

**ROZPRAWY NAUKOWE I ZAWODOWE
PAŃSTWOWEJ WYŻSZEJ SZKOŁY ZAWODOWEJ
W ELBLĄGU**

Zeszyt 31



Elbląg 2022

**PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO WYDAWNICTWA
PWSZ W ELBLĄGU**

Prof. dr hab. inż. Jerzy Łabanowski

REDAKTOR NAUKOWY

Prof. dr hab. inż. Jerzy Łabanowski

REDAKCJA, KOREKTA I SKŁAD

Oficyna Wydawnicza Edytor.org

Lidia Ciecierska

PROJEKT OKŁADKI

Marek Lisewski

WYDANO ZA ZGODĄ REKTORA PWSZ W ELBLĄGU

© Copyright by Wydawnictwo PWSZ w Elblągu

ISSN 1895-8117

Wydawnictwo Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Elblągu

82-300 Elbląg, ul. Wojska Polskiego 1, tel. 55 629 05 55

Wydanie I. Nakład 120 egz., format B5

SPIS TREŚCI

Krzysztof Niburski Katarzyna Wasielewska	<i>Estymacja dostępnej przepustowości za pomocą metody Network Calculus</i>	5
Norbert Sacha Andrzej Borys	<i>Wykorzystanie teorii gier w modelowaniu komputerowych sieci bezprzewodowych</i>	17
Lesław Zabuski Jarosław Przewłócki	<i>Analiza stateczności oraz koncepcja zabezpieczenia zbrocza osuwiskowego w Mostkach k. Starego Sącza</i>	29
Paweł Magulski	<i>Case Study – Offshore Equipment Criticality in Main- tenance</i>	43
Nota o Autorach	53
Profil czasopisma	55

ESTYMACJA DOSTĘPNEJ PRZEPUSTOWOŚCI ZA POMOCĄ METODY NETWORK CALCULUS

Dostawcy usług internetowych prześcigają się w ofertach, które zwykle różnią się jedynie maksymalną przepustowością łącza. Powstaje pytanie, jak użytkownik może zmierzyć dostępną dla ruchu przepustowość. Problem ten jest dobrze znany specjalistom sieci komputerowych i niestety nie istnieje idealna metoda pomiaru dostępnej przepustowości. W artykule przedstawiamy wyniki eksperymentów z wykorzystaniem jednej z metod rachunku sieciowego, opracowanej do estymacji dostępnej przepustowości.

1. Wprowadzenie

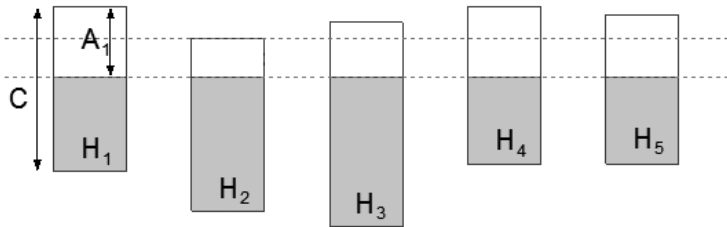
W sieciach komputerowych przepustowość jest jedną z metryk jakościowych QoS (ang. *Quality of Service*). Jest to maksymalna ilość danych, jaką możemy wysłać w danej jednostce czasu na danej ścieżce ze źródła ruchu do miejsca docelowego (end-to-end). Przepustowość mierzy się w danej chwili i nie zawsze jest ona taka, jak sugerują zapisy w umowie o świadczeniu usług telekomunikacyjnych. Przykładowo, gdy pobieramy film z serwisu internetowego, który wskazuje, że prędkość przesyłania danych powinna wynosić 10 Mb/s, może okazać się, że rzeczywista przepustowość na trasie z serwera do klienta jest mniejsza. Wynika to stąd, że na trasie mogą wystąpić ograniczenia przepustowości, których nie przewidzieli operatorzy serwisu. Medium lub węzeł, który najbardziej ogranicza transmisję, określa miarę przepustowości połączenia. Nie jest łatwo zmierzyć przepustowość dostępną dla ruchu. Problem jest znany od dawna nie tylko użytkownikom Internetu, administratorom sieci, ale również naukowcom. Zaproponowano wiele rozwiązań, ale żadne z nich nie jest idealne. Niektóre z narzędzi do estymacji dostępnej przepustowości opisano w dalszej części artykułu.

Dostępna przepustowość na ścieżce end-to-end w czasie t oznacza niewykorzystaną przepustowość, którą aplikacja może użyć bez wpływu na jakość transmisji pozostałych strumieni transmitowanych na tej ścieżce (rys. 1).

Dostępną przepustowość B obliczamy korzystając z następującego wzoru:

$$B(t) = \min_{1 \leq i \leq n} \{A_i(t)\} \quad (1)$$

gdzie A_i oznacza przepustowość dostępną w chwili t na węźle i .



Rys. 1. Przepustowość dostępna na ścieżce end-to-end

Na wyniki pomiaru przepustowości dostępnej dla ruchu sieciowego na ścieżce end-to-end wpływa wiele czynników. Są to m.in.: przeciążenia, ruch krzyżowy czy techniki kształtujące ruch (ang. *traffic shapers*), które opóźniają wybrane strumienie w celu osiągnięcia pożądanych parametrów transmisji. Mimo tych przeciwności, naukowcy nadal pracują nad znalezieniem dobrego rozwiązania tego problemu z powodu wielu korzyści, jakie może przynieść. Niektóre z obszarów, gdzie można wykorzystać informację o dostępnym paśmie, to: wybór trasy w procesie routingu, inżynieria ruchu sieciowego, dynamiczny wybór serwera, kontrola dostępu do zasobów czy weryfikacja umów SLA (ang. *Service Level Agreement*).

2. Narzędzia

Istnieje wiele metod pomiaru przepustowości dostępnej dla ruchu w sieci komputerowej na ścieżce end-to-end. Generalnie metody te dzielą się na: pasywne oraz aktywne. Pomiar dostępnej przepustowości przy pomocy metody aktywnej zakłada generowanie dodatkowych pakietów i wysyłanie ich ścieżką, na której chcemy dokonać pomiaru. Podejście to wykorzystuje większość istniejących technik. Podczas badania należy zadbać, aby generowane pakiety miały rozmiar zbliżony do pakietów z mierzonego ruchu, ponieważ pomiar powinien jak najbardziej odzwierciedlać rzeczywistą sytuację. Należy zauważyć, że sztucznie generowane do sieci dane powodują zmniejszenie jej wydajności i wpływają na działanie systemów monitorujących. Pomiar metodą pasywną natomiast nie wymaga od użytkownika generowania dodatkowych pakietów. Zasada tego podejścia polega na przechwytywaniu ruchu na obu końcach połączenia i analizie dostępnej przepustowości w oparciu o zebrany ruch. Pomimo że wyniki pomiaru metodą pasywną są bardziej wiarygodne, to zastosowanie tej techniki jest mniej powszechne. Wpływa na to m.in. skomplikowana implementacja oraz problem związany z umieszczeniem oprogramowania rejestrującego ruch sieciowy w miejscu docelowym (zwykle nie mamy dostępu do urządzeń zlokalizowanych na danej ścieżce).

Wśród narzędzi do estymacji dostępnej przepustowości możemy wyróżnić:

- Pathload [1] – Jest to aktywna metoda estymacji dostępnej przepustowości na ścieżkach internetowych. Metoda ta opiera się na założeniu, że na połączeniu end-to-end opóźnienie w jedną stronę (ang. *one-way delay*) kolejnych pakietów w generowanym strumieniu danych wykazuje tendencję wzrostową w przypadku, gdy prędkość wysłanych pakietów jest większa niż dostępna przepustowość.

- Yaz [2] – Narzędzie podobne do Pathload, ale generuje wyniki estymacji szybciej, z mniejszą ilością próbek i ze zwiększającą się w czasie dokładnością. Metoda ta jest nazywana skalibrowanym pathload'em. Yaz został zaprojektowany w celu poprawienia dokładności i czasu konwergencji metody Pathload.

- IGI/PTR [3] – Pomiar dostępnej przepustowości tymi metodami opiera się na wysyłaniu strumienia pakietów ze zwiększającym się odstępem między nimi. Najdokładniejszy pomiar uzyskuje się w sytuacji, kiedy przerwa między pakietami w miejscu źródłowym jest równa przerwie między pakietami w miejscu docelowym. Autorzy artykułu wykazali, że pomiar dostępnej przepustowości za pomocą narzędzi IGI oraz PTR jest szybszy niż za pomocą narzędzia Pathload.

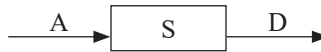
- pathChirp [4] – To kolejne narzędzie wykorzystujące metodę aktywną do szacowania dostępnej przepustowości na ścieżce end-to-end. Charakteryzuje się wykładniczym wzrostem tempa wysyłania pakietów w próbce, co autorzy nazwali „ćwierkaniem” (ang. *chirp*). Zastosowanie wzrastającej częstotliwości generowanych pakietów w kolejnych „ćwierkaniach” pozwoliło autorom metody dynamicznie oszacować dostępną przepustowość, która jest estymowana na podstawie opóźnień kolejek pakietów transmitowanych od nadawcy do odbiorcy.

Więcej informacji na temat metod estymacji dostępnej przepustowości można znaleźć w literaturze [7].

3. Estymacja dostępnej przepustowości za pomocą metody Network Calculus

Network Calculus [5] jest aparatem matematycznym umożliwiającym badanie wydajności sieci komputerowych. W celu zapewnienia odpowiedniej wydajności transmisji, kluczowe jest określenie minimalnej wartości dostępnych zasobów dla obsługiwanego ruchu sieciowego. Network Calculus oferuje do tego celu narzędzie nazywane krzywą serwisową (ang. *service curve*). Krzywa serwisowa opisuje sposób obsługi ruchu na węźle lub na ścieżce end-to-end i ma postać funkcji, która określa ograniczenie na prędkość tej obsługi.

Niech A oznacza funkcję skumulowanego ruchu przychodzącego do systemu komputerowego, D – funkcję skumulowanego ruchu wychodzącego z systemu, a S – krzywą serwisową (rys. 2). Zauważmy, że w praktyce w każdej rozważanej chwili:

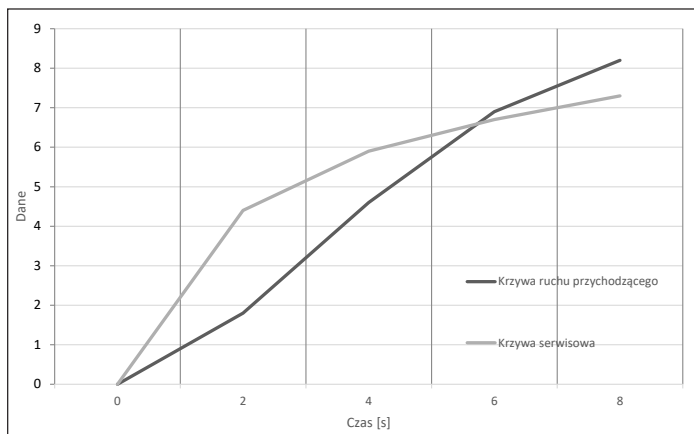


Rys. 2. Schemat systemu

Krzywa serwisowa jest funkcją czasu i określa wielkość serwisu dostępnego dla ruchu w określonym czasie. Ponadto krzywa serwisowa określa teoretyczne wykorzystanie zasobów, czyli może być bezpośrednio wykorzystana do badania wydajności w oparciu o estymację dostępnej przepustowości.

J. Liebeherr, M. Fidler i S. Valaee [6] sformułowali problem estymacji dostępnej przepustowości jako znalezienie nieznannej krzywej serwisowej systemu z wykorzystaniem metod algebry min-plus. W swoich pracach omówili następujące trzy metody: pomiary pasywne, rate scanning oraz rate chirps. Pierwsze podejście zostało opisane w poprzednim akapicie, podczas gdy pozostałe dwa to algorytmy wykorzystujące metodę aktywną pomiaru i niewymagające „wstrzyknięcia” dodatkowego ruchu. Autorzy zaznaczyli, że dwie ostatnie metody mogą mieć wpływ na wydajność sieci oraz że uruchomienie tych metod w rzeczywistej sieci może okazać się problematyczne.

Na rys. 3. został przedstawiony przykład wykresu krzywej serwisowej oraz krzywej ruchu przychodzącego dla pewnej transmisji. Z wykresu wynika, że użytkownik do 6 sekundy transmisji nie wykorzystał potencjalnie dostępnej przepustowości. Mogło to być spowodowane np. przez istniejący ruch krzyżowy. Po 6 sekundach transmisji krzywa ruchu przychodzącego do systemu wskazuje większe wartości niż krzywa serwisowa. Oznacza to, że ruch, który został wysłany do systemu, był szybszy niż minimalna wartość dostępnych zasobów dla tej transmisji.



Rys. 3. Ilustracja krzywej serwisowej

W pracy [6], korzystając z danych pomiarowych otrzymywanych w metodzie pasywnej, zaproponowano metodę estymacji dostępnego pasma za pomocą estymatora krzywej serwisowej zdefiniowanego następująco:

$$\tilde{S} = D^p \oslash A^p \quad (2)$$

gdzie jest funkcją skumulowanego ruchu wychodzącego, jest funkcją skumulowanego ruchu przychodzącego (obie funkcje wyrażają sumę bitów składających się na ruch wychodzący i, odpowiednio, przychodzący w czasie obserwacji), jest operatorem rozplotu w sensie algebry min-plus zdefiniowanym dla funkcji i następująco:

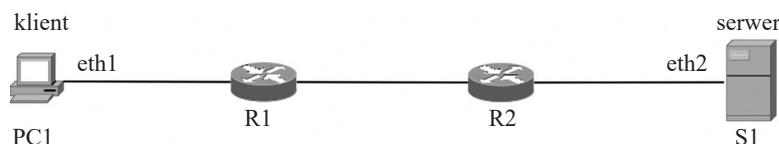
$$f \oslash g(t) = \sup_{\tau} \{f(t + \tau) - g(\tau)\}. \quad (3)$$

W dalszej części artykułu metodę tę będziemy nazywać metodą LFV (od nazwisk autorów publikacji).

4. Implementacja metody lfV w architekturze klient-serwer

W celu weryfikacji metody LFV w naturalnym środowisku sieciowym, w warunkach laboratoryjnych zbudowano sieć komputerową bez dostępu do Internetu (Przypadek A – rys. 4) oraz z dostępem do Internetu (Przypadek B – rys. 5). Implementacja została wykonana w architekturze klient-serwer na komputerach wyposażonych w system operacyjny Linux (architektura systemu: procesor Intel® Core™ i5-4570 CPU @ 3.20GHz x 4, 64-bitowy, Ubuntu 18.10). Maksymalna szybkość transmisji danych na każdej z kart sieciowych wynosiła 100 Mb/s. Metodę LFV zaimplementowano na kliencie, jednak jej wykorzystanie wymagało stworzenia aplikacji klient-serwer. Celem wykorzystania tej architektury było umożliwienie estymacji dostępnej przepustowości dla wybranego ruchu sieciowego transmitowanego pomiędzy klientem i serwerem. Aplikacje klienta i serwera stworzono w języku C. W procesie implementacji wykorzystano następujące narzędzia: AWK¹, SED² oraz tcpdump³.

Przypadek A. Pierwsze eksperymenty przeprowadzono w sieci bez dostępu do Internetu. Topologia sieci została przedstawiona na rys. 4. Aplikacja klienta została zainstalowana na stacji roboczej PC1, a aplikacja serwera – na serwerze S1.



Rys. 4. Topologia sieci – Przypadek A

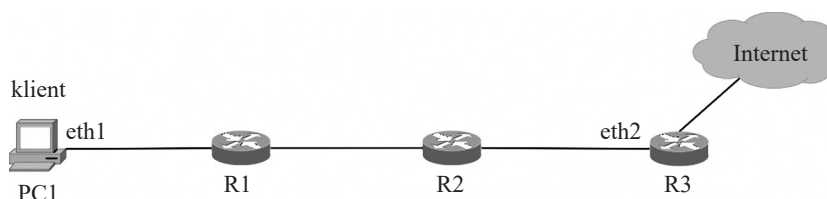
¹ Interpretowany język programowania wykorzystywany do przetwarzania wzorców m.in. z plików zawierających dane tabelaryczne.

² Edytor strumieniowy, który występuje w zestawie komend systemów UNIX i służy do przetwarzania tekstu.

³ Sniffer służący do śledzenia komunikacji w sieciach komputerowych.

Na serwerze uruchomiono serwis FTP i na kliencie PC1 pobierano plik z serwera. Segmenty przechwytywane były jednocześnie na interfejsach eth1 i eth2. Na kliencie powstała funkcja skumulowanego ruchu wychodzącego z systemu, a na eth2 – funkcja skumulowanego ruchu wchodzącego do systemu (system rozpatrywany był jako środowisko pomiędzy PC1 a S1). Obliczenia niezbędne do wyznaczenia krzywej serwisowej były prowadzone na komputerze PC1. Tym samym zasymulowano możliwość wykorzystania aplikacji w praktyce, w sytuacji kiedy użytkownik chce zmierzyć przepustowość dostępną na połączeniu end-to-end (od serwera S1 do klienta PC1). Rozwiązanie umożliwiało użytkownikowi wybranie czasu estymacji oraz długości interwału czasowego.

Przypadek B. W drugim przypadku eksperymenty przeprowadzono w sieci z dostępem do Internetu. Topologia sieci została przedstawiona na rys. 5. Sposób przeprowadzenia badania był identyczny jak w przypadku pierwszym, ale pomiar był wykonywany dla ruchu pobieranego z sieci Internet.



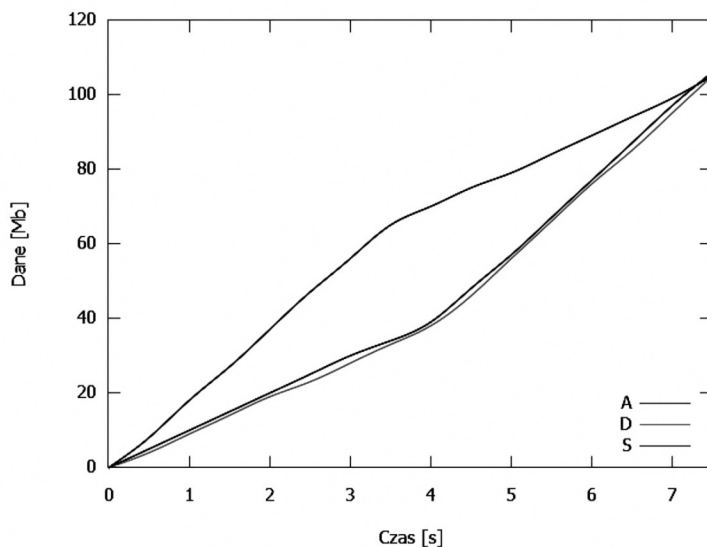
Rys. 5. Topologia sieci – Przypadek B

W celu zbadania różnych przypadków, podczas niektórych badań na routerach R1 oraz R2 ograniczano przepustowość. W przypadku A ruch był ograniczany za pomocą przycinania pasma na interfejsie, a w przypadku B wprowadzono zakłócenia polegające na przeciążeniu łącza na routerach pośredniczących. Parametry, które były zmieniane podczas obliczania funkcji skumulowanego ruchu wychodzącego z systemu i przychodzącego do systemu oraz krzywej serwisowej, to długość estymacji (w sekundach) oraz interwał czasowy, w którym sumowane były dane.

5. Wyniki eksperymentów

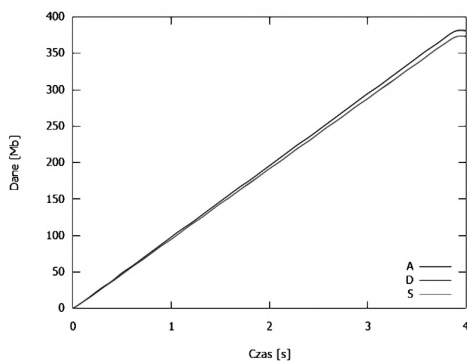
Przeprowadzono szereg eksperymentów mających na celu weryfikację działania metody LFV. Wynik jednego z nich przedstawia rys. 6. Estymacja trwała 8 sekund i analizowano przepustowość dostępną dla danych pobieranych z serwera FTP. Celowo ograniczono pasmo w pierwszej części estymacji. Metoda LFV oszacowała średnią przepustowość na poziomie 13,5 Mb/s. Z wykresu wynika, że im większa prędkość pobierania pliku, tym mniejsza przepustowość pozostaje dostępna. Do 4 se-

kundy eksperymentu prędkość przesyłania była mniejsza niż od 4 sekundy, a zatem do 4 sekundy uwidoczniono więcej niewykorzystanego pasma niż od 4 sekundy.

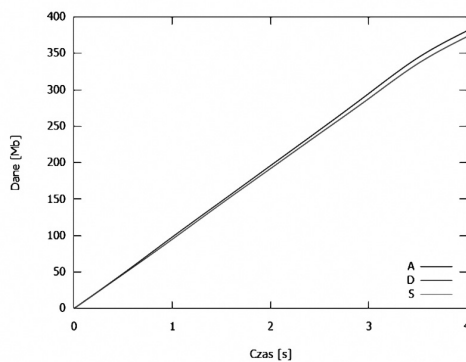


Rys. 6. Wynik estymacji krzywej serwisowej

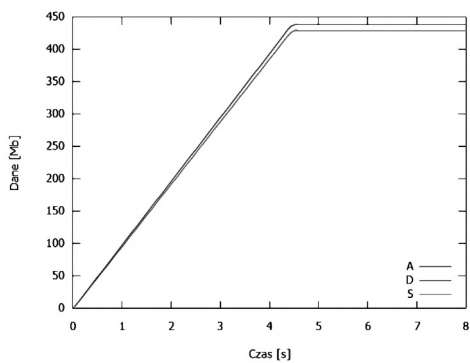
Na wykresach zaprezentowanych na rys. 7 przedstawiono charakterystyczne krzywe serwisowe, które wygenerowano podczas eksperymentów. Podczas testów uwzględniono różne przedziały i interwały czasowe.



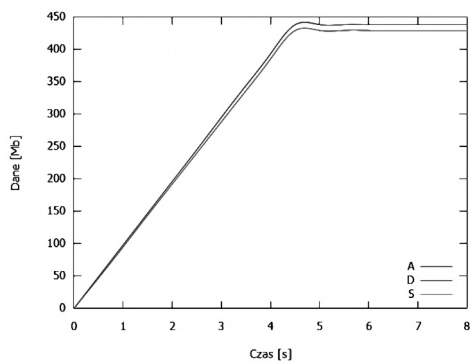
7a



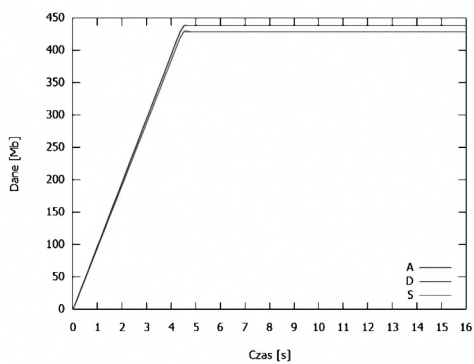
7b



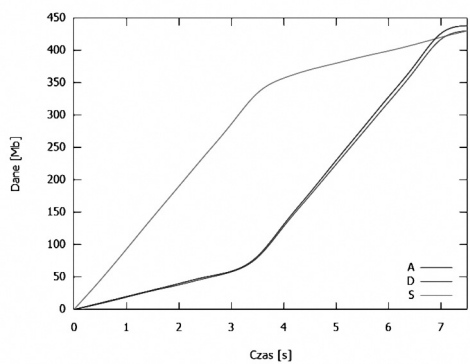
7c



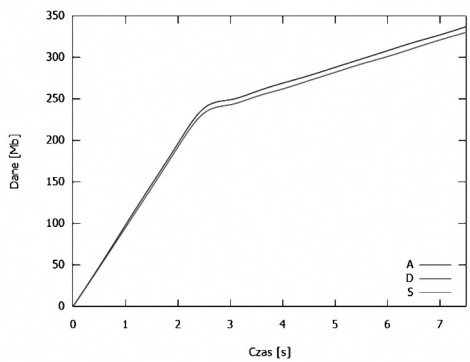
7d



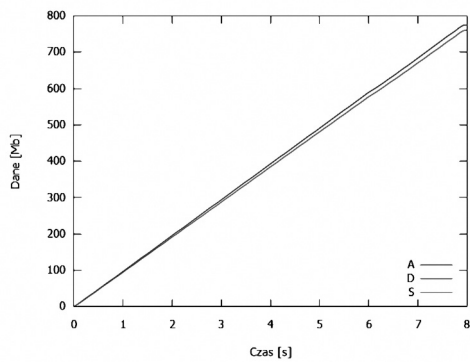
7e



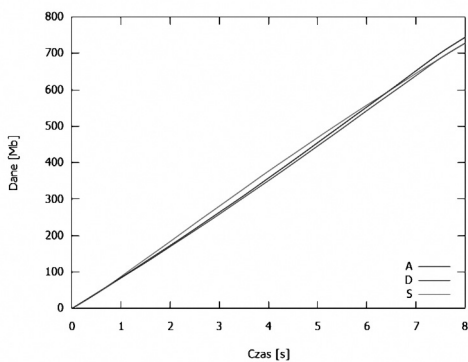
7f



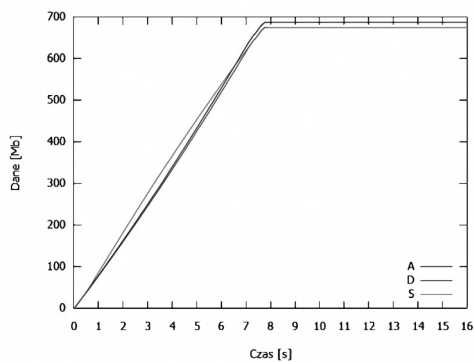
7g



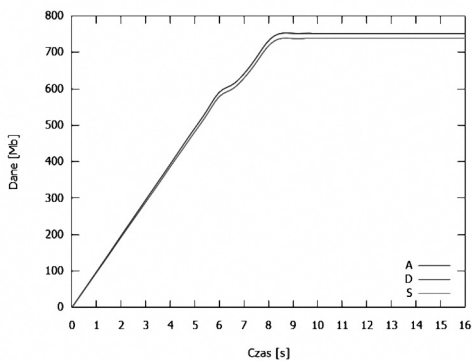
7h



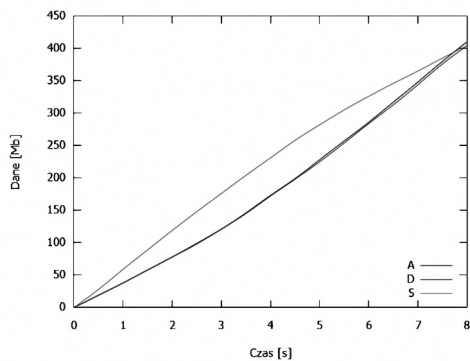
7i



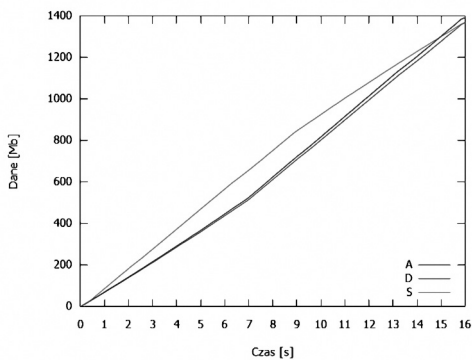
7j



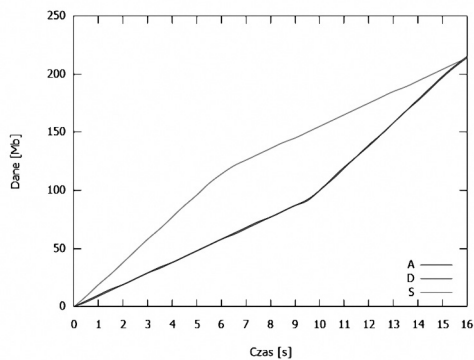
7k



7l



7m



7n

Rys. 7. Funkcje skumulowanego ruchu przychodzącego/wychodzącego do/z systemu oraz estymacja krzywej serwisowej dla różnych przedziałów czasowych, topologii sieci oraz interwałów czasowych

Wykresy na rys. 7a–g przedstawiają wyniki badań dla topologii A, gdzie plik pobierany był z serwera FTP. Wykresy od h do n prezentują wyniki badań dla topologii B, w której plik był pobierany z sieci Internet. Warto zauważyć, że w obu przypadkach prędkość pobierania pliku bez wprowadzania żadnych zakłóceń wyniosła niewiele ponad 90 Mb/s. Podczas omawianych eksperymentów zmieniane były parametry: czas estymacji wynoszący: 4 sekundy (rys. a, b), 8 sekund (rys. c, d, f, g, h, i, l) lub 16 sekund (rys. e, j, k, m, n) oraz interwał czasowy, w którym zbierane były wyniki: 0,1 sekundy (rys. a, c, e, h, j, m) lub 0,5 sekundy (rys. b, d, f, g, i, k, l, n).

Podczas pierwszych pięciu badań (rys. 7a–e) nie wprowadzano żadnego zakłócenia transmisji. Jako że prędkość pobierania pliku była zbliżona do dostępnej przepustowości, to różnice pomiędzy krzywą serwisową a krzywymi ruchu przychodzącego do systemu i wychodzącego z systemu są znikome. Dodatkowo rys. 7c–e wskazują, że gdy czas trwania badania był większy niż 4 sekundy, to plik został całkowicie pobrany, ponieważ na rysunku widać, że od około 4 sekundy prędkość pobierania wynosiła 0 Mb/s.

Wykresy na rys. 7f i na rys. 7g wydają się być bardziej interesujące. Pomimo że czas estymacji wynosił 8 sekund, to z powodu wprowadzenia zakłóceń, plik nie został w tym czasie całkowicie pobrany. Wykres na rys. 7f można zinterpretować podobnie jak wykres na rys. 4 – przedstawiony na początku rozdziału. Na rys. 7g zaprezentowano sytuację, kiedy przepustowość została ograniczona po 2 sekundach transmisji, co spowodowało znaczące obniżenie prędkości pobierania pliku.

Wykresy obrazujące pobieranie pliku z Internetu bez zakłóceń transmisji zostały zaprezentowane na rys. 7h–k. Podobnie jak w przypadku pobierania pliku z serwera FTP, krzywe serwisowe na tych wykresach mają bardzo zbliżony przebieg do funkcji skumulowanego ruchu przychodzącego oraz funkcji skumulowanego ruchu wychodzącego. Zatem w danej chwili osiągnięto niemal całkowicie przepustowość dostępną na ścieżce end-to-end. Zupełnie inaczej sytuacja wygląda na rys. 7l–n, gdzie z powodu wprowadzenia zakłóceń (ruch krzyżowy, przycinanie pasma), krzywa serwisowa może zobrazować użytkownikowi, jaka jest różnica pomiędzy dostępną przepustowością a rzeczywistą transmisją na ścieżce end-to-end.

Podsumowanie

Metoda estymacji pasma, o której jest mowa w niniejszym artykule, pomaga zobrazować zmiany i oszacować przepustowość dostępną dla ruchu na ścieżce end-to-end (w określonym czasie). Wyniki uzyskano, prowadząc badania w dwóch przykładowych środowiskach sieciowych: w sieci lokalnej (z pełnymi uprawnieniami administracyjnymi) oraz w sieci rozległej (z ograniczonym zasięgiem możliwości zarządzania). Korzystając z metody LFV i analizując uzyskane wykresy, można wywnioskować, czy użytkownik wykorzystał całą dostępną przepustowość dla danego

połączenia. Mimo swoich zalet metoda LFV nie została dotąd wdrożona na urządzeniach sieciowych i nie można z niej korzystać w praktyce, a dokładna estymacja dostępnej przepustowości nadal jest wyzwaniem dla naukowców i dostawców usług sieciowych.

Literatura

1. M. Jain, C. Dovrolis, *Pathload: A Measurement Tool for End-to-End Available Bandwidth*, in: Proceedings of Passive and Active Measurements, New York 2002, pp. 14–25.
2. J. Sommers, P. Barford, W. Willinger, *A Proposed Framework for Calibration of Available Bandwidth Estimation Tools*, 11th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC'06), Cagliari 2006, pp. 709–718.
3. N. Hu, P. Steenkiste, *Evaluation and characterization of available bandwidth probing techniques*, “IEEE Journal on Selected Areas in Communications” 2003, vol. 21, pp. 879–894.
4. V. Ribeiro, R. Riedi, R.J. Baraniuk, J. Navratil, L. Cotrell, *PathChirp: efficient available bandwidth estimation for network paths*, in: Passive and Active Measurement Workshop, San Diego 2003.
5. R.L. Cruz, *A calculus for network delay*, Part I and II, “IEEE Transactions on Information Theory” 1991, vol. 37.
6. J. Liebeherr, M. Fidler, S. Valaee, *A system-theoretic approach to bandwidth estimation*, “IEEE/ACM Transactions on Networking” 2010, vol. 18, no. 4, pp. 1040–1053.
7. S.S. Chaudhari, R. Biradar, *Survey of Bandwidth Estimation Techniques in Communication Networks*, “Wireless Personal Communications” 2015, 83 (2), DOI: 10.1007/s11277-015-2459-2.

Norbert Sacha
Andrzej Borys

WYKORZYSTANIE TEORII GIER W MODELOWANIU KOMPUTEROWYCH SIECI BEZPRZEWODOWYCH

W artykule tym, o charakterze informacyjnym, omówiono pokrótce specyfikę modelowania sieci bezprzewodowych z wykorzystaniem teorii gier. Przedstawiono również przegląd osiągnięć w powyższym zakresie, opublikowanych w ostatnim czasie.

Wstęp

Rok 1944 uznaje się za rok powstania nowej, w pełni już dojrzałej (w owym czasie) teorii matematycznej nazywanej teorią gier, zaś Johna von Neumanna i Oskara Morgensterna uważa się za jej twórców [1–6]. Teoria ta w latach następnych była z wielkim powodzeniem stosowana do rozwiązywania różnych zagadnień i problemów ekonomicznych, co znalazło uznanie w wielokrotnym przyznaniu nagrody Nobla za osiągnięcia na tym polu (Herbert Simon w roku 1978, John Nash, John Harsanyi i Reinhard Selten w 1994, William Vickrey i James Mirrlees w 1996, Thomas C. Schelling i Robert J. Aumann w 2005 oraz Leonid Hurwicz, Eric S. Maskin, Roger B. Myerson w 2007 roku). Jej docenione w ten sposób sukcesy zainspirowały naukowców z innych dziedzin do rozwiązywania podobnych problemów, jak te występujące w ekonomii. Na jej możliwości zwrócili uwagę także inżynierowie mający do czynienia z zagadnieniami optymalizacyjnymi, które dają się opisać w kategoriach i sytuacjach gry różnych czynników, i gdzie wymagane jest podejmowanie racjonalnych, przemyślanych decyzji. A takie sytuacje, jak wiemy, występują w sieciach teleinformatycznych, bo wymagana jest w nich optymalizacja połączeń i zapewnianie dostępu (do nich) jak największej liczbie użytkowników; co ma na celu zwiększenie efektywności działania i maksymalizację wykorzystania sieci telekomunikacyjnych, a w szczególności bezprzewodowych sieci komputerowych.

Artykuł ten został poświęcony modelowaniu mechanizmów przepływu danych w bezprzewodowych sieci komputerowych z wykorzystaniem teorii gier. Ma on charakter informacyjny.

1. Najważniejsze pojęcia i definicje występujące w teorii gier oraz klasyfikacja gier

Obecnie teoria gier jest bardzo dobrze opisana w wielu pozycjach literaturowych; doczekała się dobrych monografii i podręczników, nie mówiąc już o artykułach przeglądowych. Niektóre z tych pozycji [1–6] zostały przywołane w literaturze na końcu artykułu. Poniższe rozważania warto rozpocząć od podania w skrócie najważniejszych pojęć i definicji występujących w teorii gier. Do najważniejszych elementów teorii gier możemy zaliczyć:

- graczy (minimalna ich liczba, z oczywistych względów, musi wynosić dwa),
- reguły (np. gracze wykonują zadania, którymi dzielą się po połowie),
- strategia (możliwe sposoby postępowania),
- wynik (np. większy lub mniejszy w zależności od wykonywanych zadań),
- wypłaty (wszystkim strategiom są przypisane odpowiednie wypłaty).

Mając powyższe na uwadze, teorię gier można krótko scharakteryzować jako naukę, która daje bazę do wypracowywania optymalnej taktyki (strategii) podmiotom (graczom) biorącym udział w danej grze dla osiągnięcia swoich celów (w tej grze). Przy czym cele do osiągnięcia przez poszczególnych graczy są ze sobą w konflikcie. Dalej zakłada się, że każda gra rozpatrywana na gruncie teorii gier jest jednoznacznie opisana poprzez swoje reguły. W wyniku takiego czy innego działania gracz osiąga jakiś wynik, któremu jest przypisana korzyść (wypłata). Jest ona określona liczbowo.

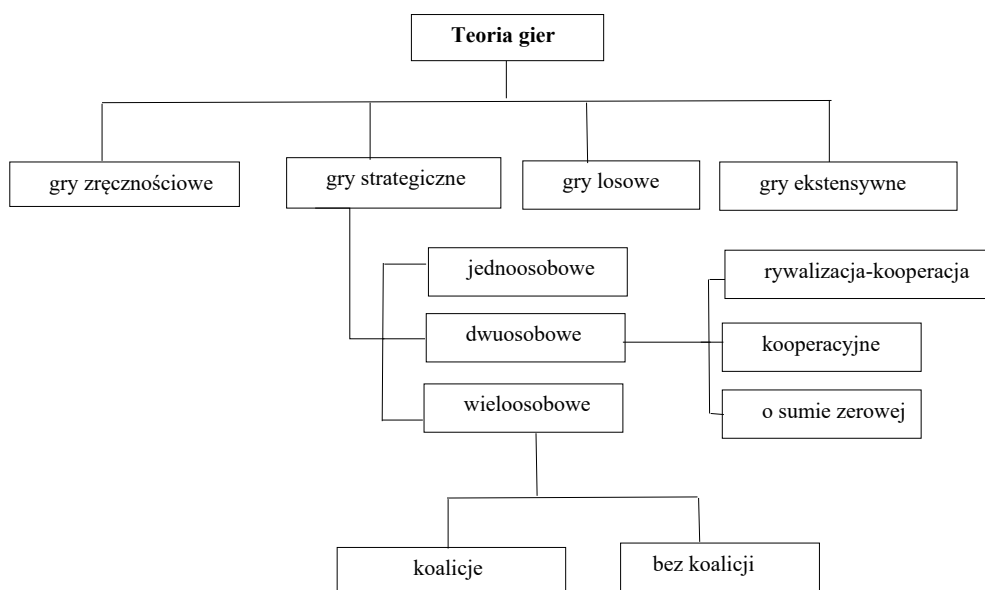
W literaturze podawanych jest co najmniej parę (trochę różniących się od siebie) klasyfikacji gier. Mówimy też o rodzajach gier. Najczęściej spotykamy się z następującymi rodzajami gier:

- jednoetapowe/wieloetapowe,
- z pełną informacją/z niepełną informacją,
- z kompletną pamięcią/z niekompletną pamięcią,
- jednorazowe/powtarzalne,
- z dwoma graczami/z wieloma graczami.

Jedną z przykładowych klasyfikacji rodzajów gier, którymi zajmuje się teoria gier, przedstawia rys. 1.

Inną klasyfikację gier przedstawia załączona poniżej lista, w której wyróżniamy następujące podziały:

1. ze względu na czas podejmowanych decyzji przez gracza (w danej grze);
2. ze względu na wiedzę posiadaną przez gracza;
3. ze względu na zbiory i funkcje matematyczne wykorzystywane przez graczy;
4. ze względu na czas, jakim dysponuje gracz;
5. ze względu na (ciągłą) powtarzalność czynności przez graczy;
6. ze względu na rolę, jaką gracz pełni w danej grze.



Rys. 1. Jedna z zaproponowanych klasyfikacji gier, którymi zajmuje się teoria gier

Bardzo ważną rolę w teorii gier odgrywa kooperacja graczy w ich działaniach prowadzących do osiągnięcia wyznaczonych celów – lub jej brak. Dlatego wyróżnia się w teorii dwie odrębne kategorie: gry kooperacyjne i gry niekooperacyjne.

Inną ważną rzeczą (lub też wyznacznikiem rodzaju gry) jest suma wypłat wszystkich graczy w niej uczestniczących. Jeżeli ma ona wartość zerową dla każdego możliwego do uzyskania w grze wyniku, to o takiej grze mówimy, że jest ona grą o sumie zerowej. W przeciwnym przypadku mamy do czynienia z grą o sumie niezerowej.

2. Prosty przykład zastosowania teorii gier w modelowaniu komputerowych sieci bezprzewodowych

Przykład, który przedstawiamy w tym rozdziale, ilustruje najważniejsze elementy i specyfikę zastosowania teorii gier w modelowaniu komputerowych sieci bezprzewodowych. Nawiązuje on do jednej z ulubionych gier wykorzystywanych w podręcznikach (czy też artykułach przeglądowych) w celu poglądowego wyjaśnienia podstaw teorii gier. Gra, którą mamy tutaj na myśli, jest nazywana „dylematem więźnia”. Jej reguły i zasady spróbujemy zastosować do modelowania działania komputerowej sieci bezprzewodowej typu ad hoc.

Rozpatrzmy pracę dwóch stacji w komputerowej sieci bezprzewodowej typu ad hoc. Nazwijmy je A i B. Załóżmy dalej, że obydwie stacje zaczynają nadawać

jednocześnie, tj. w tym samym momencie z bardzo dużą mocą swoich nadajników (to znaczy z taką mocą, że wysyłane przez nie pakiety docierają do więcej stacji niż tylko dwie; innymi słowy nadawanie takie ma charakter zagłuszający). W rzeczywistości wytworzenie takiej sytuacji może być trudne, zwłaszcza w sieciach ad hoc, ze względu na ograniczone maksymalne moce, z którymi mogą pracować stacje (lub które są w stanie wytworzyć). Jednakże, przynajmniej teoretycznie, jest to możliwe. Wtedy dochodzi oczywiście do silnego zniekształcenia sygnałów odbieranych, które uniemożliwia ich poprawny odbiór przez stacje, do których są adresowane. Taką sytuację nazywamy kolizją pakietów. W jej wyniku żadne pakiety od stacji A ani żadne od stacji B nie dotrą do swoich adresatów. I żadna z ww. stacji „nie otrzyma nagrody” za odniesienie sukcesu w skutecznym przesłaniu pakietów do adresatów (tych pakietów).

Wyobraźmy sobie teraz inny przypadek. To jest taki, w którym jedna stacja, np. stacja A, zaczyna nadawać z taką mocą nadajnika, że sąsiedzi, którzy są w jej zasięgu zaczynają odbierać pakiety. Oznacza to, że stacja A nadaje pakiety z dosyć dużą mocą, a stacja B z bardzo małą mocą, tak że nie jest dostępna dla swoich sąsiadów (albo też w ogóle nie nadaje). W tym przypadku mamy do czynienia z taką sytuacją, że sąsiad stacji A, do którego są adresowane wysyłane przez nią pakiety, odbiera je poprawnie (tj. „rozumie je”). A o stacji B mówimy, że wtedy „milczy” (to jest nie zakłóca stacji A, ale „jest świadoma”, że stacja A nadaje, bo pakiety od stacji A docierają do stacji B. Zatem możemy powiedzieć, że stacja A „ma sukces” w wysyłce pakietów (pozytywny wynik), natomiast stacja B „nie może pochwalić się takim wynikiem” (tj. ma wynik negatywny).

Kolejny przypadek, który może wystąpić, jest analogiczny do poprzedniego; to znaczy, gdy stacja B nadaje pakiety, natomiast stacja A „milczy”. Zatem wtedy nagrodę otrzymuje stacja B za przekazywanie pakietów z sukcesem.

Jeszcze inny przypadek wystąpi, gdy obie stacje zaczną nadawać jednocześnie, ale ze zbyt małą mocą, aby pakiety mogły dotrzeć do swoich adresatów. A zatem w tym przypadku żadna ze stacji nie będzie miała w pierwszej chwili sukcesu w skutecznym dostarczeniu pakietów do ich adresatów. Założmy, jednakże, że stacje A i B rozpoznają tę sytuację i w jej wyniku zwiększają swoje moce nadawcze, tak aby wysyłane pakiety zaczęły docierać do sąsiadów. I wydaje się, że gra zaczyna się dokładnie od nowa, tj. od pierwszego przypadku omówionego powyżej (ale niekoniecznie, bo wszystko zależy też od tego, czy stacje jednocześnie zwiększą swoją moc nadawania oraz od tego, jakie są odległości stacji A i B od stacji, do których są adresowane wysyłane przez nie pakiety). Ale możemy powiedzieć tak: ten ostatni przypadek różni się jednak nieco od tego pierwszego (na plus). Zatem umawiamy się, że – w związku z tym – „przyznajemy w nim małą nagrodę” zarówno stacji A, jak i B.

Oczywiście zbiór wszystkich możliwych sytuacji (scenariuszy), które mogą zaistnieć w jakiejś bezprzewodowej sieci ad hoc, jest większy niż ten składający się tylko z czterech możliwości omówionych powyżej. Scenariusze te będą się od siebie

odróżniały wartościami mocy sygnału wysyłanego przez stacje A i B (można nią sterować i to się robi) oraz wzajemnym położeniem stacji wchodzących w skład rozpatrywanej sieci (mogą się one przemieszczać, zmieniając swoje położenia – jedno w stosunku do drugich). Ale wszystkie te scenariusze zawsze będzie można „podpiąć” pod jedną z następujących czterech kategorii:

1. obydwu stacjom A i B nie udaje się dostarczyć pakietów do ich adresatów z powodu wystąpienia kolizji (pakietów);

2 i 3. udaje się to jednej z nich (A albo B), a drugiej nie (B albo A) oraz

4. wprawdzie obydwu stacjom A i B nie udaje się dostarczyć pakietów do ich adresatów, ale kolizja (pakietów) nie występuje, więc są „jeszcze szanse na osiągnięcie przez jedną ze stacji sukcesu przy zwiększeniu nadawanej mocy lub swego położenia”. I na koniec zwróćmy uwagę, że opisane cztery kategorie są tożsame z czterema możliwościami opisanymi powyżej.

Przejdźmy w następnym kroku naszych rozważań do przełożenia opisanych powyżej sytuacji, w których mogą się znaleźć stacje bezprzewodowe A i B, na język teorii gier. A więc, po pierwsze, widzimy tutaj, że stacje A i B mają dwie możliwości, a mianowicie:

- nadawać ze znaczną mocą (tj. wysyłać pakiety ze znaczną mocą w wypromieniowanym sygnale, tak aby być „słyszalnym”) – oznaczmy symbolicznie tę możliwość literą „O”;

- w ogóle nie nadawać lub nadawać z obniżoną mocą (tj. nie wysyłać pakietów lub wysyłać je ze zbyt małą mocą, tak że nie jest się „słyszalnym”) – symbolicznie oznaczmy tę możliwość literą „M”.

Ponadto z opisu przedstawionego powyżej należy wnosić, że gracze (tj. stacje) wybierają niezależnie od siebie jedną z ww. możliwości O lub M (to znaczy podejmują niezależne decyzje o nadawaniu z dużą mocą lub o nienadawaniu w ogóle lub nadawaniu z małą mocą). Innymi słowy, zakładamy tutaj, że gracze nie mają ze sobą kontaktu i tym samym „niczego ze sobą nie ustalają”.

Dalej ustalamy, co następuje:

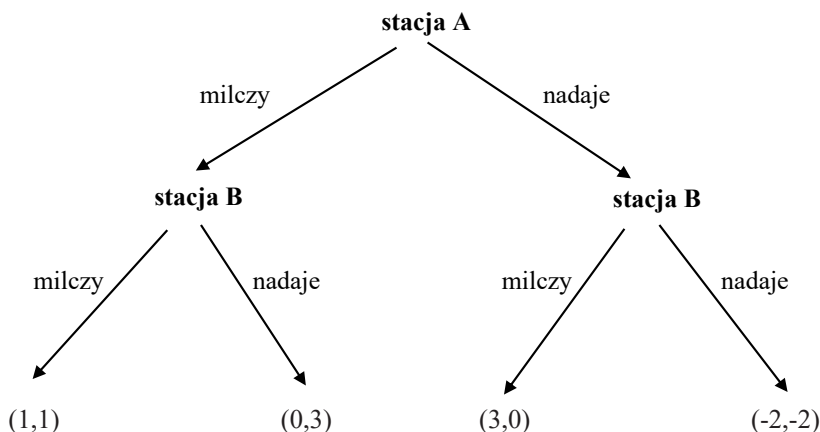
- jeżeli obydwaj gracze wybiorą O, to obydwaj otrzymają karę;
- jeżeli jeden z graczy wybierze O, a drugi M, to ten pierwszy otrzyma nagrodę;
- zaś jeżeli obydwaj gracze wybiorą M, to obydwaj dostaną małą nagrodę.

Dla opisanego powyżej przykładu możemy określić tzw. macierz gry z elementami dwuskładnikowymi, które są wypłatami (określonymi liczbowo) przy poszczególnych wariantach wyborów strategii (tj. możliwości omówionych powyżej) dokonanych przez stacje A i B. Mamy tutaj cztery warianty; są to: M i M, M i O, O i M oraz O i O, gdzie pierwsza duża litera w podanych parach odnosi się do stacji A, natomiast druga do stacji B. A przypisane tym wariantom pary wypłat są następujące: 1,1; 0,3; 3,0 oraz -2,-2, w których to możliwe wartości wypłat (tj. nagród i kar) to liczby: 1, 0, 3 oraz -2. Opisana macierz gry jest zilustrowana na rys. 2.

A/B	M	O
M	1,1	0,3
O	3,0	-2,-2

Rys. 2. Ilustracja macierzy gry dla przykładu opisanego powyżej

Zauważmy, że macierz gry z rys. 2 można także przedstawić w formie wykresu (diagramu). Zrobiono to na rys. 3.



Rys. 3. Ilustracja macierzy gry dla przykładu opisanego powyżej w formie diagramu

Zauważmy również, że najlepszą strategią jest ta, w której jedna ze stacji nadaje, a druga nie (tj. „milczy”). Wtedy ta stacja, która nadaje, uzyskuje dużą nagrodę (wypłatę o wartości 3, co oznacza, że „ma zasięg i komunikuje się poprawnie”). I jest to najlepszy rezultat w tej grze, bo w pozostałych dwóch przypadkach żadna ze stacji nie odnosi „sukcesu” (w postaci nawiązania komunikacji).

Rodzi się jeszcze pytanie, jak powyższy rezultat osiąga się w rzeczywistej sieci bezprzewodowej. Można powiedzieć, że „metodą prób i błędów”. Stacje A i B wybierają losowo stan O lub M. W przypadku par zdarzeń O i M lub M i O powyższe indywidualne wybory strategii prowadzą do sukcesu, jak opisano powyżej. Zaś w pozostałych dwóch konfiguracjach zdarzeń (tj. M i M oraz O i O) takiego sukcesu nie ma, ale już w kolejnej chwili czasowej „próbkowania” może on zostać przez stacje (graczy) osiągnięty.

3. Krótki przegląd wyników literaturowych w zakresie modelowania sieci bezprzewodowych z wykorzystaniem teorii gier

Najważniejszym pojęciem w teorii gier jest pojęcie równowagi. A więc stosując tę teorię do opisanego tego, co dzieje się z pakietami przesyłanymi w komputerowych sieciach bezprzewodowych (z ruchem telekomunikacyjnym w tych sieciach) oraz do opisu sposobów i algorytmów działania urządzeń sieciowych zainstalowanych w danej sieci, mamy zawsze nadzieję, że dobrze określimy taką równowagę w sieci (po to to właśnie robimy). Innymi słowy, dążymy do określenia możliwie najlepszego stanu funkcjonowania (działania) sieci, w domyśle stanu optymalnego (zdefiniowanego według jakiegoś kryterium). I to w warunkach występowania różnych, często przeciwstawnych, interesów elementów składających się na sieć (jak np. węzłów sieci i terminali końcowych). Zaś tę „grę przeciwstawnych interesów różnych graczy w sieci (węzłów, terminali itp.)” staramy się dobrze opisać właśnie poprzez wykorzystanie teorii gier. A ta z kolei prowadzi nas do określenia stanu równowagi (w sieci). Przy czym należy sobie zdawać sprawę z tego, że ten stan równowagi w sieci bezprzewodowej z elementami mobilnymi jest dynamiczny. To znaczy, że musimy go określać ciągle na nowo (tj. w sposób ciągły aktualizować informację o nim).

Różne parametry algorytmów i/lub funkcji zarządzających (sterujących) daną siecią staramy się tak dobierać, aby uzyskać pożądaną w niej stan równowagi (w danym standardzie sieci). Pokazano także, że inne aspekty funkcjonowania sieci, jak na przykład dostęp do niej przez jak największą liczbę użytkowników czy też sterowanie mocą, mogą być z powodzeniem analizowane i formułowane w języku teorii gier.

W tym rozdziale przytaczamy przykładowe, bardzo ważne osiągnięcia opublikowane w ostatnim czasie, odnoszące się do powyżej wymienionych zagadnień (dotyczą one nie tylko komputerowych sieci bezprzewodowych, ale także pozostałych rodzajów sieci bezprzewodowych).

I tak praca [7] została poświęcona problemowi znalezienia użytecznego (to znaczy w miarę możliwości optymalnego) algorytmu alokacji pasma i kontroli dostępu w sieciach standardu IEEE 802.16 z wykorzystaniem teorii gier. W tym celu opisano funkcjonowanie powyższych sieci za pomocą gry niekooperacyjnej, w której stan równowagi to tzw. równowaga Nasha [2]. Przedstawiony w artykule [7] algorytm ma charakter adaptacyjny, a jego działanie zostało sprawdzone w szeregu wykonanych symulacji.

Z kolei w artykule [8] przeanalizowano problem ogólny tzw. niekooperatywnych interakcji w dużym zbiorze mobilnych bezprzewodowych terminali, które tworzą sieć i zakłócają siebie nawzajem na wiele różnych sposobów. W tym celu sięgnięto po istniejącą teorię gier ewolucyjnych; przy czym konieczne było wprowadzenie w niej uzupełnień niezbędnych w poprawnym sformułowaniu ww. problemu. Następnie, korzystając z opracowanego modelu ogólnego, zastosowano go w zagadnieniu wielodostępu bazującego na algorytmie zwanym *slotted Aloha-based scheme* [8] oraz

do sterowania mocą w sieciach bazujących na wykorzystaniu tzw. wielodostępu z podziałem kodowym. O wykorzystaniu w modelowaniu sieci bezprzewodowych teorii takich gier, których cechą charakterystyczną jest możliwość tworzenia w nich koalicji pomiędzy graczami, traktuje praca [9].

Problemowi efektywnej organizacji – przy wykorzystaniu osiągnięć teorii gier – dostępu do zasobów radiowych w tzw. radiu kognitywnym, w którym to wiele urządzeń radiowych może nadawać na różnych częstotliwościach, została poświęcona praca [10]. W pracy tej przyjęto, że poszczególne urządzenia radiowe (gracze) rywalizują ze sobą o dostęp do danego kanału radiowego (danej częstotliwości) w schemacie nazywanym (w skrócie) CSMA/CA (ang. *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) [10]. Składowe opracowanego modelu zachowania się urządzeń w powyższej sieci radiowej to de facto dwie gry cząstkowe. Dotyczą one dwóch zagadnień: alokacji dostępnych kanałów (częstotliwości) pomiędzy urządzeniami oraz optymalnego wykorzystania przez nie każdego z kanałów. Przyjęto, że konkurujące urządzenia zachowują się w sposób egoistyczny, czyli maksymalizują swoje udziały w dostępnym paśmie. Przy tych założeniach pokazano, jak wyglądają stany równowagi – są to równowagi Nasha [2]. Uzyskane wyniki pozwoliły autorom pracy [10] na zaproponowanie prostych, ale jednocześnie efektywnych mechanizmów alokacji urządzeń radiowych w radiu kognitywnym, jak również optymalnego wykorzystania każdego z alokowanych pojedynczych kanałów.

Podobnymi problemami i tematyką, jak w [10], zajmują się także autorzy artykułu [11], a mianowicie rywalizacją, kooperacją i optymalizacją ruchu pomiędzy węzłami w sieciach bezprzewodowych pracujących w reżimie protokołu CSMA/CA, oraz gdy dla dostarczenia pakietów danych do adresata konieczne jest przejście przez więcej węzłów niż jeden (ang. *multi-hop networks*). Jednakże, co ciekawe, teoria gier w tym artykule nie jest zastosowana bezpośrednio, a jedynie mamy w nim odwołanie się do wielu pojęć występujących w tej teorii. Przy czym zostały także wprowadzone przez autorów własne pojęcia. W rozważaniach analitycznych zaś wyprowadzili oni nowe mechanizmy sterowania ruchem (w sieciach typu jw.) i zweryfikowali ich skuteczność w symulacjach.

Najczęściej w celu opisanego (z wykorzystaniem teorii gier) zachowania się stacji (terminali) w sieciach bezprzewodowych typu ad hoc, w których to starają się one pozyskać jak najwięcej pasma dla siebie, wybiera się opis za pomocą gry niekooperacyjnej. Jest to słuszny opis, gdyż rzeczywiście zachowanie autonomicznych użytkowników (stacji) w tych sieciach ma charakter egoistyczny i może prowadzić do sytuacji, w których tylko wybrane stacje w pełni korzystają z efektów rywalizacji, a niektóre z nich są prawie całkowicie „wyparte” z udziału dostępnych zasobów. Jak można, chociażby częściowo, zapobiec czemuś takiemu pokazano w pracy [12] – poprzez wprowadzenie dodatkowych reguł do gry.

Model wykrywania złośliwego oprogramowania został przedstawiony w pracy [13]. Autorzy tego artykułu zaprezentowali model gry, w którym to detekcję złośliwego oprogramowania wykonuje się w schemacie tzw. nadzorowanego uczenia maszynowego, z udostępnianiem danych w chmurze. Węzły, które zostały zain-

fekowane złośliwym oprogramowaniem, lokalizuje się „wyliczając” wskazane atrybuty transmisji danych w bezprzewodowym systemie multimedialnym. Pokazano, że ustala się pewna równowaga (w sensie teorii gier) pomiędzy złośliwym oprogramowaniem a samym bezprzewodowym systemem multimedialnym (w sensie równowagi Nasha). Na koniec w pracy [13], posiłkując się zmodyfikowanym modelem epidemii, określono najlepszą strategię dla wykrywania i zwalczania szkodliwego oprogramowania.

W kolejnym artykule [14] rozpatrzono problem tego, w jakim stopniu egoistyczne węzły w bezprzewodowych sieciach wielowęzłowych mogą decydować o alokacji wysyłanych mocy (w takich sieciach) i czy mogą zostać zmuszone do kooperacji z innymi węzłami bez zastosowania jakichś „zachęcających” mechanizmów zewnętrznych i/lub wykorzystywania węzłów altruistycznych. Problem ten rozwiązano z wynikiem pozytywnym na gruncie teorii gier. Wszystko, co osiągnięto w tym zakresie, zostało szczegółowo opisane w pracy [14].

Podobny problem do tego opisanego w pracy [14] jest analizowany przez Sergi i Vitetta w artykule [15] – przy przyjęciu, że jeżeli dochodzi do kooperacji pomiędzy egoistycznymi węzłami, to ma ona charakter losowy (tak jest opisana w wypracowanym modelu gry). Osiągnięte w pracy [15] wyniki analityczne zwerfikowano w symulacjach komputerowych.

Z kolei w następnej cytowanej tutaj pracy [16] teoria gier została wykorzystana do opracowania nowej kooperatywnej strategii transmisji danych w bezprzewodowych sieciach typu ad hoc. Kluczowym elementem tej strategii jest autonomiczne dokonywanie decyzji odnośnie wyboru jednej z następujących możliwości: „wyślij pakiet dalej w kierunku adresata” albo „milcz” – przez potencjalne węzły przełączające w klastrach węzłów. Pokazano, że funkcjonalnie jest ona równoważna schematowi wyboru ścieżek transmisji (znanemu wcześniej), ale zarządzanemu tutaj w sposób w pełni rozproszony (ewidentna zaleta).

W ostatniej publikacji [17] cytowanej w tym artykule analizowane są niekooperacyjne strategie sterowania mocą dla kierunku „w górę” (od terminala do stacji bazowej) w przełączanych sieciach wykorzystujących schemat wielodostępu DS/CDMA (ang. *Direct Sequence/Code Division Multiple Access*) – przy pomocy narzędzi analitycznych oferowanych w teorii gier. Zaproponowano w niej i przetestowano szereg schematów gier, osiągając w nich znaczne polepszenie parametrów działania dla wymienionych powyżej łączy, w stosunku do tradycyjnego sposobu ich pracy.

Podsumowanie

Bardzo ważny impuls dla dalszego rozwoju komputerowych sieci bezprzewodowych – w szczególności – a także dla rozwoju pozostałych ich rodzajów nadszedł ostatnio z dosyć nieoczekiwanej strony, spoza nauk technicznych. Zrodził się

wraz z pomysłem, aby zastosować w nich tzw. teorię gier i jej osiągnięcia. To się udało, o czym pokrótce napisano w tym artykule. Na tej bazie powstało zupełnie nowe podejście do różnych zagadnień praktycznych i teoretycznych występujących w sieciach bezprzewodowych, takich jak znajdowanie możliwie najlepszej alokacji zasobów (pasma) w sieci, w zależności od bieżącego zapotrzebowania użytkowników na pasmo, sterowanie mocą, sterowanie dostępem do sieci, zwiększanie pojemności sieci poprzez współpracę ze sobą węzłów sieciowych, i wiele innych. Powstało także wiele interesujących algorytmów zarządzania sieciami.

Wdrożenie teorii gier w zagadnieniach wyszczególnionych powyżej nie odbyło się jednakże bezproblemowo; bo nie da się (w wielu przypadkach) tak wprost przenieść tego, co zostało wypracowane w zastosowaniach teorii gier w ekonomii na grunt zagadnień telekomunikacyjnych i teleinformatycznych. Wymagało to znacznego wysiłku, ale już przebrnęliśmy przez ten etap. Dowodem na to jest mnóstwo publikacji, które ukazały się w ostatnich latach na powyższe tematy (a tylko niektóre z nich, przykładowe, zostały wymienione w tym artykule). Nie oznacza to jednak, że wszystko zostało już zrobione. Wciąż jest wiele nierozwiązanych, otwartych problemów. Autorzy tego artykułu nad niektórymi z nich pracują.

Literatura

1. Stanford Encyclopedia of Philosophy. *Game theory*, <https://plato.stanford.edu/entries/game-theory>, 31.01.2021.
2. Płatkowski T., *Wstęp do teorii gier. Matematyka stosowana*, Uniwersytet Warszawski, Warszawa 2012.
3. Ferguson T.S., *Game theory*, <https://www.inf.ufsc.br/~joao.dovicchi/pos-ed/pos/games/comb.pdf>, 16.10.2021.
4. Hotz H., *A short introduction to game theory*, https://www.theorie.physik.uni-muenchen.de/lsfrey/teaching/archiv/sose_06/softmatter/talks/Heiko_Hotz-Spieltheorie-Handout.pdf, 16.10.2021.
5. Binmore K., *Teoria gier*, Uniwersytet Łódzki, Łódź 2017.
6. Fudenberg D., Tirole J., *Game theory*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts 2000.
7. Niyato D., Hossain E., *Radio resource management games in wireless networks: an approach to bandwidth allocation and admission control for polling service in IEEE 802.16*, "IEEE Wireless Communications" 2007, 14, s. 27–35.
8. Tembine H., Altman E., El Azouzi R., Hayel Y., *Evolutionary Games in Wireless Networks*, "IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics" 2010, Part B, 40 (3), s. 634–646.
9. Saad W., Han Z., Debbah M., Hjørungnes A., Basar T., *Coalitional Game Theory for Communication Networks: A Tutorial*, "IEEE Signal Processing Magazine. Special Issue on Game Theory" 2009, 26 (5), s. 77–97.
10. Felegyhazi M., Cagalj M., Hubaux J.-P., *Efficient MAC in cognitive radio systems: A game-theoretic approach*, "IEEE Transactions on Wireless Communications" 2009, 8 (4), s. 1984–1995.
11. Shi Z., Beard C., Mitchell K., *Competition, cooperation, and optimization in Multi-Hop CSMA networks*. Proceedings of the 8th ACM Symposium on Performance evaluation of wireless ad hoc, sensor, and ubiquitous networks, 2011, s. 117–120.

12. Tan C.K, Sim M.L, Chuah T.C., *Fair power control for wireless ad hoc networks using game theory with pricing scheme*, "IET Communications" 2010, 4 (3), s. 322–333.
13. Zhou W., Yu B., *A cloud-assisted malware detection and suppression framework for wireless multimedia system in IoT based on dynamic differential game*, "China Communications" 2018, 15 (2), s. 209–223.
14. Brown D.R., Fazel F., *A game theoretic study of energy efficient cooperative wireless networks*, "Journal of Communications and Networks" 2012, 13 (3), s. 266–276.
15. Sergi S., Vitetta G.M., *A game theoretical approach to distributed relay selection in randomized cooperation*, "IEEE Transactions on Wireless Communications" 2010, 9 (8), s. 2611–2621.
16. Sergi S., Pancaldi F., Vitetta G.M., *A game theoretical approach to the management of transmission selection scheme in wireless ad-hoc networks*, "IEEE Transactions on Communications" 2010, 58 (10), s. 2799–2804.
17. Zappone A., Buzzi S., Jorswieck E., *Energy-efficient power control and receiver design in relay-assisted DS/CDMA wireless networks via game theory*, "IEEE Communications Letters" 2011, 15 (7), s. 701–703.

On Modeling of Computer Wireless Networks Via Game Theory

Abstract: *In this paper, having an informative character, the specificity of modeling of behavior of wireless networks via game theory has been briefly presented. The recent achievements and results published in the literature in this area have been also discussed.*

Lesław Zabuski
Jarosław Przewłócki

ANALIZA STATECZNOŚCI ORAZ KONCEPCJA ZABEZPIECZENIA ZBOCZA OSUWISKOWEGO W MOSTKACH K. STAREGO SĄCZA

W artykule przedstawiono analizę warunków stateczności karpackiego zbocza osuwiskowego w miejscowości Mostki k. Starego Sącza, wraz ze sprawdzeniem efektywności zabezpieczenia zbocza przy zastosowaniu dwóch technik stabilizacji. Do ustabilizowania zbocza zaproponowano drenaż podziemny oraz „podparcie” przegradą z mikropali. Rozważano stany stateczności zbocza w różnych warunkach, m.in. w warunkach ekstremalnie niekorzystnych – gdy zwierciadło wody podziemnej (ZWP) osiąga poziom powierzchni terenu oraz brak jest jakichkolwiek dodatkowych środków stabilizujących.

Wprowadzenie

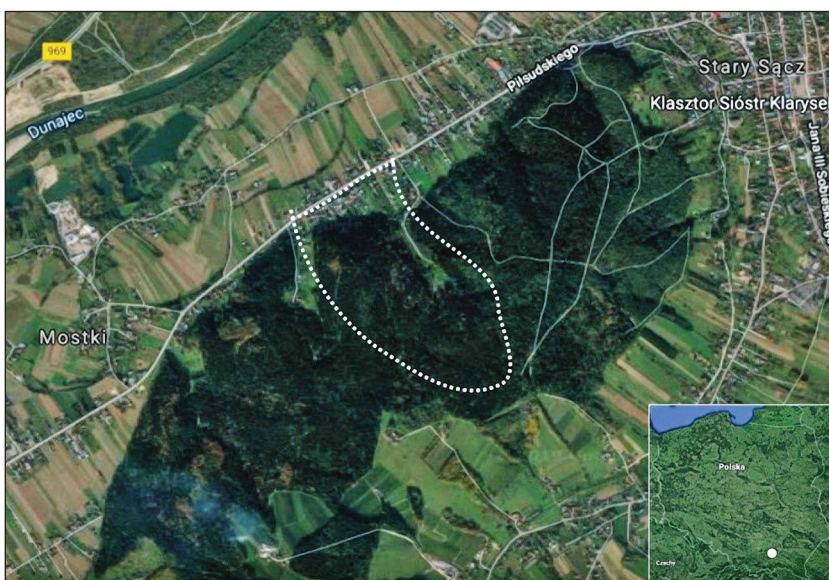
Na obszarze polskich Karpat, stanowiących 6% powierzchni kraju, występuje ponad 95% wszystkich osuwisk. Oznacza to, że tzw. wskaźnik osuwiskowości wynosi 1 osuwisko/1 km², choć w przypadkach mniejszych jednostek wskaźnik ten zwiększa się [1]. Osuwiska stanowią szczególnie charakterystyczny element w rzeźbie fliszowych Karpat Zewnętrznych. Rozwój ruchów masowych na obszarze Karpat fliszowych może dotyczyć zarówno starych osuwisk, które mogą się odnawiać, jak i nowo powstających. Na rys. 1 przedstawiono skarpe główną osuwiska w Mostkach, nowo powstałą w czasie obejmującym okres prezentowanej analizy.

Osuwiska stanowią szczególne zagrożenie nie tylko dla osiedli mieszkaniowych czy obiektów budowlanych, ale i rozbudowy nowych systemów gospodarki, zwłaszcza szlaków infrastruktury komunikacyjnych, linii energetycznych itd. Karpaty fliszowe stanowią obszar, który zalicza się do najbardziej zagrożonych w Polsce przez zjawiska geodynamiczne. Analiza stateczności zboczy powinna być przeprowadzana w takich przypadkach geologicznych szczególnie wnikliwie. Flisz karpacki zbudowany jest głównie z naprzemianległych warstw piaskowców i łupków ilastych.

Jednym z wielu charakterystycznych przykładów zaistniałych osuwisk jest zbocze w Mostkach k. Starego Sącza. Zbocze to znajduje się w paśmie Beskidu Sądeckiego, w środkowej części polskich Karpat fliszowych (rys. 2). W rozpoznawczych badaniach geologiczno-inżynierskich stwierdzono współistnienie na zboczu dwóch osuwisk, a mianowicie głębszego osuwiska „starego”, które jest obecnie ustabilizowane (ang. *dormant*) oraz wtórnego „nowego”, o płytszej powierzchni poślizgu [2].



Rys. 1. Fragment powierzchni osuwiska w rejonie skarpy głównej



Rys. 2. Lokalizacja osuwiska w Mostkach k. Starego Sącza

Celem artykułu jest analiza stateczności zbocza osuwiskowego w Mostkach k. Starego Sącza oraz dokonanie oceny skuteczności jego zabezpieczeń. Obliczenia stateczności zbocza wykonano komercyjnym programem FLAC [3], opartym na metodzie różnic skończonych. Przeprowadzono również analizę metod zabezpieczenia zbocza systemem drenażu oraz mikropali.

1. Analiza stateczności zbocza osuwiskowego

Zagadnienie stateczności zboczy należy do jednych z najtrudniejszych problemów mechaniki gruntów. Z jednej strony utrata stateczności związana z ruchem olbrzymich mas gruntu może doprowadzić do poważnych i nieobliczalnych w skutkach katastrof. Z drugiej strony na stateczność wpływa wiele różnorodnych lokalnych czynników, często określonych z konieczności w sposób przybliżony, a ich uwzględnienie w modelu geotechnicznym matematycznie jest trudne lub niedoskonałe. Występujące wciąż nowe osuwiska wymuszają konieczność dokładniejszego rozpoznania charakteru geologicznego zboczy i występujących w nich naturalnych zjawisk, a przede wszystkim pewnej oceny ich stateczności.

Do oceny stateczności zboczy stosuje się wiele znanych i ogólnie przyjętych metod obliczeniowych. Wyniki analizy mogą być jednak różne w poszczególnych metodach, co wynika przede wszystkim z niezgodności warunków rzeczywistych z przyjętymi z konieczności wyidealizowanymi modelami geotechnicznymi i założeniami metod obliczeniowych. Wyniki obliczeń mogą być różne, nawet w ramach ustalonej metody, w zależności od jakości wykonanych badań i interpretacji wyników parametrów, a szczególnie badań wytrzymałości gruntu i uwzględnienia lub pominięcia istotnych czynników, które mogą wydawać się pozornie drugorzędne. Bezskrytyczne stosowanie przypadkowo wybranej metody, bez znajomości przyjmowanych założeń, uproszczeń i ograniczeń, może prowadzić do poważnych błędów w ocenie stateczności.

W ostatnich latach coraz większe zastosowanie w analizie stateczności zboczy znalazły metody probabilistyczne [5, 6], wprowadzające dodatkowe miary bezpieczeństwa (niezawodność). Właściwe i poprawne stosowanie metod probabilistycznych daje inżynierowi cenne narzędzie, pozwalające uzyskać dodatkowe informacje i lepiej ocenić stateczność zbocza. Rozszerzenie analizy stateczności poprzez zastosowanie rachunku prawdopodobieństwa zwiększa, co prawda, wymagania konieczne do właściwego wykonania analizy i wyciągnięcia poprawnych wniosków, lecz w konsekwencji prowadzi do bardziej niezawodnej oceny.

W niniejszej pracy obliczenia stateczności zbocza osuwiskowego wykonano w układzie płaskim (2D). Program opiera się na metodzie różnic skończonych. Model obliczeniowy dzielony jest na różnice skończone, które – w reakcji na przyłożone siły i ograniczenia brzegowe – zachowują się zgodnie z prawami materiałowymi (to znaczy sprężyste, sprężysto-plastycznie itd.). Materiał (w rozważanym zadaniu jest to masyw skalny lub gruntowy) może ulegać uplastycznieniu i płynięciu, co przy zastosowaniu formalizmu Lagrange'a pociąga za sobą deformacje siatki różnic skończonych. Program pozwala obliczać rozkład naprężeń i deformacji w obiekcie, przy różnym stopniu złożoności warunków geologicznych i geotechnicznych ośrodka. Zależnie od właściwości, ośrodek gruntowy lub skalny można modelować jako sprężysty, sprężysto-plastyczny itp.

Ocena warunków stateczności i efektywności zabezpieczeń w rozpatrywanym przypadku wymagała przeprowadzenia obliczeń w następujących modelach geotechnicznych:

1. Stan ekstremalnie niekorzystny; położenie Zwierciadła Wody Podziemnej (ZWP) pokrywa się z powierzchnią terenu. Przyjęto, że ruch osuwiskowy obejmuje cały obszar koluwium, którego przemieszczenia są w przybliżeniu jednakowe.

2. Stany odpowiadające obniżeniu zwierciadła wody poprzez drenaż podziemny; ZWP obniżano o 1,0 m, 2,0 m, 3,0 m i 3,5 m, obliczając w każdym przypadku współczynnik stateczności.

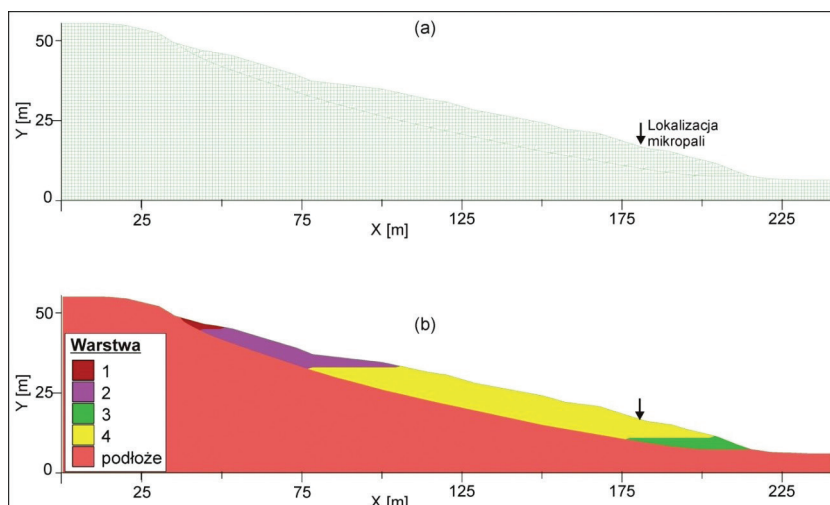
3. Stany ZWP jak wyżej, ponadto wzmocnione zbocze przegrodą z mikropali, zbudowanych z prętów stalowych umieszczonych w otworze wypełnionym betonem. W obliczeniach współczynnika stateczności zastosowano metodę „analizy odwrotnej” (ang. *back analysis*) [7, 8, 9]. Metoda ta (nazywana również „metodą prób i błędów”) została pozytywnie zweryfikowana i jest powszechnie stosowana. Polega ona na zmienianiu „próbnych” wartości parametrów wytrzymałości na ścinanie modelowanego ośrodka do momentu, w którym następuje stan równowagi granicznej zbocza. W procesie obliczeń wykonuje się szereg symulacji przy zastosowaniu „próbnych” wartości parametrów wytrzymałościowych, tj. spójności i kąta tarcia wewnętrznego, i w efekcie ich stopniowego obniżania lub zwiększania osiąga się modelowany stan równowagi granicznej ($F = 1,0$).

W badaniach geologiczno-inżynierskich stwierdzono istnienie na zboczu dwóch osuwisk, a mianowicie głębszego osuwiska (określanego tutaj jako „stare”), które jest obecnie ustabilizowane oraz osuwiska określanego mianem „nowe”, o płytszej powierzchni zsuwu [4]. Analizę przeprowadzono dla drugiego przypadku, uznając, iż starsze, nieaktywne osuwisko nie wymaga dodatkowych prac zabezpieczających. Głębokość stwierdzonej powierzchni poślizgu „starego” osuwiska wynosi od kilku do kilkunastu metrów. Dlatego jego stabilizowanie przy pomocy innych metod (np. mury oporowe, gabiony, itp.) nie jest możliwe lub byłoby bardzo trudne i kosztowne.

2. Model obliczeniowy

Na rys. 3a zamieszczono wygenerowaną siatkę różnic skończonych, na które podzielono model zbocza. Rys. 3b przedstawia podział modelu na „strefy” o różnych właściwościach geotechnicznych. Masyw skalny zbudowany jest z warstw fli-szu karpackiego [10, 11, 12, 13, 14]. Zróznicowanie parametrów wytrzymałości na ścinanie w obszarze koluwium osuwiskowego poprzez wprowadzenie „stref” było konieczne do spełnienia założenia o „w przybliżeniu jednakowych przemieszczeniach” całego koluwium. Zatem parametry dobierano w taki sposób, by założenie to było spełnione. Utrudnieniem w doborze parametrów geotechnicznych jest fakt,

że zjawisko przestrzenne analizuje się w układzie płaskim. W przypadkach, gdy szerokość osuwiska jest jednakowa w przekrojach poprzecznych, można przyjąć, iż parametry nie zależą od usytuowania przekroju. Jeśli jednak – jak w analizowanym przypadku – szerokość ta jest zróżnicowana, konieczne jest uwzględnienie tego faktu poprzez odpowiednie różnicowanie wartości parametrów. Stosunkowo wysokie wartości kąta tarcia wynikają z faktu, że w gliniastym i ilastym materiale koluwium osuwiskowego (ogładanym w rdzeniach z otworów) znajdują się liczne okruchy piaskowca, co dodatkowo wpływa na właściwości tarcia ośrodka.



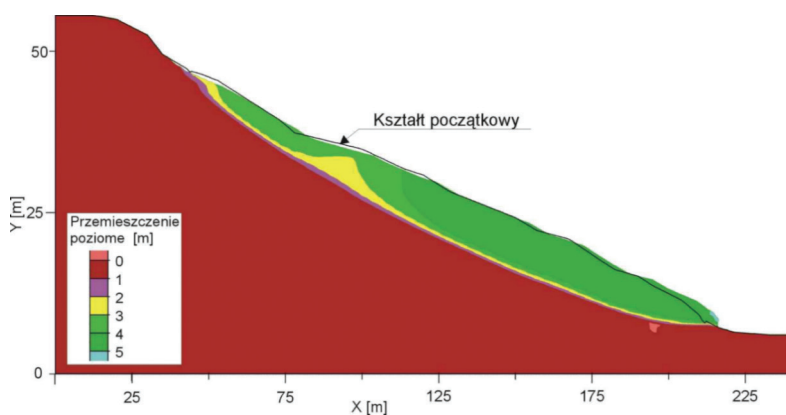
Rys. 3. Model zbocza; (a) siatka różnic skończonych; (b) podział modelu na strefy o różnych parametrach geomechanicznych

Wartości końcowe poszczególnych stref, przy których wystąpił symulowany stan równowagi granicznej, zestawiono w tab. 1. W analizie przyjęto założenie, że stan równowagi granicznej, odpowiadający aktywizacji zsuwu, zachodzi wówczas, gdy poziom zwierciadła wody podziemnej (ZWP) jest równy powierzchni terenu, tj. $ZWP = 0$. Parametry geomechaniczne masywu skalnego, odpowiadające temu stanowi, przedstawiono w tab. 1.

Stanowi równowagi granicznej, gdy współczynnik stateczności jest równy $F = 1,0$, towarzyszą bardzo duże przemieszczenia. Na rys. 4 przedstawiono pole przemieszczenia poziomego, uzyskanego w wyniku symulacji numerycznej. Trzeba dodać, iż symulację przerwano arbitralnie, gdy układ nie został zrównoważony. Oznacza to, że przy kontynuowaniu obliczeń przemieszczenie uległoby dalszemu zwiększeniu.

Tab. 1. Parametry końcowe modelu obliczeniowego wyznaczone metodą analizy odwrotnej

L.p.	Parametr	Podłoże	Koluwium 1	Koluwium 2	Koluwium 3	Koluwium 4
1	Gęstość objętościowa ρ [t/m^3]	2,0	1,9	1,9	1,9	1,9
2	Spójność – c_u [kPa]	200	2	8	9,5	13,1
3	Kąt tarcia wewnętrznego ϕ_u [°]	20	8	14	14	12
4	Wytrzymałość na rozciąganie R_r [kPa]	0				
5	Moduł sprężystości objętościowej K [MPa]	833	46,7			
6	Moduł odkształcenia postaciowego G [MPa]	384	19,2			



Rys. 4. Deformacje osuwiskowe zbocza przy ZWP równym z powierzchnią terenu

3. Metody stabilizacji zbocza

Metody stabilizacji zbocza oraz środki stabilizujące można umownie podzielić na trzy grupy [15]:

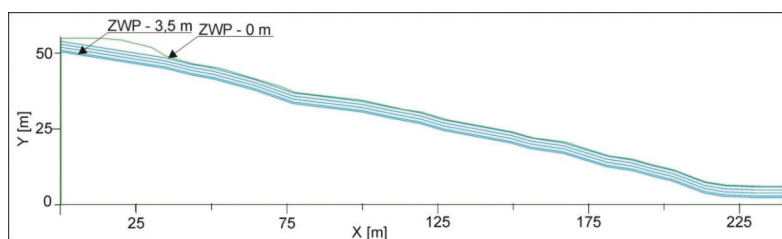
1. wzmacniające ośrodek skalny – polepszające jego właściwości,
2. powodujące redystrybucję obciążeń zewnętrznych – korzystną z punktu widzenia stabilności zbocza,
3. mieszane – będące kombinacją powyższych.

Do pierwszej grupy zalicza się cementację, kotwienie kotwami biernymi, mikropale, stabilizowanie środkami chemicznymi itp. W drugiej grupie mieszczą się różnego typu podpory (ściany, gabiony), zmiany kształtu zbocza (reprofilowanie), przykrywanie i wiązanie odsłoniętych partii ośrodka warstwami torkretu i siatkami, pale wielkośrednicowe. W grupie trzeciej można wymienić np. drenaż, pozytywnie

wpływający na – z jednej strony – stosunki wodne (zmniejszenie ciśnienia wody), z drugiej – poprawiający geomechaniczne właściwości ośrodka. Do tej grupy zalicza się również kotwy aktywne (naprężone), wprowadzające w układ siły zewnętrzne, a jednocześnie – poprzez kompaktację skały i zaciśnięcie spękań – poprawiające mechaniczne właściwości ośrodka skalnego. W literaturze fachowej znanych jest wiele prac poświęconych zagadnieniu stabilizacji zboczy [16, 17, 18, 19, 20, 21, 22].

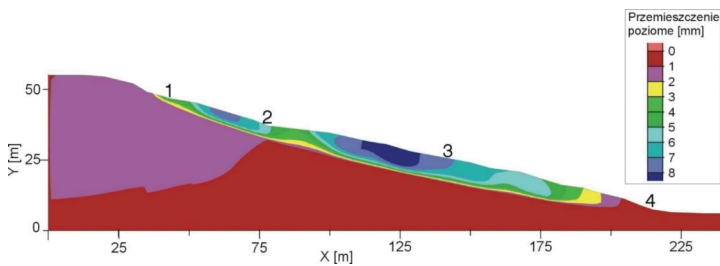
3.1. Drenaż zbocza

Najbardziej efektywnym środkiem zabezpieczenia zbocza przed osuwaniem jest jego zdrenowanie [23]. W kolejnych wariantach analizy badano zatem wpływ drenażu podziemnego na stateczność, obniżając ZWP o 1,0 m, 2,0 m, 3,0 m i 3,5 m w stosunku do poziomu odniesienia (tj. ZWP = powierzchnia terenu), odpowiadającego stanowi równowagi granicznej (rys. 5). W każdym wariantcie zmieniano wartości parametrów wytrzymałości na ścinanie, poszukując metodą prób i błędów takich wartości, przy których wystąpi równowaga zbocza. Współczynnik stateczności jest równy stosunkowi wartości dowolnego parametru, wyznaczonej w ten sposób, do wartości tego parametru w stanie równowagi granicznej, gdy ZWP jest równe powierzchni terenu (patrz tab. 1). Przykładowo: jeśli np. spójność z tab. 1 dla strefy „4” wynosi 13,1 kPa, zaś po obniżeniu zwierciadła wody o 1 metr dla utrzymania zbocza w stanie równowagi wystarczająca jest spójność 11,7 kPa, to współczynnik stateczności przy ZWP położonym 1 metr poniżej powierzchni terenu jest równy $F = 13,1/11,7 = 1,12$.

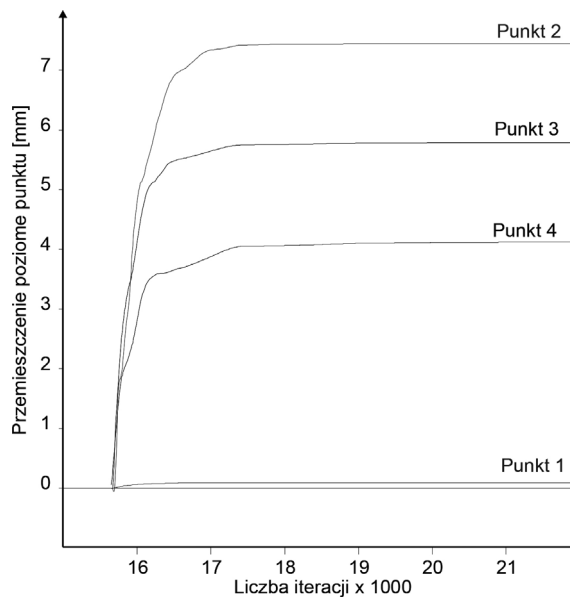


Rys. 5. Zwierciadło wody podziemnej w analizowanych wariantach

Stopniowe obniżanie ZWP skutkowało wzrostem wartości współczynnika stateczności. Szczegółowe prezentowanie i omawianie wyników każdego wariantu mija się z celem, dlatego poniżej przedstawiono przykładowo jedynie wyniki dla wariantu, w którym głębokość ZWP wynosi 3 metry. Rys. 6 przedstawia pole przemieszczenia poziomego, odpowiadające stanowi, w którym układ (zbocze) został ustabilizowany. O ustabilizowaniu świadczą zerowe przyrosty przemieszczenia w punktach rejestracji przemieszczenia 1–4. Krzywe przemieszczenia tych punktów pokazano na rys. 7. Po początkowych znacznych przyrostach w dalszej fazie procesu iteracyjnego układ ustabilizował się.



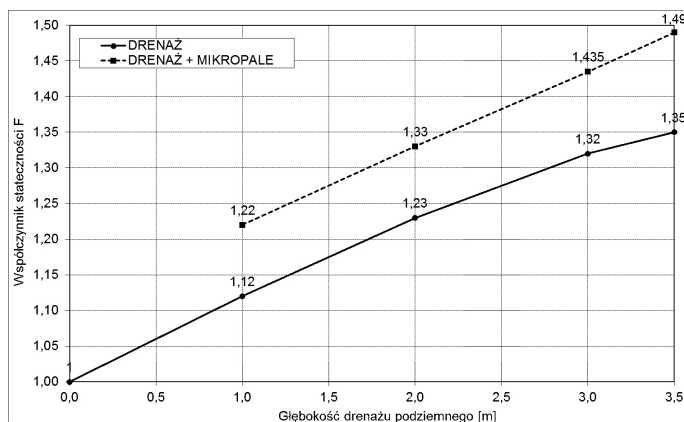
Rys. 6. Pole przemieszczenia poziomego przy głębokości ZWP = 3 m w stosunku do powierzchni terenu



Rys. 7. Krzywe przemieszczenia punktów śledzenia przemieszczeń w procesie iteracyjnym

Zbliżone wyniki uzyskano w pozostałych trzech wariantach głębokości ZWP. Krzywa ciągła na rys. 8 ilustruje zależność pomiędzy głębokością ZWP a współczynnikiem stateczności zbocza. Największa wartość F dla głębokości ZWP równej 3,5 m wynosi $F = 1,35$ i jest niewiele wyższa od wartości uzyskanej przy głębokości drenażu 3,0 m ($F = 1,32$). Stąd wniosek, że pogłębianie rowów drenażowych w analizowanym przypadku jest skuteczne jedynie do pewnej głębokości (tutaj ok. 3 m).

Wyniki obliczeń wykazały ponadto, że drenowanie zbocza ma znacznie wyraźniejszy, dodatni wpływ w jego górnych partiach, gdzie powierzchnia zsuwu jest położona płycej niż w części dolnej. Partie niższe są generalnie mniej stateczne, pomimo drenowania, i wniosek ten stanowi dobre uzasadnienie do ich dodatkowego wzmocnienia poprzez układ mikropali.



Rys. 8. Wartości współczynnika stateczności przyjętych rozwiązań środków stabilizujących zbocze

3.2. Mikropale

3.2.1. Modelowanie mikropali

Na rys. 9 przedstawiono usytuowanie i geometrię mikropali. Są one rozmieszczone mijankowo w dwóch rzędach. Odległość pozioma i pionowa pomiędzy nimi wynosi 1 metr, co oznacza, że jeden mikropal przypada na 1 m². Długość mikropala ustalono w ten sposób, by przebijał on powierzchnię poślizgu i zagłębiał się w podłoże poniżej tej powierzchni na około 4,0 m. Mikropale są usytuowane na wysokości ok. 330–332 m n.p.m., co odpowiada współrzędnej modelu X równej 177,5 m (por. rys. 3). Trzeba podkreślić, że możliwości instalowania mikropali na zboczu były ograniczone przez ukształtowanie terenu (por. rys. 1). Teren jest trudno dostępny, co powoduje, że mikropale nie mogą być usytuowane zbyt wysoko, zatem przyjęta lokalizacja jest praktycznie jedyną możliwą. Dlatego nie analizowano wpływu usytuowania mikropali na efektywność zabezpieczenia.

Pojedynczy mikropal składa się z żerdzi stalowej (firmy TITAN) z centralnym otworem do wprowadzania injektu do otworu. Pręt posiada średnicę zewnętrzną równą 40 mm i wewnętrzną – 16 mm. Nie omawia się tutaj technologii wykonania mikropala, gdyż jest ona opisywana szczegółowo w instrukcjach firmy TITAN [24].

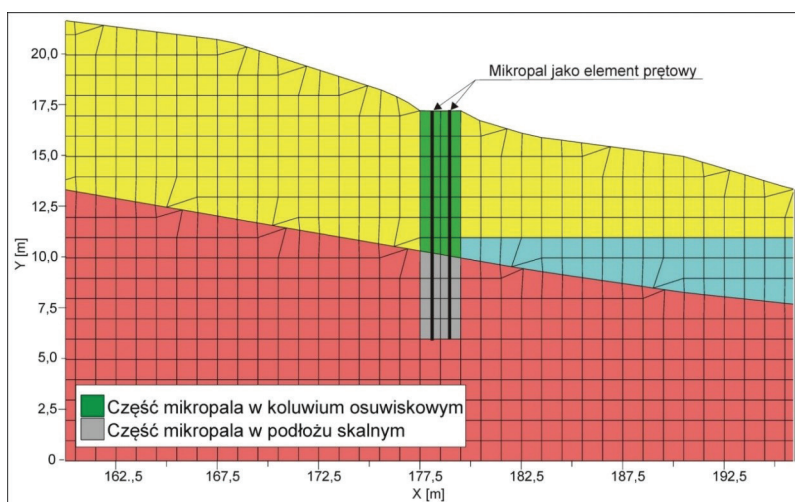
Efekt działania mikropala w modelu numerycznym polega na wytworzeniu dodatkowej wytrzymałości na ścinanie oraz na zwiększeniu sztywności strefy palowanej. Wzrost wytrzymałości na ścinanie uwzględniany jest poprzez zwiększenie spójności w tej strefie. Spójność od mikropala c_k oblicza się ze wzoru:

$$c_k = R_t \cdot S_k/A_k$$

gdzie R_t jest wytrzymałością na ścinanie materiału pręta, S_k – powierzchnią przekroju poprzecznego pojedynczego pręta, A_k – powierzchnią, na którą przypada jeden mikropal (nie bierze się pod uwagę zaprawy cementowej). Spójność całkowita c_t stanowi sumę spójności masywu skalnego i spójności mikropali.

Przyjmując $R_t = 170$ MPa, $S_k = 0,000873$ m², $A_k = 1,0$ m² otrzymuje się $c_k = 148,4$ kPa. Dodając c_k do spójności masywu w strefie „4”, równą 13,1 kPa, otrzymuje się spójność całkowitą na odcinku potencjalnej powierzchni poślizgu, na którym znajduje się mikropal, równą $c_{tot} = 161,5$ kPa. Zakłada się spójność w podłożu nienaruszonym, równą $c_{tot} = 300$ kPa.

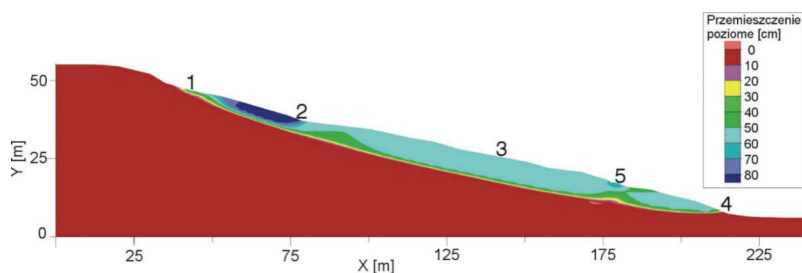
Zwiększenie sztywności strefy mikropali uwzględnia się poprzez modelowanie elementu prętowego o odpowiednich parametrach geometrycznych i „zastępczym” module sprężystości. Całą strefę o powierzchni 1 m² (masyw + mikropal) i momencie bezwładności równym $I = 0,08333$ m⁴ modeluje się jako element zbrojenia. Przyjmując, że moduł sprężystości mikropala wynosi $E_{mp} = 25$ GPa, a jego średnica – 14 cm, oblicza się moduł zastępczy strefy, jako średnią ważoną z modułu samego pala oraz modułu masywu (strefy „4” koluwium). Tak obliczony moduł zastępczy wynosi $E_z = 0,434$ GPa.



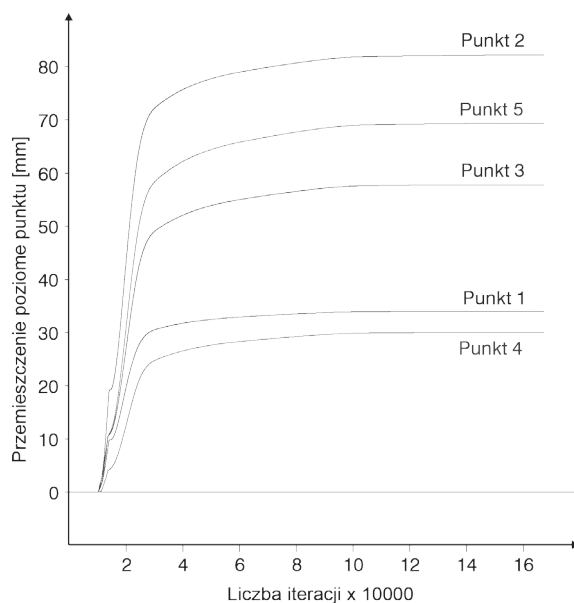
Rys. 9. Usytuowanie i model mikropali

3.2.2. Wpływ mikropali na warunki stateczności zbocza

Obliczenia wykonano wg powyższych wariantów ZWP, dodatkowo wprowadzając do modelu obliczeniowego efekt wzmocnienia mikropalami. Wyniki omówiono na przykładzie wariantu, w którym głębokość ZWP wynosi 3 metry. Na rys. 10 przedstawiono pole przemieszczenia poziomego zbocza. Przemieszczenie jest stosunkowo duże, jednak zbocze stabilizuje się w procesie obliczeniowym. Oznacza to, że przegroda z mikropali mobilizuje wystarczająco duży opór przeciwko deformacjom osuwiskowym. Krzywe dla punktów 1–5, w których rejestrowane jest przemieszczenie poziome (por. rys. 10), przedstawiono na rys. 11.



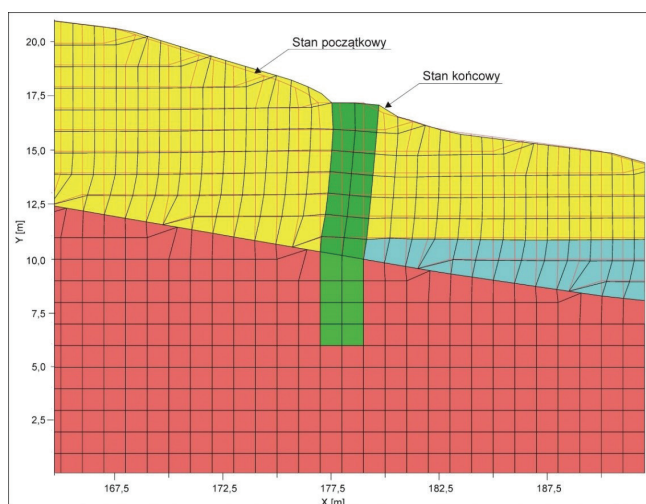
Rys. 10. Pole przemieszczenia poziomego; głębokość ZWP = 3 m, mikropale



Rys. 11. Krzywe przemieszczenia punktów rejestracji przemieszczeń w procesie iteracyjnym

Na rys. 12 zamieszczono uzyskaną z obliczeń zdeformowaną strefę zbocza w rejonie przegrody z mikropaliami. Widoczne jest wyraźne wygięcie konstrukcji, jednak – jak opisano wyżej – po kilkudziesięciocentymetrowych przemieszczeniach nastąpiła stabilizacja zbocza. Najbardziej aktywna jest strefa w górnej części zbocza, gdzie środkiem stabilizującym jest jedynie drenaż. Mikropale znajdują się w dużej odległości od tej strefy zbocza i nie mają wpływu na jej zachowanie się.

Analogiczne obliczenia modeli z mikropaliami wykonano dla pozostałych wariantów drenażu (por. rys. 5). Krzywa przerywana na rys. 8 przedstawia zależność współczynnika stateczności od głębokości ZWP. Najwyższą wartość współczynnika stateczności ($F = 1,49$) uzyskano dla wariantu, w którym głębokość ZWP jest równa 3,5 m. W tym przypadku wpływ mikropali jest znaczący, gdyż dla analogicznego modelu bez mikropali uzyskano $F = 1,35$; różnica wartości F wynosi więc $\Delta F = 0.14$.



Rys. 12. Obliczone deformacje zbocza w miejscu usytuowania mikropali

Podsumowanie

Wyniki analizy wskazują, że znaczne deformacje osuwiskowe zachodzić mogą przy niekorzystnych warunkach zewnętrznych (atmosferycznych), których negatywnym skutkiem jest podniesienie zwierciadła wody podziemnej do poziomu powierzchni terenu (w przybliżeniu). Zabezpieczenie zbocza poprzez system drenażu o głębokości 3 metry lub większej oraz zastosowanie dwóch rzędów mikropali w rozstawie 1×1 metr spowoduje poprawę warunków stateczności, wyrażającą się wzrostem współczynnika stateczności do wartości powyżej 1,40, co jest wystarczające do trwałego ustabilizowania zbocza. Wprowadzenie kolejnego rzędu mikropali w odległości kilkunastu metrów powyżej obecnie projektowanych spowodowałoby wzrost wartości F . Zwiększyłoby to jednak znacznie koszt przedsięwzięcia, zatem decyzja o takim zabiegu miałaby negatywne konsekwencje ekonomiczne.

Literatura i materiały źródłowe

1. Poprawa D., Rączkowski W., *Osuwiska Karpat*, „Przegląd Geologiczny” 2003, 51, s. 685–692.
2. Koluch Z., *Dokumentacja geologiczno-inżynierska do PB zabezpieczenia osuwiska „MOSTKI” w Mostkach k. Starego Sącza*, Kraków 2008.
3. Itasca C.G., *FLAC 2D Manual*, Minneapolis 2000.
4. Przewłócki J., *Kilka uwag o ocenie stateczności zboczy. Część I: Analiza deterministyczna*, „Inżynieria Morska i Geotechnika” 2004, nr 2, s. 89–97.
5. Knabe W., Przewłócki J., *Probabilistyczna ocena stateczności zboczy*, seria: Prace IBW PAN”, nr 18, Gdańsk 1990.

6. Przewłócki J., *Brief Literature Review and Classification System of Reliability Methods for Evaluating the Stability of Earth Slopes*, "Sustainability" 2021, 13, 9090, <https://doi.org/10.3390/su13169090>.
7. Cheng Y.M., Lansivaara T., Wei W.B., *Two-dimensional slope stability analysis by limit equilibrium and strength reduction methods*, "Computers and Geotechnics" 2007, 34, s. 137–150.
8. Dawson E.M., Roth W.H., Drescher A., *Slope Stability Analysis by Strength Reduction*, "Géotechnique" 1999, 49 (6), s. 835–840.
9. Fu W., Yi L., *Non-linear shear strength reduction technique in slope stability calculation*, "Computers and Geotechnics" 2009, 37, s. 288–298.
10. Zabuski L., Thiel K., Bober L., *Zjawiska osuwiskowe w polskich Karpatach fliszowych. Geologiczno-inżynierskie właściwości wybranych osuwisk*, IBW PAN, Gdańsk 1997.
11. Zabuski L., Thiel K., Bober L., *Osuwiska we fliszu Karpat polskich. Geologia – modelowanie – obliczenia stateczności*, IBW PAN, Gdańsk 1999.
12. Broniatowska M., *Modelowanie masywów fliszowych i dobór parametrów do obliczeń stateczności zboczy*, „Czasopismo Techniczne. Środowisko” 2008, R. 105, z.1–Ś, s. 3–11.
13. Zabuski L., Przewłócki J., *Stability analysis of a road scarp in the Carpathian Mountains and methods of its protection*, World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium WMCAUS, 1–8. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/471/4/042004>.
14. Zabuski L., Przewłócki J., *Analiza stateczności i stabilizacji zbocza osuwiskowego na trasie linii kolejowej w Świnnej Porębie*, „Inżynieria Morska i Geotechnika” 2019, nr 3, s. 136–142.
15. Zabuski L., *Ogólne zasady i metody stabilizowania zboczy*. Materiały konferencyjne PMS IX, IMGW, Warszawa 2000, s. 192–204.
16. Jarominiak A., *Lekkie konstrukcje oporowe*, Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 1982.
17. Xanthakos P.P., *Ground Anchors and Anchored Structures*, J. Wiley & Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore 1991.
18. Barker D.H. (ed.), *Vegetation and Slopes. Stabilization, protection and ecology*, Proc. Int. Conf. Oxford 1994, Thomas Telford, London 1995.
19. Leśniewska D., Kulczykowski M., *Grunt zbrojony jako materiał kompozytowy. Podstawy projektowania konstrukcji*, Wydawnictwo IBW PAN, Gdańsk, 2001.
20. Ortigao J.A.R., Sayao A.S.F.J., *Handbook of Slope Stabilisation*, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 2004.
21. Chunlin Li Ch., *Rockbolting: Principles and Applications*, Elsevier 2017.
22. Shukla S.K., Yin J.-H., *Fundamentals of Geosynthetic Engineering*, Taylor & Francis, London 2016.
23. Forrester K., *Subsurface drainage for slope stabilization*, ASCE Press, Reston 2001.
24. Titan Polska Newsletter, <https://www.titan.com.pl>.

Stability Analysis and Concept of Stabilisation of Landslide Slope in the Village Mostki near the City of Stary Sącz

Abstract: The article presents an analysis of the stability of landslide slope in the village Mostki near the city of Stary Sącz, together with checking the effectiveness of different stabilization methods. To stabilize the slope, it was proposed to drain it (underground drainage) and "support" with a micropile partition. Stability of the slope in extreme conditions was considered – when the ground water table reaches the surface level and after the use of stabilizing methods.

CASE STUDY – OFFSHORE EQUIPMENT CRITICALITY IN MAINTENANCE

Introduction

Dynamic changes in the area of maintaining the reliability of production equipment result in the emergence of new methods and techniques supporting the work of specialists in the maintenance department. The aim of the article is to present three systems supporting maintenance management. The choice of the right system can be based on the criticality analysis.

1. Review of the literature

The basic functions of maintenance services include [1]:

- Activities related to the maintenance of the machine park,
- Improving the reliability of machinery and equipment as improving the conditions of use of these facilities,
 - Restoring or maintaining the original state of technical infrastructure lost during its use,
 - Supervision over the efficiency of technical facilities without performing maintenance, repairs or improvements.

Three maintenance systems are distinguished [2,3]:

1. Reactive maintenance – taking action by maintenance services at the moment of any anomalies and breakdowns.

The disadvantages of reactive maintenance are:

- high failure rate of the park machine,
- inefficient use of human resources,
- cost increase related to maintenance,
- extended time for restoring machines and devices,

- lack of possibility of making plans and work schedules,
- lack of possibility of accurate preparation budget for activities related to the work of the maintenance services.

While the main advantages are: low costs as well as low demand for maintenance specialists in a trouble-free work period of the machine park.

2. Preventive maintenance – undertaking actions of maintenance services of a preventive and planned nature.

The disadvantages of preventive maintenance are:

- increased (but not so high as in the first example) probability of failure occurrence,
- bound requirement with greatly committed personnel,
- includes activities resulting from a schedule that does not always good it reflects the real one infrastructure technical status,
- performing supernumerary reviews,
- possibility of occurrence of accidental damage of machinery and devices during unjustified inspection.

While the main advantages are:

- fewer failures and lower frequency compared with reactive maintenance motion,
- extended time of operating subassemblies,
- cost effectiveness in capital-manufacturing processes,
- the ability to plan and schedule related activities with maintenance,
- greater control over related budget with maintenance,
- flexibility in customizing inspection frequency, maintenance etc. to the manufacturing plan.

3. Prognostic maintenance – proactive search for solutions that limit the need for actions in the maintenance of technical infrastructure.

The disadvantages of preventive maintenance are:

- increase in expenditure investment incurred on equipment diagnostic,
- increase in expenditure incurred on staff training.

While the main advantages are:

- fewer failures and lower frequency compared with preventive maintenance,
- elongation of parts and components' lifetime,
- significant reduction of related costs with the purchase of replacement parts and remuneration staff compared to preventive maintenance.

Criticality analysis of machines and installations as a set of methods focused on the hierarchization of technical objects according to their significance creates an algorithm selection of maintenance strategies for individual machines what has been presented in figure 1. However, the criticality analysis should clearly determine which objects are more and less critical to the organization.

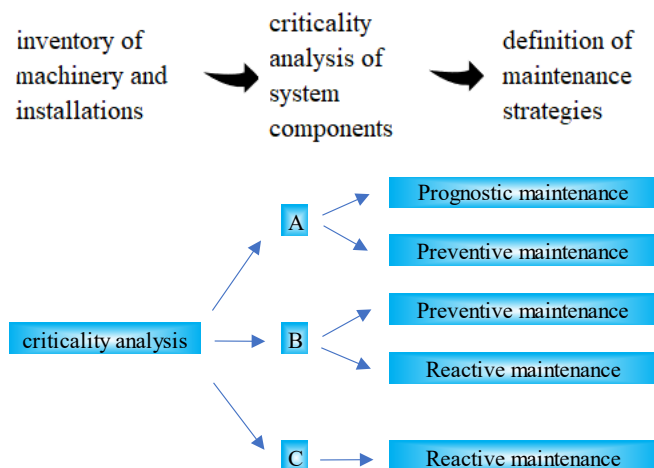


Fig. 1. Maintenance systems according to criticality of devices

Maintenance planning and scheduling is inherently a function that integrates the requirements and limitations of maintenance stakeholders, and is often perceived as a maintenance management “center” [4].

Different types of machines have different maintenance intervals depending on the frequency of failures and their criticality. One of the challenges related to preventive maintenance is determining the appropriate time interval between maintenance and their ranges. It is necessary to ensure that [5]:

1. costly and unnecessary maintenance activities were not performed long before the actual occurrence of the emergency.
2. costly post-failure actions did not occur because of too long breaks between planned preventive actions.

An effective process of supervising machines and devices in an enterprise requires an appropriate technical infrastructure management strategy and reliable indicators for assessing its functioning. Various evaluation criteria can be used to assess the effectiveness of machines, e.g. economic, technical and operational, information and operational, safety, etc.

In operational practice, there are many mathematical models that constitute the basis for the quantitative assessment of the operation of technical facilities and the operation of maintenance services. In the analysis conducted by Loska [6] in enterprises from various industries showed that the most frequently used measures are those resulting from three general models:

1. Reliability,
2. Overall Equipment Effectiveness,
3. Organizational and technical KPI (Key Performance Indicators).

2. Work results for an offshore facility

U.S. Department of Energy [7] believes that properly implemented preventive maintenance enables reduction of energy consumption and maintenance costs by about 30%, reduction of the number of failures from 35% to 45% and reduction of downtime by up to 75%.

A review of the literature on the measurement of maintenance performance shows that different authors have different classifications of maintenance indicators. Research conducted by Muchiri, Pintelon, Martin, De Meyer [8] in enterprises indicates that the most frequently used indicators are: accident rate – 90% indications, overall equipment effectiveness – 85%, number of unplanned maintenance activities – 80%, mean time to repair – 76%, number of downtimes – 68% and mean time between failure – 63%.

Choosing a maintenance strategy is a complex technical, economic and organizational task.

The purpose of determining the criticality of devices on the platforms is to objectively determine the importance of individual devices for maintaining the continuity and parameters of production and auxiliary processes, and to provide prevention plans and stocks of materials and components for this.

Each device located on the platforms should be classified into one of four groups, depending on its importance:

- a) critical device (A),
- b) lifesaving device (R),
- c) valid device (B),
- d) other device (C).

Qualification of devices for the above-mentioned group influences the selection and application of an appropriate and optimal maintenance strategy for a given device, in particular:

- a) optimal protection in spare parts,
- b) ranges of monitoring of operating parameters,
- c) scopes of periodic diagnostic control,
- d) scopes of equipment inspections,
- e) the sequence of repairs.

During the analysis of the operation of devices on the platforms, criteria were developed according to which devices should be classified:

- a) safety,
- b) importance for the platform,
- c) failure rates,
- d) repair.

The novel matrix of criteria for an offshore facility has been showed in the table 1.

Table 1. Matrix of criteria

No.	Criteria	Weight	Points (Y)		
			5	3	1
1.	safety	1	very dangerous	dangerous	safe
2.	importance for the object	1	very important	important	other
3.	failure rate	0,75	high possibility	average probability	low probability
4.	repairs	0,5	complicated	moderately complicated	simple

$$K = 1 \times Y_1 + 1 \times Y_2 + 0,75 \times Y_3 + 0,5 \times Y_4 \quad (1)$$

where:

$Y_1 \rightarrow Y_4$ – point value for each of the criteria

where: $K \geq 13,25$ this device is from the critical group (A)

where: $13,25 < K \leq 8,25$ this device is important (B)

where: $K < 8,25$ this device is from the group others (C)

The description of the criteria for determining the criticality level of devices indicated in formula 1 is the result of the aforementioned analysis of the operation of individual devices on the platform:

1. Safety criterion – determines the potential impact of the failure of the device on the threat to life and health, property and the natural environment. In order to determine the value for this criterion, one should choose one of the three values assigned to this criterion that corresponds best to the device under consideration:

a) very dangerous

causing a serious threat to human life or health by: – fire as a consequence of an accident, – explosion as a consequence of an accident

causing material losses related to: – fire of part or all of the platform, explosion – damage to other systems caused by disruption of the technological process, e.g. sudden increase in temperature or pressure.

can cause: – large-scale environmental pollution, – water pollution, – air pollution, – the need to evacuate workers.

b) dangerous

which may indirectly endanger life or health, – outflow of medium under high pressure, – hot medium outflow (steam, boiler water, etc.), – leakage of vapors obstructing visibility, breathing,

causing the risk of damage or destruction of property,

may cause local environmental pollution,

c) safe

not endangering life and health,

not causing property damage,

non-polluting.

2. Criterion of the importance of the system from the platform perspective – defines the impact of device failure due to the operational consequences of the platform, such as: production limitation, economic consequences or stopping auxiliary processes. In order to determine the value for this criterion, one should choose one of the three values assigned to this criterion that best corresponds to the device under consideration:

a) very important

- a device whose failure results in the stoppage of the mining or drilling process

Very important devices include, above all, those that play a basic role in the process and have no alternative devices that can perform its function.

b) significant

a device whose failure results in: – temporary interruption of the technological process, – change of the technological process, – change of technological parameters,

Important devices include those that play a fundamental role in the technological process but can work interchangeably with other systems that fulfill the same function and have similar parameters.

c) others

Other devices include those whose periodical stoppage does not interrupt the continuity of the process and / or change parameters.

3. Criterion of the probability of failure – determines the possibility of failure of the device. In order to determine the value for this criterion, on the basis of the collected statistical data and experience, the closest probability level corresponding to the failure of a given device should be selected according to the following:

a) a device with a high probability of failure – these include devices where the time between two consecutive failures is less than 1 year, which corresponds to failures at least once a year,

b) a device with an average probability of failure – these include devices where the time between two consecutive failures is from 1 to 3 years, which corresponds to failures at least once every three years, but not more often than once a year,

c) a device with a low probability of failure – these include devices where the time between two consecutive failures is over 3 years, which approximately corresponds to a failure not more frequently than every 3 years,

4. Repair criterion – defines repair actions taken after the failure due to the complexity of the renovation, the required renovation time, the possibility of carrying out the renovation on one's own, the necessity to use external service, the availability of spare parts. In order to determine the value for this criterion, select one of the three values assigned to this criterion that meet at least 1 condition of the given criterion.

a) very complex renovation

- the renovation time may exceed 120 hours,
- repair requires the participation of an external service,
- spare parts with a delivery time exceeding 1 month,

- b) renovation moderately complex
 - renovation time no longer than 120 hours,
 - repair does not require external service,
 - spare parts with a delivery time of less than 1 month,
- c) simple renovation
 - renovation time no longer than 48 hours,
 - repair with own resources without special involvement of forces and resources,
 - spare parts from multiple suppliers within 7 days.

3. Criticality and proper maintenance as an example

According to the company’s internal procedure, once a year or in the event of a device failure, an emergency event analysis should be performed and, if necessary, the criticality of a given device should be recalculated. In the figure number 2, based on the analysis of the failure of the plunger pump, it was found that the initial classification of the pump as “other devices” (C) was correct, there is no need to conduct a new criticality analysis, and the reason for the unavailability of the device was due to the parameters of the pump and the quality of the materials used.

Lp	Lokalizacja funkcjonalna	Nr urządzenia	Nazwa	Kryterium				Ocena łączna	uwaga	Stożek krytyczności urządzenia
				bezpieczeństwa	znaczenia systemu z perspektywy	prawdopodobieństwa wystąpienia awarii	remontowe			
775	CP-0051.002.006	20012468	HIGH PRESSURE INJECTION PUMP	1	3	3	3	7,75		c

Urządzenie: 20012468 Typ: Mechaniczne

Oznaczenie: HIGH PRESSURE INJECTION PUMP 004

Status: INST USPR

Ważne od: 24.06.2020 Ważne do: 31.12.9999

Ogólne Lokalizacja Organizacja Struktura Dane gwarancji Dokumentacja techniczna

Dane lokalizacji

Zakład PM: 2B01

Lokalizacja: [redacted]

Pomieszczenie: [redacted]

Obszar przed.: CPM Dz.mechaniczny

Wskaźnik ABC: C Obiekt pozostały

Pole sortowania: [redacted]

Adres

Nazwa: [redacted]

Ulica: [redacted]

Miejscowość: [redacted]

Telefon: [redacted] Faks: [redacted]

Fig. 2. Pump classification

Examples of maintenance plans for the pump in question are showed in the figure number 3.

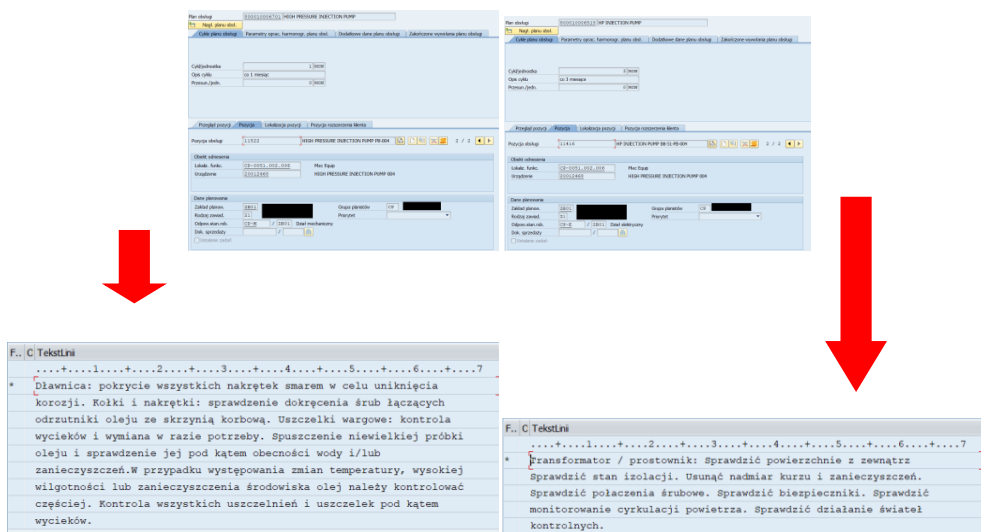


Fig. 3. Example of maintenance plans

The pumps were installed and commissioned on the oil and gas production platform. After starting the pump, it was put into normal operation. In the first period of operation, the following problem was noted: check valves showing cracks in spring retainer and valve seat.

Original supplied check valves failed after 1800 to 2500 hours of pump operation. A repair involving spare valve parts delivered by the manufacturer resulted in achieving only four days (approx. 100 hours) of pump operation. The main failure mechanism observed in all prematurely failed check valves has been the development of cracks in both spring retainers and valve seats.

Failure hypotheses:

1. Corrosivity of sea water

The material selected for the valve parts is ASTM A 182 Grade F51, more commonly known as Duplex stainless steel. This material has a yield strength $R_{p0.2}$ of 450 MPa at 23 °C and a tensile strength of 620 MPa at 23 °C. It is a well-known material frequently used for sea water type applications due to its corrosion resistance. Corrosion due to (stagnant) sea water has to be considered as a potential factor in the failure of these valve parts.

2. Sigma phase Duplex stainless steels

A second key material element to be aware of when using Duplex types of stainless steels is the potential presence of Sigma phase within the material. As Duplex forgings start their life as a casted ingot, Duplex materials require a specific and rapid cooling down trajectory in order to avoid the material developing Sigma phase.

Sigma phase is a chromium-rich intermetallic phase found in stainless steels, that forms when an alloy is cooled slowly through the range from around 1000 °C to 550 °C. The formation of these chromium-rich particles denudes the surrounding metal of chromium, thereby reducing its resistance to pitting corrosion. In addition, these particles significantly reduce the impact toughness of the alloy at lower temperatures. Sigma phase needs to be prevented from developing and the way to do this is to intensely cool the ingot rapidly avoiding the segregation of chrome as an element. In case Sigma phase is present in the ingot even when the material will be forged later on, this material anomaly negatively influences the mechanical strength of the final Duplex stainless steel. It is why the correct quality of the Duplex material is paramount in the design of critical parts such as for these check valves used in reciprocating pumps. The use of destructive or non-destructive examination can support this.

3. Cyclic loading

To understand the potential failure mode of the check valve parts, finite element analysis (FEA) techniques were applied to determine the mean- and alternating stress levels. As the two parts are used in both the suction- and discharge ports of the pump, they are both subject to an alternating pressure varying between 5 and 401 bar G with each stroke of the pump's plunger. With a pump speed of 300 RPM, the number of stress cycles equate to 18.000 cycles/minute. Such a cycle rate puts a focus towards examining the risk of fatigue damages, as a possible cause for the observed cracks. An FEA was conducted on the original supplied spring retainer during the pressurization cycle at a known location of a potential crack initiation. Maximum alternating tensile stress levels in excess of 500 MPa were found, which is more than 80% of the material's tensile strength of 620 MPa.

Conclusions on potential failure causes

1. Concern of potential corrosion of spring retainer and valve seat using material A182 Gr. 51 based on photographic evidence showing a brownish discoloration of used valve parts.

2. Both the spring retainer and the valve seats have designs showing sharp edges, which are created by intersection machining operations.

3. Machining of some features, such as inside of the valve seats, seem to have created 'steps', which can act as stress riser locations.

4. The working fluid is sea water, which is a corrosive liquid.

The removal of defects enabled the correct operation of the pump. These disadvantages resulted from the high operating parameters of the pump. The same constructions, operating on lower parameters, showed no failure.

This example shows the importance of the quality of production in the case of high workload of the construction material. Moreover, on the example of this pump,

it was found that the criticality of the device was correctly determined, and only the operating parameters of the pump and the materials from which it was made required modification.

References

1. Piersiala S., Trzecieliński S., *Systemy utrzymania ruchu. Koncepcje zarządzania systemami wytwórczymi*, Instytut Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej, Poznań 2005, s. 114–126.
2. Legutko S., *Trendy rozwoju utrzymania ruchu urządzeń i maszyn*, „Niezawodność i Eksploatacja” 2009, nr 2.
3. Pomietlorz-Loska M., Byrska-Bienias K., *Metody i techniki zarządzania utrzymaniem ruchu*, www.ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artyk_pdf_2016/T2/t2_0619.pdf.
4. Jasiulewicz-Kaczmarek M., *Sustainable maintenance assessment model of enterprise technical infrastructure*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2019.
5. Markeset T., *Design for production performance in Arctic locations considering maintenance and support services*, “The Proceedings of the Mine Planning and Equipment Selection Conference (MPES 2008)”, Beijing 2008, October 20–22.
6. Loska A., *Eksplatacyjna ocena obiektów technicznych z zastosowaniem metod taksonomicznych*, “Eksploatacja i Niezawodność / Maintenance and Reliability” 2013, 15 (1), s. 1–8.
7. FIIX, 15 November 2017, <https://www.fiixsoftware.com/blog/3-causes-of-equipment-failure-and-what-you-can-do-to-prevent-it>
8. Muchiri P.N., Pintelon L., Martin H., De Meyer A.M., *Empirical analysis of maintenance performance measurement in Belgian industries*, “International Journal of Production Research” 2010, 48 (20), s. 5905–5924.

NOTA O AUTORACH

Borys Andrzej dr hab. inż.	Instytut Informatyki Stosowanej im. K. Brzeskiego, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Elblągu
Magulski Paweł mgr	Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa, Politechnika Gdańska
Niburski Krzysztof inż.	Instytut Informatyki Stosowanej im. K. Brzeskiego Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Elblągu
Przewłócki Jarosław prof. dr hab. inż.	Instytut Politechniczny, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Elblągu
Sacha Norbert mgr inż.	Instytut Informatyki Stosowanej im. K. Brzeskiego, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Elblągu
Wasielewska Katarzyna dr	Instytut Informatyki Stosowanej im. K. Brzeskiego, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Elblągu
Zabuski Lesław dr hab. inż. prof. IBW PAN	Instytut Budownictwa Wodnego PAN w Gdańsku

ROZPRAWY NAUKOWE I ZAWODOWE PWSZ W ELBLĄGU

Profil czasopisma

Tematyka czasopisma obejmuje szerokie spektrum zainteresowań pracowników instytutów: Ekonomicznego, Pedagogiczno-Językowego, Informatyki Stosowanej i Politechnicznego. Profil czasopisma określają przede wszystkim zagadnienia z zakresu dyscyplin nauk humanistycznych i społecznych, jednak dopuszcza się publikacje z dziedzin informatyki i techniki.

W *Rozprawach Naukowych i Zawodowych PWSZ w Elblągu* publikowane są artykuły o charakterze naukowym oraz poświęcone problemom zawodowym, opracowane zarówno przez pracowników PWSZ w Elblągu, jak i autorów spoza Uczelni.

Artykuły naukowe prezentowane w tym periodyku oceniane są przez recenzentów pod względem oryginalności rozwiązań naukowych w akademickim rozumieniu tego pojęcia. W przypadku prac technicznych wymagana jest prezentacja oryginalnych rozwiązań konstrukcyjnych, technologicznych, diagnostycznych bądź eksploatacyjnych, przy czym wnioski wypływające z analiz, statystyk i innych opracowań powinny wnosić nowe spojrzenie na zagadnienie.

Z kolei artykuły poświęcone problemom zawodowym skupiają się wokół spraw praktyk zawodowych, staży, kompetencji zawodowych związanych z określonym kierunkiem studiów oraz analiz i rokowań dotyczących rynku pracy. Poruszane są w nich tematy dotyczące kształcenia zawodowego.

W *Rozprawach* zamieszczane są również krótkie informacje o organizowanych konferencjach, spotkaniach lub zapowiedzi wydarzeń naukowych czy kulturalnych, recenzje i omówienia. Zamieszczane recenzje monografii powinny zawierać zwięzły opis ich zawartości i wyraźnie sformułowaną ocenę własną autora.

Rozprawy Naukowe i Zawodowe PWSZ w Elblągu ukazują się dwa razy w roku (półrocznik).

Czasopismo wydawane jest w wersji drukowanej (wersja pierwotna).

