytywnie na poziom niezawodności ( $\Sigma_P$ ). Końcowy wynik należy przedstawić w postaci macierzy  $[\Sigma_N; \Sigma_0; \Sigma_P]$ . Na jego podstawie określa się tryb kontroli, w którym działa operator wykonując zadanie [2]. Na rys. 5 przedstawiono zależności pomiędzy wynikiem sumarycznym oceny czynników CPC a trybem kontroli. Istnieją 52 możliwe kombinacje wyniku, najkorzystniejsza  $[\Sigma_N=0, \Sigma_0=2, \Sigma_P=7]$  oznacza, że czynników wpływających negatywnie na niezawodność operatora jest 0, o wpływie nieokreślonym – 2, natomiast 7 z czynników ma wpływ pozytywny; najbardziej niekorzystnym wynikiem możliwym do uzyskania jest kombinacja  $[\Sigma_N=9, \Sigma_0=0, \Sigma_P=0]$ , gdzie wszystkie 9 ocenianych czynników wykazuje negatywny wpływ na niezawodność operatora [2].



Rys. 4. Zależność między sumarycznym wynikiem oceny czynników CPC, a trybem kontroli działania operatora (na podstawie [2])



### 3.2. Źródło danych

Dane do analizy uzyskano w ramach badań ankietowych przeprowadzonych na SUW w 2019 r. Ocenie niezawodności zostało poddanych dwóch operatorów procesu płukania filtrów pospiesznych. Ankietowani oceniali czynniki CPC, które zostały przedstawione wcześniej w tab. 2.

## 4. Wyniki badań

W tabelach 3 i 4 przedstawiono wyniki oceny czynników CPC przez badanych operatorów oraz ich wpływ na poziom niezawodności przed i po korekcie uwzględniającej zależności między współczynnikami.

**Tabela 3**

### Wyniki i wpływ oceny czynników CPC na poziom niezawodności operatora A

Lp.	Czynnik CPC	Operator A		
		Ocena	Wpływ na poziom niezawodności	Skorygowany wpływ na poziom niezawodności
1	Organizacja pracy	efektywna	nieokreślony	
2	Warunki pracy	korzystne	pozytywny	pozytywny
3	Jakość interfejsu człowiek – komputer	efektywna	pozytywny	
4	Dostępność procedur/planów	odpowiednia	pozytywny	
5	Liczba jednocześnie wykonywanych zadań	odpowiadająca możliwościom pracownika	nieokreślony	pozytywny
6	Ilość czasu na wykonanie zadania	czasami nieodpowiednia	nieokreślony	pozytywny
7	Pora dnia	pora dzienna	nieokreślony	
8	Kwalifikacje i doświadczenie	odpowiednie, ograniczone doświadczenie	nieokreślony	
9	Współpraca zespołu	wydajna	nieokreślony	nieokreślony

**Tabela 4**

**Wyniki i wpływ oceny czynników CPC na poziom niezawodności operatora B**

Lp.	Czynnik CPC	Operator B		
		Ocena	Wpływ na poziom niezawodności	Skorygowany wpływ na poziom niezawodności
1	Organizacja pracy	efektywna	nieokreślony	
2	Warunki pracy	odpowiednie	nieokreślony	nieokreślony
3	Jakość interfejsu człowiek – komputer	odpowiednia	nieokreślony	
4	Dostępność procedur/planów	odpowiednia	pozytywny	
5	Liczba jednocześnie wykonywanych zadań	nieprzekraczająca aktualnych możliwości pracownika	nieokreślony	nieokreślony
6	Ilość czasu na wykonanie zadania	odpowiednia	pozytywny	pozytywny
7	Pora dnia	pora dzienna	nieokreślony	
8	Kwalifikacje i doświadczenie	odpowiednie, duże doświadczenie	pozytywny	
9	Współpraca zespołu	wydajna	nieokreślony	pozytywny

Sumaryczny wynik oceny czynników CPC dla operatora A wynosi: przed korektą [ $\sum_N=0$ ;  $\sum_0=6$ ;  $\sum_P=3$ ]; po korekcie [ $\sum_N=0$ ;  $\sum_0=4$ ;  $\sum_P=5$ ]. Natomiast dla operatora B: przed korektą [ $\sum_N=0$ ;  $\sum_0=6$ ;  $\sum_P=3$ ]; po korekcie [ $\sum_N=0$ ;  $\sum_0=5$ ;  $\sum_P=4$ ]. Na podstawie wyników określono, że operatorzy A i B według wyników przed korektą działają w taktycznym trybie kontroli dla którego wartość prawdopodobieństwa popełnienia błędu wynosi  $1 \cdot 10^{-3}$  do  $1 \cdot 10^{-1}$ . Po uwzględnieniu zależności pomiędzy czynnikami i przeprowadzeniu korekty oceny wpływu na poziom niezawodności na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że operatorzy A i B działają w strategicznym trybie kontroli, dla którego wartość prawdopodobieństwo popełnienia błędu wynosi od  $5 \cdot 10^{-5}$  do  $1 \cdot 10^{-2}$ .

## 5. Wnioski

W pracy przedstawiono zastosowanie metody CREAM do oceny niezawodności operatora podczas procesu płukania filtrów pośpiesznych wody na SUW. Przeprowadzone badania wykazały, że badani operatorzy działają w strategicznym trybie kontroli, a prawdopodobieństwo popełnienia przez nich błędu wynosi od  $5 \cdot 10^{-5}$  do  $1 \cdot 10^{-2}$ . Wyniki te wskazują na duże doświadczenie oraz wysokie kwalifikacje badanych.

Przedstawiona metoda CREAM w łatwy i szybki sposób pozwala nam na ocenę niezawodności operatora. Należy zauważyć, że otrzymane wyniki nie są precyzyjne, pokazują nam jedynie przedział wartości prawdopodobieństwa popełnienia błędu przez operatora. Ograniczenia dotyczą również modelu współzależności między czynnikami CPC.

W dalszych badaniach należy skupić się na uzyskaniu dokładnych wyników oraz opracowaniu modelu zależności obejmującego wszystkie czynniki CPC.

## 6. Literatura

1. Boring R.: Dynamic human reliability analysis: Benefits and challenges of simulating human performance. Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, ESREL, 2007.
2. Hollnagel E.: Cognitive Reliability and Error Analysis Method – CREAM. Elsevier, 1998.
3. Klich E., Kaleta R., Zieja M.: Metody identyfikacji przyczyn zdarzeń lotniczych. Materiały Szkoły Niezawodności, Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej, Szczyrk, Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB, Szczyrk 2010.
4. Rak J., Tchórzewska-Cieślak B.: Pojęcie niezawodności i bezpieczeństwa pracy operatora w systemie wodociągowym. Instal, nr 2, 2019.
5. Rak J., Tchórzewska-Cieślak B., Żywiec J.: Czynniki niezawodności człowieka w systemach zaopatrzenia w wodę. Instal, nr 3, 2019.
6. Rak J., Tchórzewska-Cieślak B., Żywiec J.: Nowy segment estymatorów wskaźników niezawodności operatora systemu wodociągowego. Instal, nr 4, 2019.
7. Rasmussen M., Boring R., Ulrich T., Ewing S.: The Virtual Human Reliability Analyst. Advances in Human Error, Reliability, Resilience, and Performance, vol. 589, 2017.
8. Świdarska-Bróż M., Kowal A.L.: Oczyszczanie wody. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.
9. Smalko Z., Szpytko J.: The man – machine type systems modeling approach. Journal of KONBiN, No. 5 (8), 2008, DOI 10.2478/v10040-008-0111-x.
10. Tanga Y., Wu S., Miao X., Pollard S.J.T., Hrudehy S.: Resilience to evolving drinking water contamination risks: a human error prevention perspective. Journal of Cleaner Production, Vol. 57, 2013.
11. Wu S., Hrudehy S., French S., Bedford T., Soane E., Pollard S.: A role for human reliability analysis (HRA) in preventing drinking water incidents and securing safe drinking water. Water Research, 43(13), 2009.

