

**GŁÓWNY INSTYTUT GÓRNICICTWA – PAŃSTOWY INSTYTUT BADAWCZY
W KATOWICACH**



ROZPRAWA DOKTORSKA

**Krótkoterminowe prognozy stężenia metanu
w chodnikach wentylacyjnych przed czołami ścian**

mgr inż. Paweł Trzaskalik

Promotor: dr hab. inż. Henryk Badura

Promotor pomocniczy: dr inż. Andrzej Walentek

Katowice, 2026 r.

Pragnę złożyć najserdeczniejsze podziękowania mojemu Promotorowi dr hab. inż. Henrykowi Badura za nieocenione wsparcie, cenne wskazówki oraz cierpliwość na każdym etapie powstawania niniejszej pracy.

Szczególne podziękowania kieruję również do Promotora pomocniczego dr inż. Andrzeja Walentka za pomoc merytoryczną, inspirujące uwagi oraz gotowość do dzielenia się doświadczeniem, które znacząco przyczyniły się do rozwoju tej pracy oraz miały kluczowe znaczenie dla jej ostatecznego kształtu.

Najgłębszą wdzięczność wyrażam mojej żonie Katarzynie za nieustające wsparcie, wyrozumiałość i wiarę w najtrudniejszych momentach. Dziękuję za cierpliwość i siłę, którą mi dawałaś każdego dnia. Dziękuję także mojej córce Lenie za radość, którą wnosi do mojego życia - to właśnie ona była dla mnie największą motywacją do ukończenia tej drogi.

Spis treści

| | |
|--|-----|
| 1. Wprowadzenie | 4 |
| 2. Cel pracy oraz zakres badań i analiz | 7 |
| 2.1. Cel pracy | 7 |
| 2.2. Zakres przeprowadzonych badań i analiz | 8 |
| 3. Istota omawianego zagadnienia | 9 |
| 3.1. Charakterystyka zagrożenia metanowego | 9 |
| 4. Charakterystyka danych | 22 |
| 4.1. Wybór ścian eksploatacyjnych | 22 |
| 4.2. Eliminacja okresów zakłóceń technologicznych | 26 |
| 4.3. Uzasadnienie wyboru krótkoterminowej prognozy metanowej | 27 |
| 4.4. Charakterystyka i lokalizacja systemu pomiarowego | 28 |
| 4.5. Znaczenie doboru danych dla jakości prognozy | 30 |
| 5. Opis metody bazowej | 31 |
| 5.1. Dane pomiarowe | 31 |
| 5.2. Opis rozwiązania bazowego | 36 |
| 5.2. Wyniki otrzymane z wykorzystaniem metody bazowej | 38 |
| 6. Analiza prognoz dla metody autorskiej | 49 |
| 6.1. Wprowadzenie do autorskiej metody prognozowania | 49 |
| 6.2. Szczegółowe przedstawienie proponowanego rozwiązania | 50 |
| 6.2.1. Omówienie wykorzystanych metod heurystycznych | 56 |
| 6.2.2. Opis sposobu wyznaczania wartości wag | 58 |
| 6.2.3. Uzasadnienie wyboru obliczeniowych metod programistycznych | 60 |
| 6.3. Opis oprogramowania autorskiego MetPred | 62 |
| 6.4. Prognoza oparta na metodzie autorskiej | 64 |
| 6.5. Wyniki pomiarów i prognoz otrzymanych z wykorzystaniem metody autorskiej oraz analiza błędów | 85 |
| 7. Porównanie prognoz stężenia metanu i ich błędów otrzymanych z wykorzystaniem metod bazowej i autorskiej | 131 |
| 7.1. Szczegółowe wnioski | 131 |
| 7.1.1. Analiza danych pomiarowych | 131 |
| 7.1.2. Analiza prognozy średnich wartości i płynące z niej wnioski | 137 |
| 7.1.3. Analiza prognozy maksymalnych wartości i płynące z niej wnioski | 141 |
| 7.2. Ogólne wnioski | 146 |
| 7.3. Konkluzja | 148 |
| 8. Podsumowanie | 149 |
| SPIS LITERATURY | 157 |
| SPIS TABEL | 163 |
| SPIS RYSUNKÓW | 167 |

Abstract

Doctoral dissertation under the title „Short-term Forecasts Methane Concentration in Ventilation Airways in front of Longwall Faces” covers the subject connected with the methane hazard, which is at present one of the most dangerous hazards occurring in underground mines. The main issue undertaken in the dissertation is producing short-term forecasts of methane concentration in ventilation airways in front of longwall faces. The justification of the subject area is its relevance to occupational safety improvement in mine headings and averting disaster caused by methane explosion, the concentration of which can exceed the critical level. My dissertation is focused on the area, especially on the development of a propriety method enabling this kind of prediction as well as its implementation in the software called MetPred and its testing with the use of the collected data. Furthermore, there has been performed a qualitative comparison for the proposed method and a competitive baseline method employing linear regression.

The main innovative element of the dissertation is based on the development and testing of the author’s method of average and maximum methane concentration forecasts in ventilation airways in front of longwall faces. This method is a hybrid solution making use of several different statistics in which a weighted average of the final forecast is calculated. Weights are determined in a machine learning process through the use of the so-called supervised learning method and more precisely: “contribution-based learning”. Data feeding the algorithm come from ex post (or current) readings of methane concentration levels for a specific ventilation airway. In the process of learning the method makes use of a full accessible dataset from ex post readings for the purpose of dynamic determination of weights for particular statistics, which makes it more effective (in sense of the quality of obtained results) from the base method, id est the one which uses only linear regression.

It was for comparative purposes that a base method was used. For this very method a set of forecasts making use of the collected measurement data was conducted. The obtained results were used to determine comparative statistics.

The applied research methodology used in the study relies on implementing the proposed forecasting method in the author’s computer software under the name MetPred. Thereafter a number of forecasts for the collected real

measurement data were made. The obtained values were used to make a qualitative comparison of the said subject-specific method with the already mentioned: base method. In order to make a comparison there were used several statistics elaborated on in the latter part of the present study. Through the use of the author's MetPred program and a spreadsheet a forecast simulation for seven longwalls in Polish coal mines was performed. The range of input data for individual walls oscillated from 64 to over 400 readings. For the predicted values received in this way there were determined values of selected statistics.

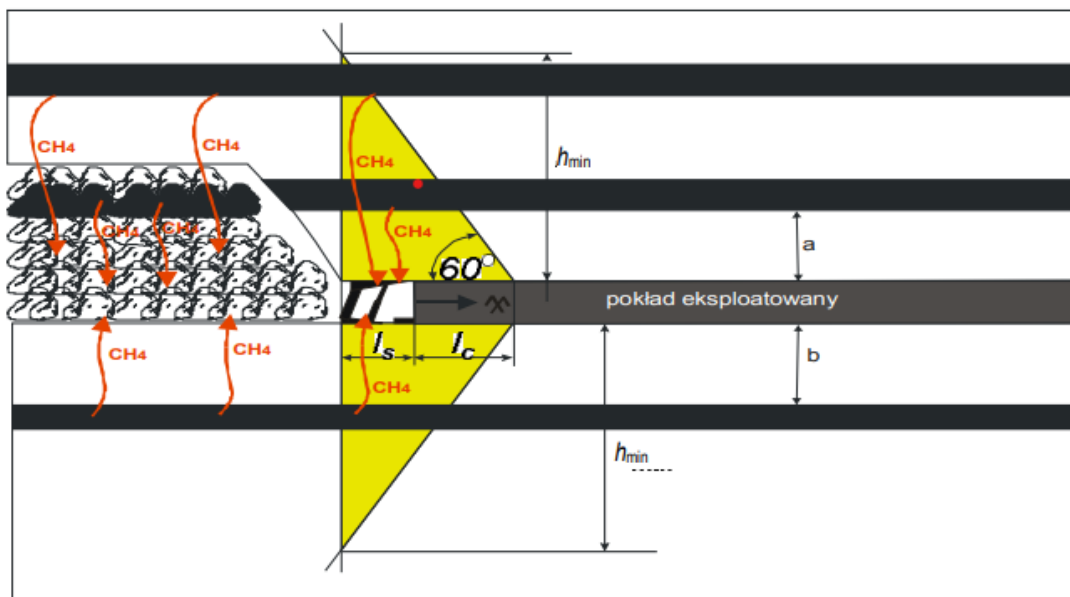
The aim of determining all the above mentioned statistics was to make a qualitative comparison of the proposed adaptive method with the base method using a linear regression function feature set.

In relation to an adaptive method it is worth stressing that it works, similarly to a base method, within the time limit not exceeding a few seconds. Apart from that, a proposed and realized by MetPred heuristics significantly improves the predicted forecast accuracy compared with a base method. In consequence all the obtained results are burdened with a smaller error compared with the forecast realized by a competitive method. The solution proposed in the dissertation is characterized by significantly smaller errors in determining forecast values, which finally results in their quality and practical value.

1. Wprowadzenie

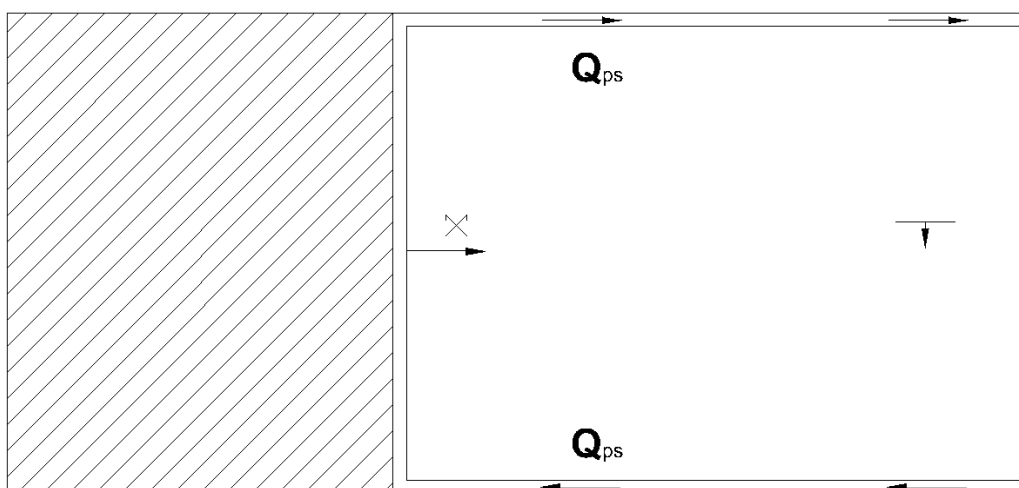
Obecność metanu – gazu wybuchowego stanowi jedno z największych zagrożeń występujących w wyrobiskach górniczych. Gaz ten jest obojętny dla oddychania, ale palny i wybuchowy w mieszaninie z tlenem, a więc i powietrzem. Jego nadmierne stężenie może prowadzić do katastrofalnych w skutkach eksplozji. Zjawisko to wymaga szczególnej uwagi, zwłaszcza w przypadku chodników wentylacyjnych, gdzie stężenie metanu może dynamicznie zmieniać się w krótkim czasie. Istotne jest, że metan z powietrzem tworzy mieszaninę trwałą, która nie podlega rozwarstwieniu, nawet pozostawiona w bezruchu – mimo że metan jest lżejszy od powietrza. Wymieszanie metanu z powietrzem wentylacyjnym, z zachowaniem odpowiednio niskiego stężenia tego gazu jest podstawowym środkiem zwalczania zagrożenia metanowego w kopalniach [1, 35, 61, 62, 63, 72, 76, 105].

Źródłem metanu są pokłady węgla i otaczające skały. Metan występuje w nich w postaci wolnej i zasorbowanej, co charakteryzuje tzw. metanonośność pokładu. Zwykle jest ona dosyć zróżnicowana w polu wybierania – co ma znaczenie, obok ciśnienia złożowego metanu, dla charakterystyki tego źródła [45, 46, 47, 75, 106]. Wykonanie wyrobisk w nienaruszonym górotworze powoduje zaburzenie jego pierwotnej równowagi, jak również stosunków wodnych, gazowych i termicznych. Wywołuje to szereg zjawisk, takich jak: wzrost ciśnienie górotworu, wypływ wody, wydzielanie gazów, emisja ciepła, utlenianie węgla. Zjawiska te są wynikiem aktywizacji sił przyrody, mają też charakter ciągły. Niekorzystne skutki tych zjawisk koncentrują się w wyrobiskach górniczych. Nie można ich zlikwidować, jedynie mogą być ograniczane do technicznie osiągalnego minimum. Wydzielanie się metanu z górotworu do wyrobisk jest jednym ze zjawisk, którego skalę określa metanowość wyrobiska, czyli ilość metanu dopływającego do niego w jednostce czasu [4, 28, 36, 42, 65, 96]. Rysunek 1.1 ilustruje drogi wydzielania się metanu do wyrobiska podczas wybierania ściany.



Rys. 1.1. Drogi wydzielania się metanu do wyrobiska podczas wybierania ściany [54]

Postępujący zawał stropu tworzy zrobry o zróżnicowanej szczelności, które wypełniają się metanem i powietrzem stanowiącym tzw. gazy zrobowe. Stężenie metanu jest w nich też zróżnicowane [1, 28, 36, 76, 89]. Rysunek 1.2 przedstawia rejon ściany przewietrzanej sposobem U.



Rys. 1.2. Rejon ściany przewietrzanej sposobem U [54]

Z uwagi na rosnącą złożoność procesów wydobywczych i zmienne warunki geologiczne, tradycyjne metody monitorowania i prognozowania stężenia metanu okazują się niewystarczające [58]. Współczesne systemy zarządzania bezpieczeństwem wymagają zaawansowanych, adaptacyjnych rozwiązań, które umożliwiają nie tylko bieżące monitorowanie, ale również przewidywanie zmian stężenia w krótkim horyzoncie czasowym. Prognozy takie mogą wspierać operatorów w podejmowaniu decyzji oraz minimalizować ryzyko związane z nagłymi skokami stężenia gazu. Należy także mieć na uwadze, że kontrola wydzielania się metanu to kontrola jego stężenia w powietrzu kopalnianym. Kontroluje się też przepływ powietrza, ciśnienie powietrza kopalnianego i atmosferycznego, ciśnienie metanu w rurociągach odmetanowania itd. [16, 22, 94, 99, 107, 110, 112].

Rozprawa została podzielona na kilka części. W pierwszej kolejności omówiono dotychczasowe podejścia do prognozowania stężenia metanu oraz zidentyfikowano ich ograniczenia. Następnie przedstawiono teoretyczne podstawy adaptacyjnej metody prognozowania. W dalszej części rozprawy zaprezentowano opracowaną metodykę, wyniki badań eksperymentalnych oraz analizę skuteczności zaproponowanego rozwiązania. Końcowe rozdziały zawierają podsumowanie oraz propozycje dalszych kierunków badań w tym obszarze.

Opracowana metoda stanowi wkład w rozwój technologii poprawiających bezpieczeństwo w przemyśle wydobywczym.

2. Cel pracy oraz zakres badań i analiz

Zgodnie z tytułem głównym zagadnieniem podjętym w rozprawie jest przeprowadzenie krótkoterminowych prognoz stężenia metanu w chodnikach wentylacyjnych przed czołem ścian. Temat ten jest niezwykle ważny w kontekście poprawy bezpieczeństwa pracy oraz uniknięcia katastrofy spowodowanej wybuchem metanu.

Głównym osiągnięciem autora rozprawy jest opracowanie i przetestowanie własnej metody prognozowania średnich i maksymalnych stężeń metanu w chodnikach wentylacyjnych przed czołem ścian.

Zastosowana w rozprawie metoda prognozowania została zaimplementowana do autorskiego oprogramowania MetPred. Przeprowadzono szereg prognoz w oparciu o zebrane rzeczywiste dane pomiarowe. Otrzymane wartości stały się podstawą jakościowego porównania przedmiotowej metody z metodą bazową [15]. Wykorzystując w rozprawie autorski program MetPred oraz arkusz kalkulacyjny przeprowadzono symulację prognoz dla siedmiu ścian wydobywczych, zlokalizowanych w polskich kopalniach węgla kamiennego.

2.1. Cel pracy

Celem naukowym pracy było opracowanie metody umożliwiającej przeprowadzanie krótkoterminowych prognoz dla średnich i maksymalnych stężeń metanu w chodnikach wentylacyjnych przed czołem ścian.

Formując dane pomiarowe stężenia metanu w chodnikach wentylacyjnych czynnych ścian wydobywczych w postaci ciągu czasowego i wykorzystując różne funkcje statystyczne i uczenie maszynowe będzie można zbadać czy opracowana metoda krótkoterminowej prognozy stężenia metanu jest dokładniejsza od metody porównawczej (metody bazowej [15]) nie wykorzystującej podejścia hybrydowego. Dzięki zastosowaniu tej metody powinno się otrzymać, w czasie nieprzekraczającym jednej minuty, wyniki obciążone najmniejszym błędem, uzyskane w oparciu o dane z historycznych odczytów poziomów stężenia.

Celem użytkowym jest opracowanie użytkowego programu komputerowego do krótkoterminowej prognozy stężenia metanu w powietrzu odprowadzanym ze ścian wydobywczych, umożliwiającej kierownictwu kopalni przeprowadzenie dokładniejszej oceny zagrożenia metanowego i bezpieczniejsze prowadzenie ruchu ścian.

2.2. Zakres przeprowadzonych badań i analiz

W niniejszej pracy dokonano prognozowania średnich i maksymalnych stężeń metanu z wykorzystaniem dwóch metod prognozowania. Jako materiał badawczy wykorzystano dane pochodzące z siedmiu ścian wydobywczych w obecnie funkcjonujących zakładach górniczych.

Pierwszą z metod była metoda bazowa [15], w której wykorzystano regresję liniową uwzględniającą wzajemne zależności poszczególnych dni tygodnia. Warto także wspomnieć, że wyznaczono nowe wartości współczynników wykorzystywanych w metodzie bazowej, które zostały zastosowane jako jedna z funkcji wchodzących w skład metody autorskiej.

Drugą metodą jest autorska metoda prognozowania opracowana specjalnie na potrzeby niniejszej rozprawy. Metodę tę wykorzystano do przeprowadzenia analogicznych prognoz jak w przypadku wspomnianej wcześniej metody. Zakres badań obejmował także obliczenie różnego rodzaju statystyk pomiarowych, takich jak: błąd względny, błąd bezwzględny, współczynnik zmienności, współczynnik dopasowania, współczynnik korelacji Pearsona. Na podstawie obliczonych statystyk porównano dokładność wyznaczania prognoz dla obydwu metod i sformułowano odpowiednie wnioski.

3. Istota omawianego zagadnienia

3.1. Charakterystyka zagrożenia metanowego

Jednym z najczęściej występujących zagrożeń w górnictwie podziemnym węgla kamiennego jest zagrożenie metanowe. W złożach węgla metan może występować w trzech formach:

- metan wolny, w szczelinach, makroporach i mezoporach,
- gaz rozpuszczony w wodzie,
- gaz związany z węglem [45, 46, 47].

W ostatnim przypadku metan może być połączony z węglem kamiennym na skutek sorpcji chemicznej (chemisorpcji) lub fizycznej.

W pokładach węgla kamiennego największa ilość metanu występuje w postaci sorbowanej fizycznie [24, 25, 46, 47, 50]. Suma objętości metanu sorbowanego i wolnego, przeliczona na jednostkę masy węgla określana jest jako metanonośność.

Ponieważ węgiel tworzył się w długim okresie i w zróżnicowanych warunkach geologicznych, jego występowanie w złożu węglowym jest zmienne. Jak wykazały badania, metanonośność oraz ciśnienie metanu w złożu węglowym są uzależnione od wielu czynników, do których można zaliczyć między innymi [98]:

- warunki nadkładowe w okresie karbonizacji materii organicznej,
- zaburzenia ciągłe i nieciągłe w zaleganiu złoża,
- litologię warstw karbońskich,
- typ węgla,
- wielkość prowadzonej i dokonanej eksploatacji górniczej,
- grubość i rodzaj nadkładu,
- dotychczasową prowadzoną eksploatację w kopalni.

Przeważającą formą występowania metanu w pokładzie węglowym jest sorpcja fizyczna. Rozróżnia się dwa rodzaje sorpcji fizycznej: adsorpcję i absorpcję. Adsorpcja polega na związaniu metanu z powierzchnią wewnętrzną węgla przez siły międzycząsteczkowe, natomiast absorpcja metanu to przenikanie jego cząsteczek pomiędzy cząsteczki szkieletu węglowego w procesie dyfuzji [75, 106].

Przy drażeniu wyrobisk korytarzowych w złożu lub eksploatacji pokładu węglowego narusza się panującą tam równowagę sorpcyjną, przede wszystkim przez zmianę ciśnienia metanu w złożu, szczególnie w pobliżu wyrobisk. Może to prowadzić do tzw. wyrzutów metanu, które zostały opisane w dalszej części niniejszego rozdziału.

Eksploatacja pokładów ścianami jest w Polsce głównym sposobem pozyskiwania węgla, powodując jednocześnie największy wypływ metanu z górotworu do wyrobisk. Jednym z czynników, uważanym za istotny w procesie wydzielania się metanu do ścian, jest wielkość wydobywania i zmiana wielkości wydobywania. Najczęściej wyrażany jest pogląd o istnieniu zależności liniowej między metanowością a wydobywaniem [4, 5, 9, 10, 18, 23, 41, 59, 60, 95] lub o pierwiastkowej zależności metanowości względem wydobywania. Nie bez znaczenia dla ilości wydzielonego do wyrobisk metanu i rozkładu stężenia metanu w wyrobiskach jest także prędkość i natężenie przepływu powietrza w wyrobiskach, na co zwrócono uwagę m.in. w pracach [69, 107].

Z technologicznym procesem urabiania pokładu węgla związane jest wydzielanie się metanu do wyrobiska ścianowego, co zakłóca proces wydobywczy i stwarza zagrożenie. Zależy ono od wielkości i zmian oddziaływania wielu czynników naturalnych i technicznych, takich jak:

- metanonośność i jej rozkład w pokładzie [52, 96],
- ciśnienie złożowe metanu [42, 52],
- zaburzenia geologiczne w górotworze [28, 64, 84],
- naruszenie równowagi metanowej w warstwach lub pokładach nadległych lub/i podległych wybieranemu pokładowi [28, 52],
- wielkość wydobywania [5, 6, 9, 10, 18, 23, 41, 50, 55, 68],
- postęp i długość ściany [28],
- wielkość zabioru kombajnu [28],
- prędkość urabiania kombajnem [28, 111],
- czas trwania cyklu urabiania [28],
- zróżnicowane właściwości mechaniczne skał stropowych [28],
- zmienność rozkładu stężenia metanu w zrobach [71, 85, 88, 90, 91, 92],
- wypełnianie zrobów mieszaninami podsadzkowymi i środkami chemicznymi [28, 35],

- natężenie przepływu powietrza przez ścianę i prędkość tego przepływu [32, 33, 37, 39, 51, 65, 67, 76, 105, 109],
- stan pomocniczych urządzeń wentylacyjnych [51, 70],
- ciśnienie powietrza atmosferycznego [48, 53, 66, 101, 104],
- wstrząsy sejsmiczne górotworu [31, 44, 86, 87, 100],
- stosowanie odmetanowania pokładu i zrobów [30, 46, 79, 98].

Występowanie metanu może mieć również bezpośredni wpływ na zagrożenie pożarami. Jako gaz palny metan może ulec zapłonowi, powodując dalsze rozszerzanie się pożaru na inne materiały palne. Jego obecność w wysokich stężeniach w zrobach wypiera tlen, dzięki czemu obniża się zagrożenie pożarami endogenicznymi. Wystąpienie mieszaniny palnej metanu z powietrzem w zrobach i jednocześnie wystąpienie tam pożaru endogenicznego węgla mogą spowodować zapalenie się metanu i powstanie pożaru otwartego, a nawet wybuch metanu, co może przerodzić się w wybuch pyłu węglowego [102, 103, 105].

Wyrzut metanu i skał to dynamiczne przemieszczenie się rozkruszonych skał lub kopaliny z calizny węglowej do wyrobiska wskutek uwolnienia się metanu wydzielonego z górotworu w wyniku działania czynników geologiczno-górnictwowych. Może on spowodować w wyrobisku lub jego części:

- zjawiska akustyczne,
- podmuch powietrza,
- uszkodzenie obudowy wyrobiska lub znajdujących się w nim maszyn i urządzeń,
- powstanie kawerny powyrzutowej, będącej pustką w stropie, spągu lub ociosie,
- zaburzenie przewietrzania wyrobiska, w którym wystąpił wyrzut, a także w innych wyrobiskach, szczególnie odprowadzających powietrze z miejsca wyrzutu,
- nagromadzenie się metanu w stężeniu, które może spowodować jego wybuch,
- powstanie atmosfery niezdatnej do oddychania.

Należy mieć na uwadze, że specyficzne układy metan-węgiel-górotwór-wyrobisko mogą spowodować nagłe wypływy metanu lub wyrzuty gazów i skał, co jest bardzo niebezpiecznym zjawiskiem występującym w trakcie eksploatacji.

Na wielkość zagrożenia metanowego i rozkład stężenia metanu w wyrobiskach ma wpływ sposób przewietrzania rejonu ściany. Poglądy na ten temat można znaleźć w pracach [37, 39, 42, 53, 65, 91]. Wysoka metanowość ścian przewietrzanych sposobem U wymaga stosowania pomocniczych urządzeń wentylacyjnych w rejonie skrzyżowania ściany z wyrobiskiem korytarzowym, odprowadzającym zużyte powietrze. Przepisy górnicze ograniczają możliwość przewietrzania sposobem U do metanowości wentylacyjnej nieprzekraczającej $20 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{min}$. W przypadku, gdy metanowość bezwzględna rejonu ściany przekracza tę wartość należy stosować odmetanowanie, a w przypadku, gdy metanowość przekracza $25 \text{ m}^3/\text{min}$, należy stosować odmetanowanie o efektywności minimum 50%. W praktyce często stosuje się odmetanowanie również w przypadku, gdy metanowość jest niższa niż $20 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{min}$, a spodziewane są okresowe przekroczenia tej wartości.

Z uwagi na zagrożenie metanowe preferowane są odmiany sposobów przewietrzania w układzie Y lub Z lub z podwójnym wyrobiskiem korytarzowym (chodnikiem lub pochylnią – w zależności od odmiany podłużnej lub poprzecznej ściany) od strony wylotu powietrza ze ściany. Ze sposobem przewietrzania wiąże się bezpośrednio rozkład stężenia metanu w zrobach ścian z zawalem stropu [73, 90, 92, 93, 96]. Jest to zagadnienie istotne zarówno ze względu na zagrożenie wybuchem metanu, jak i jego zapalenie. Sytuacja metanowa w zrobach wpływa także na rozkład stężenia metanu w ścianie i w wyrobisku przyścianowym odprowadzającym zużyte powietrze ze ściany.

Innym zagrożeniem, które może wpływać, najczęściej krótkookresowo, na zagrożenie metanowe, jest zagrożenie wstrząsami sejsmicznymi i tąpnięciami. Znane są przypadki, że po wystąpieniu wstrząsu sejsmicznego indukowanego eksploatacją górnictwem, dochodziło do wzrostu stężenia metanu [33, 47, 87, 89], co trwało kilka lub kilkanaście minut. Zdarzały się również przypadki, że po tąpnięciu wystąpił wzrost stężenia metanu w rejonie ściany do kilkudziesięciu procent lub wystąpiła tzw. atmosfera beztlenowa. Nagły wzrost stężenia metanu na skutek wstrząsów sejsmicznych wpływa również na zagrożenie wybuchem metanu [65].

Eksploatacja prowadzona w warunkach zagrożenia pożarami endogenicznymi wymaga doprowadzania możliwie małej ilości powietrza do rejonu wentylacyjnego. Jeżeli jednak jednocześnie z zagrożeniem pożarowym występuje zagrożenie metanowe, to jedną z możliwości minimalizacji zagrożenia jest automatyczna regulacja strumienia objętości powietrza doprowadzanego do rejonu ściany. Proces regulacji, spowodowany koniecznością dostosowania wentylacji do lokalnego zapotrzebowania na strumień powietrza w kopalni lub pracami naprawczymi, szczególnie w szybach wentylacyjnych, jest związany z okresem stanu nieustalonego wentylacji. Jest to okres szczególnie przede wszystkim w kopalniach metanowych, gdyż może spowodować powstawanie niebezpiecznych nagromadzeń metanu. Sytuacje takie mogą być zaskakujące dla służb wentylacyjnych w kopalniach. Nie może więc dziwić fakt, że zagadnienie stanu nieustalonego doczekało się wielu prac naukowych, badań laboratoryjnych oraz obserwacji prowadzonych w kopalniach [27, 35, 43, 106, 107, 108, 109, 112, 113].

Zmiany ciśnienia atmosferycznego powodują zmiany ciśnienia powietrza w wyrobiskach, a te z kolei wywołują stan nieustalony warunków przewietrzania i wydzielania się metanu do wyrobisk. Zagadnienie wpływu ciśnienia w wyrobiskach na zagrożenie metanowe stało się przedmiotem dociekań wielu badaczy, a opublikowane prace dowodzą jego złożoności [51, 57, 68, 71, 96, 104].

Metan wolny wypływa do wyrobisk, co może spowodować wystąpienie zagrożenia wybuchowego, pożarowego lub atmosfery beztlenowej.

Zwalczanie zagrożenia metanowego ma wieloletnią tradycję i jest realizowane wielokierunkowo. Teoretyczne podstawy do obliczania wydzielania się metanu do wyrobisk korytarzowych podał już 1957 r. J. Tarnowski [98]. Były one systematycznie rozwijane w Kopalni Doświadczalnej „Barbara”, w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, w Politechnice Śląskiej i Politechnice Wrocławskiej [44, 50, 77, 78, 81, 100].

Nadmiar metanu, który wydzieliliby się do wyrobisk podziemnych, a który nie mógłby zostać rozcieńczony do stężenia dopuszczalnego w powietrzu, jest ujmowany systemem odmetanowania. Problemy związane z prowadzeniem odmetanowania były dostrzegane przez środowisko

naukowe od momentu wprowadzenia tej technologii ograniczania zagrożenia metanowego. Początkowo dotyczyły samej techniki odmetanowania, a w miarę jej rozwoju zaczęto pracować nad optymalizacją rozmieszczenia otworów drenażowych, optymalizacją pracy systemu, poprawą efektywności odmetanowania, rozpoznaniem czynników oddziałujących na odmetanowanie [32, 36, 77, 80, 82]. Dostrzega się również problem oddziaływania odmetanowania na zagrożenia skojarzone [101].

Z uwagi na duży koszt wykonania otworów drenażowych oraz koszty budowy i utrzymywania eksploatacji systemu odmetanowania, odmetanowanie jest nadal traktowane jako zło konieczne. Zmieniające się warunki ekonomiczne, polityczne oraz wzrastająca świadomość ekologiczna społeczeństwa sprawiają jednak, że problem utylizacji metanu pozyskanego systemem odmetanowania, a także metanu wpływającego do atmosfery wraz z powietrzem wentylacyjnym, stają się coraz ważniejsze dla ekonomiki kopalń [75,76] i akceptacji górnictwa przez tę część społeczeństwa, która z górnictwem bezpośrednio nie jest związana.

Rozwiązania problemów dotyczących kształtowania się zagrożenia metanowego w wyrobiskach kopalń powinny być oparte na dużej liczbie, możliwie najdokładniejszych pomiarów, wykonywanych jednocześnie w wielu punktach sieci wentylacyjnej [31, 34]. Możliwości takie stwarzają telemetryczne systemy pomiarowe.

W polskim podziemnym górnictwie węglowym ostatnie trzydziestociopięcioletnie przyniosło bardzo duże zmiany w wyposażeniu kopalń w telemetryczne systemy pomiarowe parametrów fizycznych i chemicznych atmosfery kopalnianej [23, 110, 113]. Systemy te spełniają wiele funkcji:

- dokonują pomiarów stężenia niektórych gazów znajdujących się w atmosferze kopalnianej (tlenu, metanu, tlenku węgla, dwutlenku węgla i innych) oraz parametrów fizycznych (prędkość powietrza, ciśnienie barometryczne, temperatura),
- informują lokalnie o wartości mierzonego parametru oraz alarmują lokalnie o przekroczeniach nastaw progowych,
- wyłączają lokalnie lub centralnie zasilanie w energię elektryczną urządzeń i maszyn,

- transmitują wyniki pomiarów na powierzchnię,
- wizualizują, rejestrują i archiwizują dane pomiarowe,
- generują alarmy w dyspozytorni telemetrycznej, w przypadku przekroczenia dopuszczalnych wartości parametrów,
- sygnalizują uszkodzenia niektórych elementów systemu.

Z uwagi na zagrożenie wybuchem metanu najistotniejszą funkcją systemu telemetrycznego jest wyłączenie energii elektrycznej w przypadku przekroczenia dopuszczalnego stężenia metanu. Dzięki niej unika się inicjału zapalenia lub wybuchu metanu, spowodowanego pracą maszyn i urządzeń elektrycznych.

Z uwagi na dalsze, głębsze poznawanie zjawiska wydzielania się metanu do wyrobisk, podstawową rolę odgrywa funkcja rejestracji i archiwizacji danych pomiarowych. Dostępne dane pomiarowe mogą być analizowane i przetwarzane poza systemem telemetrycznym, co daje możliwość ich szerokiego i różnorodnego wykorzystywania [2, 3, 6, 7, 14, 17, 21, 31, 88, 96, 97, 111, 112].

Pomiary automatyczne są uzupełniane pomiarami indywidualnymi, które mają za zadanie wykrycie zagrożenia metanowego w miejscach nieobjętych metanometrią automatyczną. Przepisy [82, 83] określają kto, kiedy i gdzie jest zobowiązany do wykonania takich pomiarów, a także wskazują sposób postępowania po wykryciu niebezpiecznych stężeń, np. stężenia 5% metanu ponad obudową wyrobiska lub 2% metanu w przekroju poprzecznym wyrobiska.

Bieżące pomiary stężenia metanu pozwalają na natychmiastowe stosowanie doraźnych środków profilaktycznych w celu usunięcia nawet chwilowego, nieakceptowalnego zagrożenia. Profilaktyka, której przygotowanie wymaga dłuższego czasu (np. zmiana liczby lub częstości wiercenia otworów odmetanowania, duże zmiany rozplywu powietrza w sieci wentylacyjnej) planowana jest przede wszystkim na podstawie zmiany trendu w kształtowaniu się średnich wartości stężenia metanu. Pomocniczo wykorzystywane są wartości maksymalne stężenia metanu.

Kierownik ruchu zakładu górniczego powołuje zespoły opiniodawcze w sprawach rozpoznawania i zwalczania zagrożeń występujących w zakładzie górniczym. W kopalniach metanowych jeden z zespołów jest powołany

ds. zagrożeń związanych z obecnością metanu w kopalni. W większości kopalń zespół ds. zagrożenia metanowego, oprócz cyklicznych posiedzeń, zbiera się po wystąpieniu przekroczenia dopuszczalnego stężenia metanu, aby ocenić dotychczasową profilaktykę i ustalić zakres dalszych prac w tym obszarze.

Należy także podkreślić, że przepisy górnicze [84] wymagają oznaczania metanonośności pokładów w trakcie wykonywania wyrobisk górniczych korytarzowych, szybów oraz otworów badawczych. W rejonach projektowanych ścian oznaczania metanonośności wykonuje się w wyrobiskach przygotowawczych, w odległościach nie większych niż 200 m. Przykładowo, w kopalniach Jastrzębskiej Spółki Węglowej SA, jej kierownictwo zastrzyło ten przepis, ustalając maksymalną odległość między miejscami pobierania prób na 50 m. Znajomość rozkładu metanonośności [11, 12, 13, 15, 19, 20, 26, 48, 49, 50, 52] w polu wybierkowym projektowanej ściany jest podstawą do sporządzania prognoz metanowości ścian i planowania profilaktyki metanowej przed rozpoczęciem eksploatacji.

Z przedstawionej powyżej analizy zagadnień związanych z zagrożeniem metanowym wynika, że na jego intensywność wpływa bardzo wiele czynników naturalnych i technicznych. O środkach profilaktyki metanowej decyduje się w fazie projektowania eksploatacji oraz w fazie jej prowadzenia. Trafność oceny rzeczywistego zagrożenia metanowego, które wystąpi w czasie prowadzenia robót górniczych jest w dużej mierze uzależniona od możliwych do zastosowania miar zagrożenia. Stosowanymi miarami są: metanonośność, metanowość bezwzględna oraz stężenie metanu [74].

Kontrola stężenia metanu jest wykorzystywana do bieżącej oceny zagrożenia metanowego. Najczęściej wykorzystywane są takie kategorie statystyczne, jak stężenie chwilowe, średnie i maksymalne stężenie metanu w danej dobie.

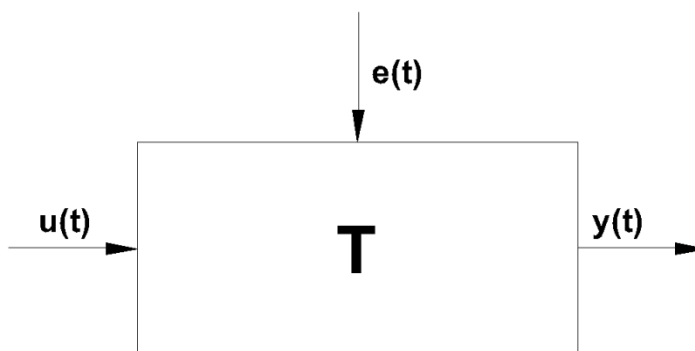
Przygotowanie środków profilaktyki metanowej wymaga czasu, a ich rodzaj i zakres powinny być dostosowane do wielkości zagrożenia. Środkiem pomocniczym w tym względzie jest prognoza zagrożenia metanowego.

Zagrożenie wybuchem metanu oceniane jest ponadto na podstawie możliwości powstania w wyrobisku nagromadzenia metanu w określonym stężeniu, co stanowi dane pomocnicze dla zaproponowanej metody prognozowania. Podstawowym miejscem kontroli jest chodnik wentylacyjny

w odległości do 10 m od wylotu ściany. Mierząc w nim natężenie przepływu powietrza, określa się też metanowość wentylacyjną ściany [17, 22, 52, 70, 82].

Dla potrzeb projektowania eksploatacji pokładów węgla systemami ścianowymi już kilkadziesiąt lat temu wykonywano prognozy zagrożenia metanowego. Znane są metody rosyjskie (Instytutu Górniczego im. Skoczyńskiego), niemieckie (Instytutu w Essen) a także polskie (GIG-PIB, AGH) [34, 39, 45, 47, 80].

Najnowsze publikacje prezentują metody prognozowania możliwe do wykorzystania zarówno przy planowaniu produkcji górniczej, jak i do bieżącej oceny zagrożenia metanowego w czynnej kopalni. W tym drugim przypadku szczególnie użyteczne są prognozy krótkoterminowe. Ścianę lub rejon ściany traktuje się jako obiekt pomiarowy z transmitancją T , z wejściem $u(t)$, wyjściem $y(t)$ i zakłóceniami $e(t)$ (rysunek 3.1). Przy prognozowaniu zagrożenia metanowego w ścianach wejście stanowią tylko niektóre czynniki wpływające na wydzielanie się metanu. Większość jest traktowana jako zakłócenie. Wyjście stanowi pomiar stężenia metanu w powietrzu odprowadzanym ze ściany lub metanowość obliczona dla tego prądu powietrza.



Rys. 3.1. Schemat koncepcyjny metody wykorzystywanej do bieżącej oceny zagrożenia metanowego – wersja z czynnikami zaburzającymi

Można przyjąć, że nie są znane żadne czynniki wpływające na wydzielanie się metanu. Model obiektu pomiarowego ma postać przedstawioną na rysunku 3.2.

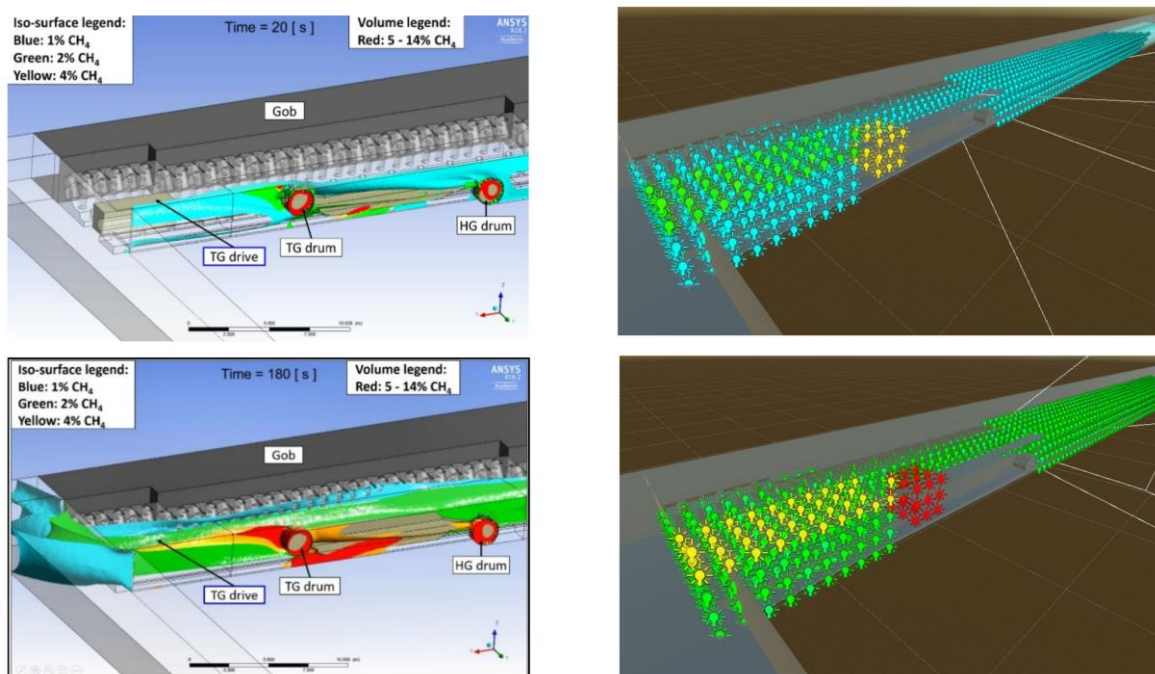


Rys. 3.2. Schemat koncepcyjny metody wykorzystywanej do bieżącej oceny zagrożenia metanowego – wersja bez czynników zakłócających

Wykorzystuje się tylko wyniki pomiarów rejestrowanych na wyjściu $y(t)$ w zadanym czasowym przedziale prowadzenia obserwacji. Wyniki pomiarów tworzą ciąg czasowy, który wykorzystuje się do prognozy wartości kolejnego wyrazu ciągu, na podstawie znanych wartości poprzednich wyrazów. Metodę ciągów czasowych wykorzystuje się do prognozowania stężenia metanu w wyrobiskach górniczych. W metodzie autorskiej wykorzystuje się właściwości ciągów czasowych. Wykorzystanie właściwości ciągów czasowych jest możliwe, bo wydzielanie się metanu ze źródeł jest ciągłe, ale również zmienne. Zmiany te mogą być krótkotrwałe z tendencją wzrostową lub spadkową. Ma to wpływ na zmienność wartości stężenia metanu w powietrzu odprowadzanym ze ściany, może być też wykorzystane w prognozach stężeń metanu np. dla następnej doby ruchu ściany. Zanik bezpośrednio przyczyny wzrostu lub spadku wydzielania się metanu z jakiegoś źródła nie zahamuje wystarczająco „bezwładności” wydzielania się metanu. Pomiar w dniu wczorajszym i dzisiejszym mogą posłużyć do prognozy na dzień jutrzejszy. W przypadku czynników silnie wpływających na wydzielanie się metanu, na przykład wielkość wydobycia czy postęp ściany, wielu autorów publikacji wykryło słabe, chociaż istotne, zależności między tymi czynnikami a wydzielaniem się metanu. Brak analizy zmian wybranych czynników mających wpływ na wydzielanie się metanu uniemożliwia wskazanie trendu wielkości stężenia tego gazu.

Przedstawiając bieżący stan wiedzy w zakresie zagrożenia metanowego warto zwrócić uwagę na kilka publikacji. Opracowanie [40] przedstawia metodę przewidywania w czasie rzeczywistym stężenia metanu w wyrobiskach górniczych podczas eksploatacji ścianowej. Celem badań było opracowanie systemu, który wykrywa potencjalnie wybuchowe mieszaniny metanowo-powietrzne wcześniej, niż pozwalają na to tradycyjne czujniki lub

symulacje CFD (ang. Computational Fluid Dynamics). W przedmiotowym artykule badacze zaproponowali zmodyfikowany algorytm LSTM (ang. Long Short-Term Memory), czyli rodzaj sieci neuronowej przystosowanej do analizy danych czasowo-przestrzennych. Zaproponowana metoda łączy w sobie dane z symulacji CFD (model przepływu powietrza i emisji metanu w rejonie ściany górniczej) z uczeniem maszynowym. Przechodząc do uzyskanych wyników warto zaznaczyć, że model uzyskał dokładność predykcji 87,9–92,4% w zależności od położenia kombajnu. Czas uzyskania predykcji po wprowadzeniu danych wynosił około 2 minut, co jest istotnym usprawnieniem w stosunku do wielodniowych obliczeń CFD (rysunek 3.3).

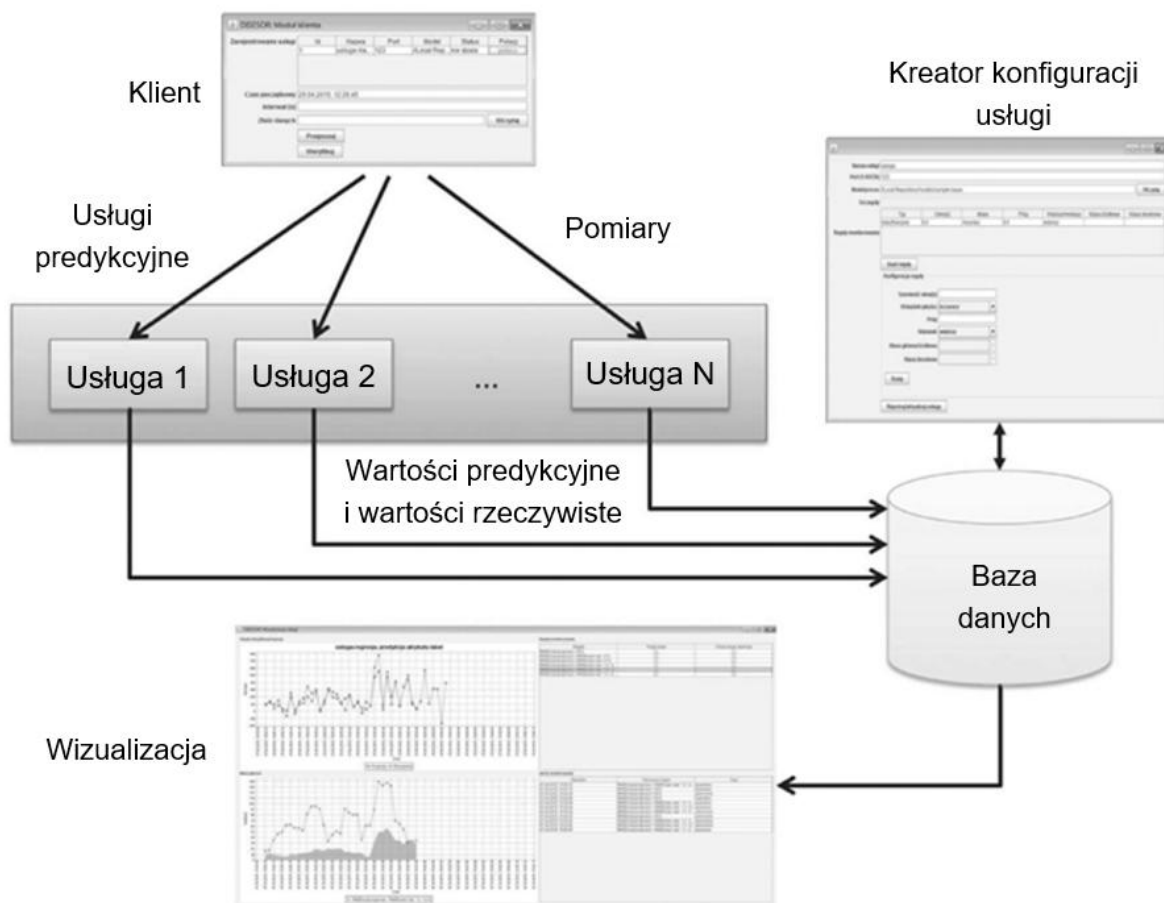


Rys. 3.3. Porównanie wyników modelowania CFD oraz predykcji z uczeniem maszynowym [40]

Inne podejście do analizowanego problemu zostało ukazane w artykule [56]. Autorzy przedstawiają w nim nową metodę prognozowania stężenia metanu w podziemnych kopalniach węgla z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych typu Multi-Layer Perceptron (MLP). Warto zauważyć, że autorzy opracowali metodologię predykcji krótkoterminowej (do 60 minut), wykorzystując dane z automatycznego systemu gazometrii kopalnianej. Wśród uzyskanych wyników na uwagę zasługują: najwyższą dokładność uzyskano dla prognozy 5-minutowej: współczynnik korelacji $R = 0,931$, błąd

MAPE \approx 17%, IA = 0,97. Prognozy dłuższe (60 minut) cechowały się nieco gorszą zgodnością (R \approx 0,90, MAPE \approx 17,5%), ale nadal mieściły się w akceptowalnych granicach. Wszystkie modele uzyskały korelację powyżej 0,9, co potwierdza wysoką zgodność prognoz z rzeczywistymi pomiarami. Model MLP 5-26-1 okazał się najbardziej uniwersalny – stabilny i dokładny dla różnych horyzontów czasowych.

W opracowaniu [38] przedstawiono natomiast zintegrowane ramy (framework) do uczenia i osadzania modeli prognostycznych opartych na danych z wielu czujników w systemie wspomaganie decyzji (DISESOR), opracowanym z myślą o prognozowaniu stężenia metanu w kopalniach węgla kamiennego (rysunek 3.4).



Rys. 3.4. Architektura i schemat operacyjny modułu predykcyjnego programu DISESOR [38]

W pracy wykorzystano dwa algorytmy:

- zmodyfikowany mRMR (Minimum Redundancy Maximum Relevance) – wybiera najbardziej informacyjne i najmniej redundantne cechy,
- DAAR (Dynamically Adjusted Approximate Reducts) – metoda inspirowana teorią zbiorów przybliżonych (rough sets), tworząca zróżnicowane podzbiory cech i budująca z nich ensembledowy model predykcyjny.

Wyniki prognoz są interpretowane przy użyciu reguł rozmytych (fuzzy logic), które klasyfikują stan zagrożenia metanowego jako: normalny, ostrzegawczy, niebezpieczny. System DISESOR został przetestowany na rzeczywistych danych z kopalń w Polsce, Ukrainie i Chinach.

Reasumując, wyniki badań pokazują, że nawet proste modele oparte na dobrze wybranych cechach mogą dorównywać zaawansowanym sieciom neuronowym pod względem skuteczności, a jednocześnie być znacznie łatwiejsze w stosowaniu i interpretacji.

4. Charakterystyka danych

Prawidłowe zaprojektowanie prognozy krótkoterminowej wydzielania się metanu wymaga precyzyjnego doboru materiału badawczego oraz dokładnego określenia warunków prowadzenia obserwacji. Tylko dane pozyskane w stabilnych, powtarzalnych warunkach technologiczno-górnictwowych umożliwiają identyfikację rzeczywistych zależności i trendów występujących w procesie gazogeodynamicznym. Dlatego w niniejszych badaniach przyjęto szereg kryteriów selekcyjnych, których celem było wyeliminowanie czynników zakłócających i zapewnienie wysokiej jakości materiału wejściowego dla modelu prognostycznego.

4.1. Wybór ścian eksploatacyjnych

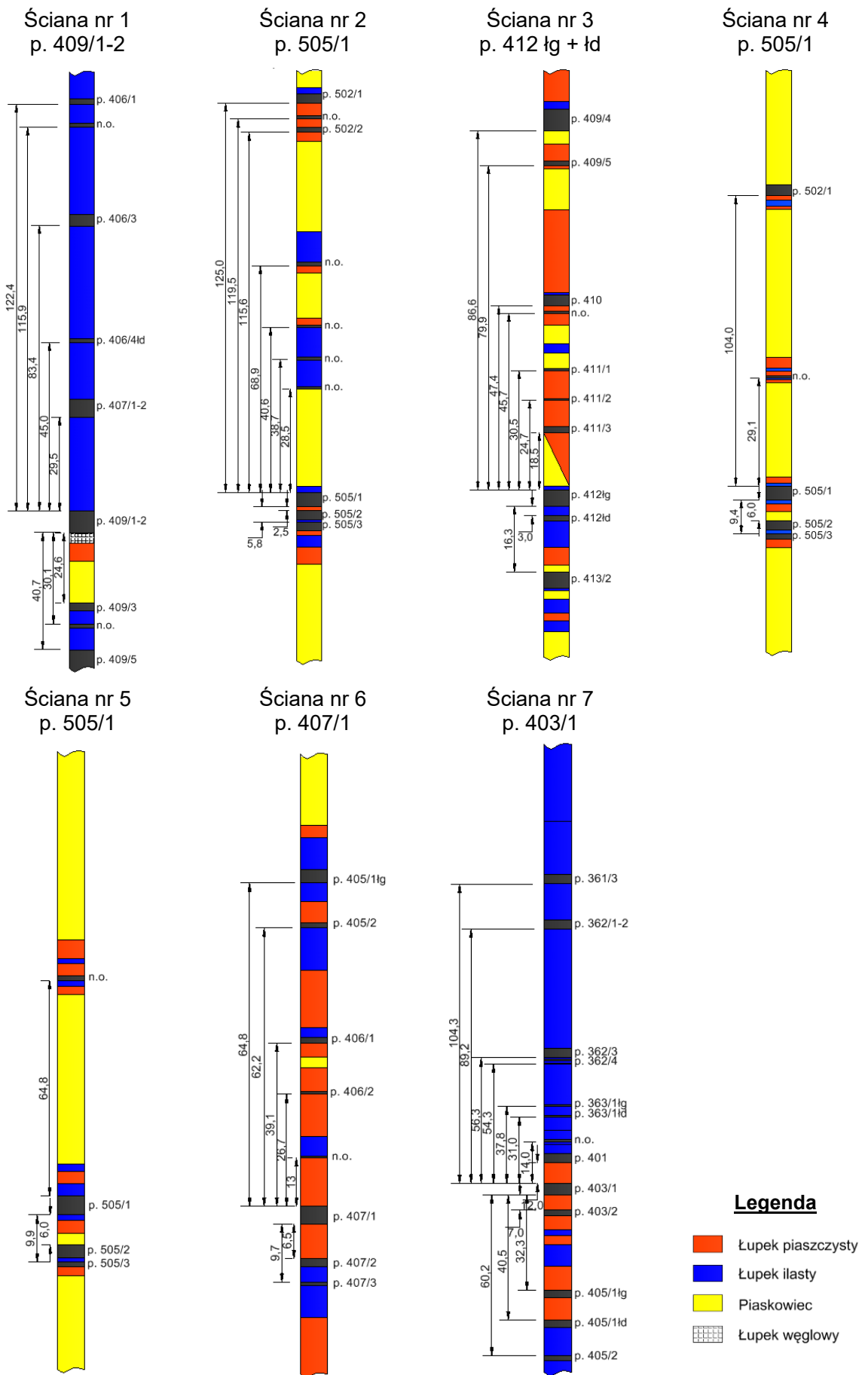
Do analiz wybrano wyłącznie ściany eksploatacyjne prowadzone w klasycznym układzie wentylacyjnym typu U. Układ ten charakteryzuje się stabilnym, jednokierunkowym przepływem powietrza od wylotu chodnika przyścianowego do wentylacyjnego, co znacznie ułatwia interpretację mierzonych stężeń metanu. Ściany prowadzone w układzie U stanowią większość ścian prowadzonych w polskim górnictwie węgla kamiennego, co podnosi praktyczną wartość projektowanego modelu. Zgromadzone dane poddawano kontroli jakości, w tym procedurom usuwania anomalii, filtrowania sygnału oraz interpolacji brakujących punktów, aby zapewnić spójność analiz. Wyniki uzyskane na podstawie takich danych mogą być wykorzystywane w innych kopalniach, zwiększając potencjał skali wdrożenia opracowanej prognozy krótkoterminowej. Badania obejmowały ściany podłużne prowadzone od pola w IV kategorii zagrożenia metanowego z zawalem stropu. Charakterystyka wybranych parametrów dla poszczególnych ścian została przedstawiona w tabeli 4.1.

Tabela 4.1. Charakterystyka wybranych parametrów dla poszczególnych ścian

| Numer ściany | Pokład | Liczba dni pomiarowych | Głębokość eksploatacji, m | Okres eksploatacji | Mięszość pokładu, m | Średni postęp dobowy, m/dobę | Średnie wydobycie dobowe, Mg/dobę | Metanonośność, m ³ CH ₄ /Mg _{C_{sw}} | Długość ściany, m | Ilość powietrza, m ³ /min |
|--------------|-------------|------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------|------------------------------|-----------------------------------|---|-------------------|--------------------------------------|
| 1 | 409/1-2 | 175 | 950–995 | 01.2020–07.2020 | 2,9–3,8 | 2,5 | 2400 | 5,409 | 214 | 1100 |
| 2 | 505/1 | 191 | 909–975 | 08.2019–02.2020 | 3,0–3,7 | 4,0 | 2763 | 3,325 | 180 | 1250 |
| 3 | 412 łg + łd | 64 | 866–912 | 06.2011–08.2011 | 3,1–3,4 | 2,4 | 2230 | 5,934 | 220 | 1700 |
| 4 | 505/1 | 151 | 818–910 | 02.2020–07.2020 | 3,5–4,0 | 2,2 | 2285 | 1,818 | 241 | 1150 |
| 5 | 505/1 | 246 | 845–925 | 01.2018–09.2018 | 3,0–4,1 | 2,3 | 2571 | 2,828 | 217 | 1400 |
| 6 | 407/1 | 418 | 912–986 | 09.2018–11.2019 | 1,6–2,7 | 2,6 | 1282 | 5,807 | 154 | 1450 |
| 7 | 403/1 | 282 | 950–1049 | 01.2013–10.2013 | 1,5–2,2 | 3,9 | 1832 | 7,091 | 191 | 1200 |

Wszystkie badane ściany były prowadzone z zawałem skał stropowych, na wysokość od 1,6 do 4,0 m, ze średniodobowym postępem od 2,2 do 4,0 m/dobę, co pozwalało na uzyskanie wielkości wydobywania węgla od 1282 do 2763 Mg/dobę. Przedmiotowe ściany były zlokalizowane na głębokości od 818 do 1049 m, a ich długość wahała się w przedziale od 154 do 220 m.

Wszystkie ściany znajdowały się w otoczeniu typowych dla GZW skał, takich jak łupki ilaste, łupki piaszczyste oraz piaskowce. Na rysunku 4.1 zestawiono profile geologiczne przedstawiające układ poszczególnych warstw skalnych w otoczeniu każdej badanej ściany. Na profilach tych zaznaczono również odległości względem wyżej i niżej zalegających pokładów węgla, które miały wpływ na wydzielanie się metanu do przedmiotowych ścian. Metanonośność pokładu węgla w poszczególnych ścianach wynosiła od 1,818 do 7,091 m³ CH₄/Mg_{CSW}.



Rys. 4.1. Profile geologiczne rejonów prowadzonych badań dołowych

4.2. Eliminacja okresów zakłóceń technologicznych

W celu uzyskania niezakłóconych danych pomiarowych z analizy wykluczono te okresy funkcjonowania ściany, w których wystąpiły:

- nagły wzrost wydzielania się metanu (w tym przekroczenia progowe),
- tąpnięcia,
- wyrzuty gazów i skał,
- długotrwałe zatrzymanie eksploatacji spowodowane awariami maszyn,
- przerwy w pracy spowodowane prowadzeniem prac górniczych niebędących elementem cyklu eksploatacyjnego,
- nagłe zmiany warunków geologicznych (np. wejście ściany w strefę uskokową).

Takie zdarzenia prowadzą do gwałtownych zmian dopływu metanu, mających charakter incydentalny i trudny do ujęcia w modelach prognostycznych. Eliminacja takich sytuacji była kluczowa, ponieważ każde z wymienionych zdarzeń prowadzi do nagłych i nieliniowych zmian dynamiki wydzielania się metanu, uniemożliwiając tworzenie modeli prognostycznych opartych na założeniu lokalnej stabilności układu. Wykluczenie ich zapewniło, że analizowane przebiegi czasowe były w możliwie największym stopniu odzwierciedleniem naturalnych, typowych dla danej ściany procesów odmetanowania.

Z analizy usunięto także te fragmenty rejestrów, w których prowadzono działania techniczne mogące bezpośrednio wpływać na wielkość wydzielania się metanu, na przykład:

- wymiana lub modernizacja napędów kombajnu,
- zmiana średnicy bębna urabiającego,
- modyfikacja prędkości posuwu,
- przebudowa lub wzmacnianie obudowy,
- zmiana parametrów pracy zmechanizowanej obudowy ścianowej,
- modyfikacja systemu wentylacji (np. przebudowa tam, zmiana kierunku przepływu).

Celem było uzyskanie ciągłych odcinków pracy ściany, które charakteryzowały się niezmiennością parametrów technologicznych. Tylko takie serie danych pozwalają na odseparowanie wpływu czynników geologicznych i naturalnych od czynników stricte technologicznych.

4.3. Uzasadnienie wyboru krótkoterminowej prognozy metanowej

W niniejszej pracy krótkoterminową prognozę stężenia metanu zdefiniowano jako prognozę obejmującą horyzont czasowy wynoszący 24 godziny. Ograniczenie to wynika z:

- szybkozmienności procesów wydzielania się metanu,
- realnych potrzeb służb wentylacyjnych kopalni,
- możliwości automatycznej reakcji systemów metanometrycznych,
- stabilności statystycznej danych (najwyższa dla horyzontu dobowego).

Model krótkoterminowy w horyzoncie jednej doby pozwala na jednoczesne wychwycenie kluczowych trendów oraz na odpowiednio szybkie reagowanie na zmieniające się warunki w rejonie ściany, co czyni go użytecznym narzędziem operacyjnym.

Należy mieć na uwadze, że w kopalnianych warunkach podziemnych dynamika procesów gazowych zmienia się w skali:

- minut (wahania lokalne),
- godzin (wahania operacyjne powiązane z pracą kombajnu, sekcją obudowy, transportem urobku),
- doby (wahania strukturalne wynikające z przesuwania się czoła eksploatacji, zmiana naprężeń górotworu oraz zmienność rozwarstwienia pokładu).

Horyzont dłuższy niż 24 godziny prowadziłby do mieszania wpływu krótkich fluktuacji metanowych z czynnikami długoterminowymi, takimi jak:

- postęp ściany,
- zbliżanie się do stref uskokowych,
- zmiany rozkładu naprężeń,
- modyfikacje warunków przewietrzania.

Dlatego prognoza jednodobowa jest:

- najbardziej użyteczna praktycznie,
- najbardziej adekwatna operacyjnie,
- najbardziej stabilna predykcyjnie,
- zgodna z wymaganiami służb metanometrycznych.

Jednodniowy horyzont prognostyczny uznaje się ponadto za najbardziej praktyczny z punktu widzenia profilaktyki metanowej i decyzji operacyjnych służb wentylacyjnych kopalni.

4.4. Charakterystyka i lokalizacja systemu pomiarowego

Pomiary zostały wykonane z wykorzystaniem czujnika stężenia metanu CSM-3. Jest to urządzenie stacjonarne przeznaczone do pomiaru stężenia metanu w wyrobiskach zagrożonych wybuchem w kopalniach węgla kamiennego. Współpracuje z centralą telemetryczną typu CST-40, CST-40A w zakresie transmisji i przekazywania danych.

Czujnik CSM-3 umożliwia pomiar w zakresie 0–100% CH₄. Komunikacja z czujnikiem jest cyfrowa przez linię zasilającą za pośrednictwem centrali oraz przez kalibrator ręczny typu KR-2. Kalibrator komunikuje się z czujnikiem CSM-3 drogą kablową. Autonomiczny układ zasilania (akumulator) jest w stanie zasilać układ czujnika metanu po odłączeniu od linii. Czujnik ten jest urządzeniem mikroprocesowym i samodzielnie wykonującym funkcje pomiarowe, sterujące i transmisyjne. Do podstawowych zadań czujnika należy ciągły pomiar stężenia metanu, porównywanie zmierzonej wartości z nastawionymi progami alarmowymi, sterowanie stykami urządzeń wyłączających.

Centrala podczas pracy z podłączoną linią do czujnika CSM-3, inicjuje połączenie i wymienia z czujnikiem dane (nr fabryczny, stan akumulatorów, styków itd.). Czujnik odbiera polecenia operatorskie dotyczące sterowania stykiem wyłączającym oraz nastawy progów alarmowych.

W trakcie normalnej pracy w odpowiedzi na zapytanie z centrali przesyłane są dane pomiarowe i inne informacje dotyczące pracy czujnika. W przypadku utraty połączenia z centralą czujnik, w zależności od konfiguracji matrycy wyłączeń, otwiera lub pozostawia bez zmian styki wyłączające i wykonuje nadal samodzielnie pomiary. Jeżeli wartość pomiaru przekroczy nastawione progi alarmowe, czujnik automatycznie rozwiera styki (jeżeli nie były otwarte).

Brak transmisji z centrali do czujnika w czasie dłuższym niż 10 s traktowany jest jako utrata bezpieczeństwa i w przypadku, gdy czujnik jest ustawiony we współpracy z matrycą wyłączeń, nastąpi rozwarcie styków. W przypadku, gdy CSM-3 nie współpracuje z matrycą wyłączeń, wyłączenie czujnika nastąpi po około 4 minutach [29]. Na rysunku 4.2 przedstawiono czujnik CSM-3.



Rys. 4.2. Czujnik CSM-3 [29]

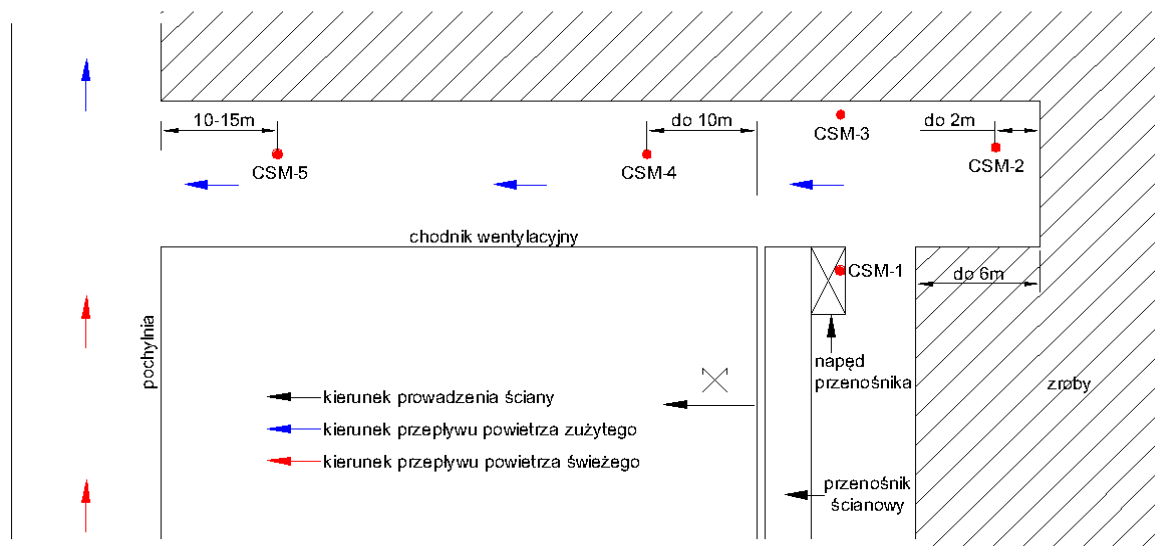
Aparatura pomiarowa wykorzystana do zbierania danych charakteryzowała się odpowiednią częstotliwością próbkowania, umożliwiającą analizę zmian krótkoterminowych oraz detekcję gwałtownych fluktuacji stężenia gazu.

System pomiarowy zapewniał:

- wysoką częstotliwość rejestracji (co najmniej 1 pomiar na 10 sekund),
- automatyczne rejestrowanie zdarzeń alarmowych,
- stabilność kalibracji zgodną z przepisami górnictwami,
- możliwość ciągłego przesyłania danych do dyspozytorni.

Dzięki temu było możliwe precyzyjne odwzorowanie krótkookresowych fluktuacji stężenia metanu, kluczowych dla budowy modelu prognostycznego. Należy podkreślić, że prognozowanie stężenia metanu dla czujnika automatycznego umieszczonego w odległości do 10 m (CSM-4) przed frontem ściany, ma kluczowe znaczenie zarówno dla jakości analizy zagrożenia metanowego, jak i dla bezpieczeństwa prowadzenia eksploatacji. Lokalizacja ta nie jest przypadkowa - stanowi optymalny kompromis między wiarygodnością pomiaru, bezpieczeństwem pracy i przydatnością operacyjną uzyskanych wyników. Do analizy wykorzystano dane pochodzące z tak zlokalizowanych czujników metanometrycznych. Tego typu

konfiguracja sprawia, że rejestrowane stężenia są reprezentatywne dla gazu odprowadzanego bezpośrednio z rejonu urabianego, natomiast zakłócenia wynikające z turbulencji czy lokalnych zastoisk mają minimalny wpływ na uzyskiwane wyniki. Miejsce lokalizacji czujnika zostało pokazane na rysunku 4.3.



Rys. 4.3. Skrzyżowanie ściany i chodnika wentylacyjnego z zaznaczonymi miejscami pomiarów stężenia metanu

4.5. Znaczenie doboru danych dla jakości prognozy

Przyjęty sposób selekcji materiału badawczego pozwolił na uzyskanie serii czasowych o minimalnym poziomie zakłóceń, co w sposób istotny:

- zwiększyło dokładność estymacji parametrów modelu,
- umożliwiło stabilne uczenie modeli statystycznych i uczenia maszynowego,
- zredukowało ryzyko nadmiernego dopasowania,
- uniezależniło wyniki od incydentalnych zdarzeń technologicznych.

Dzięki temu uzyskane prognozy mogą być traktowane jako wiarygodne i użyteczne w praktyce górniczej.

5. Opis metody bazowej

5.1. Dane pomiarowe

Przedstawiana praca dotyczy prognoz jednodniowych. Prognozy takie powinno się przeprowadzać tuż przed podjęciem pracy w określonym dniu roboczym. Na ich podstawie można podjąć doraźne środki profilaktyki metanowej, na przykład: zwiększenie lub zmniejszenie liczby pracujących strumienic powietrza, zmiana strumienia objętości powietrza przepływającego przez ścianę, wyłączenie energii elektrycznej na wylotowym odcinku ściany w trakcie prowadzenia jego urabiania i przesuwania obudowy, zaprzestanie urabiania w trakcie przesuwania obudowy w górnym odcinku ściany, korekta stanu technicznego przegrody wentylacyjnej w chodniku, ograniczenie lub zwiększenie intensywności wydobywania.

Analizy zagrożenia metanowego przedstawione w niniejszej pracy oparto na danych z pomiarów stężenia metanu pozyskanych z kopalń.

Dane z automatycznego systemu pomiarowego uzyskano w postaci zapisu elektronicznego w formie tzw. pliku (zbioru) tekstowego.

Zbiór tekstowy, generowany przez automatyczny system pomiarowy w kopalniach, z których pochodzą wykorzystane w pracy dane opisujące pomiary stężenia metanu, ma strukturę przedstawioną poniżej. Jego początek stanowi identyfikacja czujnika (numer i rodzaj czujnika), data sporządzenia zbioru typu tekstowego, opis okresu pomiarowego (data i czas początku oraz końca zbioru danych pomiarowych), zakres pomiarowy czujnika oraz miejsce jego zabudowy.

Dalej dane są zestawione w kolumnach o nazwach:

- *Czas początku,*
- *Pomiar,*
- *Czas pomiaru,*
- *Statusy.*

Poniżej przedstawiono przykład fragmentu opisywanego zbioru danych pomiarowych.

POMIARY CZUJNIKA Nr 236 (Metan. CPC-2)

Data wydruku: 22.05.2022 6:52:45

Okres raportu: 1.03.2022 22:48:17 --- 18.05.2022 23:59:59

Zakres: : 0.0%CH4 -- 5.0%CH4

Miejsce zabud.: Przek. łączący F-31 10m.od skrzyż. z pochylnią K-2

| <i>Czas początku</i> | <i>Pomiar</i> | <i>Czas pom.</i> | <i>Statusy</i> |
|----------------------|---------------|------------------|----------------|
| 18.05.2022 22:17:37 | 1.0%CH4 | 1:48:56 | |
| 18.05.2022 22:17:22 | 1.1%CH4 | 0:00:15 | |

W kolumnie *Czas Początku* jest zanotowana data (dzień.miesiąc.rok) oraz czas rozpoczęcia pomiaru stężenia metanu, podany w postaci godzina:minuta:sekunda. W kolumnie *Pomiar* jest zanotowana zmierzona wartość stężenia metanu. Wartości stężenia metanu podawane są z dokładnością 0,1% CH₄. W kolumnie *Czas pomiaru* zapisywany jest okres, w którym stężenie metanu przyjmowało wartość określoną w kolumnie *Pomiar*. Przykładowy zapis:

| | | | |
|---------------------|---------|---------|--|
| 18.05.2022 22:17:22 | 1.1%CH4 | 0:00:15 | |
|---------------------|---------|---------|--|

oznacza, że pomiar miał miejsce dnia 18.05.2022 r., rozpoczął się o godzinie 22, 17 minut i 22 sekundy (kolumna *Czas początku*), wartość stężenia metanu (kolumna *Pomiar*) zmierzona z dokładnością do 0,1%, wynosiła 1,1% CH₄, a okres, przez który taka wartość stężenia się utrzymywała, wynosił 15 sekund (kolumna *Czas pom.*). Zapis wierszy w zbiorze posiada format stosu, co oznacza, że wiersze (rekordy) z danymi pomiarowymi zapisywane są w kolejności odwrotnej do leksykalnej. Czyli pierwszy wiersz (czytając od góry) z przytoczonego przykładu

| | | | |
|---------------------|---------|---------|--|
| 18.05.2022 22:17:37 | 1.0%CH4 | 1:48:56 | |
|---------------------|---------|---------|--|

dotyczy pomiarów, które rozpoczęły się w dniu 18.05.2022 r. o godzinie 22:17:37, czyli o 15 sekund później niż te, które zostały zapisane poniżej. W kolumnie *Statusy* drukowane są informacje, które mają zwrócić uwagę czytającego na pewne pomiary. Przykładowo, w *Statusach* umieszcza się informację, że dane pomiary dotyczą testowania (kalibracji) czujnika lub że parametr osiągnął wartość ostrzegawczą lub wartość dopuszczalną (progową). Przykładowo zapis

| | | |
|--|-------------|--|
| 30.05.2022 07:16:33 1.2%CH4 00:04:53 | Ostrzeżenie | |
|--|-------------|--|

przedstawia sygnalizację osiągnięcia przez metan stężenia o wartości 1,2%, która jest progiem ostrzegania (zapis Ostrzeżenie w ostatniej kolumnie). W zbiorze danych występują błędy. Przykładowo błąd w zbiorze danych jest sygnalizowany tak, jak to przedstawiono poniżej, w środkowym wierszu następującego zestawienia pomiarów:

| | |
|---------------------------------------|--|
| 16.05.2022 6:46:38 0.7%CH4 0:00:08 | |
| 16.05.2022 4:13:35 0.6%CH4 2:33:03 | |
| 16.05.2022 6:03:28 Bdn -1:49:53 | |
| 16.05.2022 4:13:35 0.6%CH4 1:49:53 | |
| 16.05.2022 4:13:19 0.5%CH4 0:00:16 | |

Pierwszy wiersz od dołu informuje, że 16,05.2022 o godzinie 4, 13 minut i 19 sekund zanotowano stężenie metanu o wartości 0,5%, które trwało 16 sekund. W drugim wierszu od dołu podany jest czas 4:13:35, czyli zmieniony o 16 sekund w stosunku do poprzedniego zapisu pomiaru. O godzinie 4:13:35 stężenie metanu podniosło się do 0,6% i trwało przez 1:49:53. W trzecim od dołu sygnalizowany jest błąd w zapisie danych i „cofnięcie” poprzedniego (drugiego) wiersza zapisu (ujemny zapis czasu–1:49:53). W czwartym wierszu od dołu jest zanotowany właściwy czas występowania stężenia metanu o wartości 0,6% (od godziny 4:13:35 przez 2:33:03). Następny wiersz informuje o zwiększeniu stężenia metanu do wartości 0,7% od godziny 6:46:38 przez 8 sekund.

W danych mogą występować również błędy w dacie, błędy w następstwie czasu pomiaru lub brak zapisu danych w jakimś okresie. Aby tak przygotowane elektroniczne zbiory typu tekstowego użyć do dalszego przetwarzania danych,

należy z nich usunąć błędy w pomiarach oraz pomiary dotyczące kalibracji czujników, a usunięte dane należy uzupełnić. W obliczeniach wykorzystanych w przedstawionej pracy do uzupełnienia danych posługiwano się interpolacją liniową. Obliczenia przeprowadzono za pomocą programu PROGNET, opracowanego w Politechnice Śląskiej.

Dalsze przetwarzanie danych polegało na przygotowaniu do obliczeń średnich wartości stężenia metanu w określonej dobie. Najczęściej „górnicza doba” rozpoczyna się o godzinie 6:00 i kończy o 6:00 dnia następnego. Dlatego wykorzystywane dalej wartości średniego dobowego stężenia metanu odnoszą się do tak określonej doby. Przykładowo stężenie średnie metanu w dniu 20.05.2023 r. jest obliczone na podstawie wskazań czujnika pomiędzy godziną 6:00:00 w dniu 20.05.2023 r. a godziną 6:00:00 w dniu 21.05.2023 r.

Program PROGNET pozwala na zadawanie czasu rozpoczęcia doby obliczeniowej, czyli zamiast godziny 6:00:00 można zadać przykładowo 5:30:00 lub inną dowolną godzinę. W zbiorach danych pomiarowych bardzo często pomiary określonej stałej wartości stężenia metanu rozpoczynały się przed godziną 6:00:00, a kończyły po tej godzinie. Zapis takiego pomiaru dzielono na dwie części: od rozpoczęcia pomiaru do godziny 6:00:00 i od godziny 6:00:00 do czasu zakończenia pomiaru. Przykładowo drugi wiersz w poniższym fragmencie zbioru danych

| | | | |
|--------------------|---------|---------|--|
| 17.05.2022 6:01:32 | 0.8%CH4 | 0:00:08 | |
| 17.05.2022 5:59:24 | 0.9%CH4 | 0:02:08 | |

należało zastąpić dwoma wierszami, w wyniku czego zapis tego fragmentu danych był następujący:

| | | | |
|--------------------|---------|---------|--|
| 17.05.2022 6:01:32 | 0.8%CH4 | 0:00:08 | |
| 17.05.2022 6:00:00 | 0,9%CH4 | 0:01:32 | |
| 17.05.2022 5:59:24 | 0,9%CH4 | 0:00:36 | |

Średnie stężenie metanu w określonej dobie zostało obliczone jako średnia ważona, przy czym wagą jest czas pomiaru jednakowych wartości stężenia. Jeżeli przez n oznaczy się liczbę rekordów zapisu stężenia metanu w dobie, przez S_i wartość chwilowego stężenia w poszczególnych rekordach, a czas

trwania stężenia S_i przez t_i (w sekundach), to średnie stężenie metanu S_{sr} w określonej dobie oblicza się według wzoru:

$$S_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i t_i}{86400} \quad (5.1)$$

Liczba 86 400 jest liczbą sekund w dobie. Program generuje zbiór danych, które wykorzystuje się do dalszej analizy stężenia metanu w rejonach ścian. Zbiór ten składa się z rekordów, których liczba jest zgodna z liczbą analizowanych dób. Każdy rekord składa się z następujących danych dotyczących określonej doby:

- data w postaci rok-miesiąc-dzień,
- średnie stężenie metanu,
- minimalne stężenie metanu,
- maksymalne stężenie metanu,
- szereg liczb oznaczających czas występowania metanu w przedziałach stężenia metanu zmieniających się co 0,1%, od 0,1% do 1,9% i powyżej 2%,
- liczba kontrolna, będąca sumą czasów występowania poszczególnych wartości stężenia metanu. Jej prawidłowa wartość wynosi 86 400, czyli jest równa liczbie sekund w dobie,
- częstotliwość zmian wartości stężenia metanu o 0,1%, które wystąpiły w danej dobie.

Program PROGNET jest wykorzystywany w pracach naukowo-badawczych prowadzonych w Politechnice Śląskiej, związanych z analizą zagrożenia metanowego w kopalniach. Jego autorem jest dr hab. inż. Henryk Badura [15].

5.2. Opis rozwiązania bazowego

W pracy [15] podano parametry równań liniowych opisujących zależności między średnim stężeniem metanu w określony dzień tygodnia, a wartością prognozowaną średniego stężenia metanu w dniu następnym. Równanie to ma następującą postać:

$$x_i = a_{0i} + a_{1i}x_{i-1} \quad (5.2)$$

gdzie:

- x_i – prognozowane stężenie metanu w i -tym dniu tygodnia (np. w poniedziałek),
- a_{0i}, a_{1i} – parametry liniowego równania prognostycznego odnoszące się do i -tego (rozpatrywanego) dnia tygodnia (np. do poniedziałku),
- x_{i-1} – średnie stężenie metanu w poprzednim dniu w stosunku do rozpatrywanego (np. w niedzielę).

Wartości parametrów a_0 i a_1 równań liniowych opisujących związki między średnimi wartościami stężenia metanu w poszczególne dni tygodnia podano w tabeli 5.1. Parametry równań prognostycznych obliczono na podstawie pomiarów stężenia metanu w 10 ścianach Jastrzębskiej Spółki Węglowej SA. Najkrótszy okres obserwacji stężenia metanu w określonej ścianie w celu wyznaczenia parametrów wynosił 337 kolejnych dni, a najdłuższy 540 dni.

Wspomniane parametry równań (po jednym dla każdego dnia tygodnia) do prognozy średniego stężenia metanu w określonej dobie (od 6:00 w określonym dniu do 6:00 w następnym dniu) przedstawiono w tabeli 5.1

Tabela 5.1. Wartości parametrów równań liniowych określających zależności między średnim stężeniem metanu w chodniku nadścianowym w dniu bieżącym i poprzednim [15]

| Dzień tygodnia | | Parametr a_{0i} | Parametr a_{1i} |
|----------------|--------------|-------------------|-------------------|
| Rozpatrywany | Poprzedni | | |
| Poniedziałek | Niedziela | 0,2536 | 0,7241 |
| Wtorek | Poniedziałek | 0,1256 | 0,9623 |
| Środa | Wtorek | 0,1027 | 0,9014 |
| Czwartek | Środa | 0,0468 | 0,9405 |
| Piątek | Czwartek | 0,0458 | 0,9459 |
| Sobota | Piątek | 0,0869 | 0,7213 |
| Niedziela | Sobota | 0,0534 | 0,7667 |

Podobnie jak prognozę średniej wartości stężenia metanu dla określonego dnia tygodnia można również wykonać prognozę maksymalnego stężenia metanu. Maksymalne stężenie metanu o określonej wartości w danej dobie może trwać kilka sekund lub kilka minut, może wystąpić jeden raz lub kilka razy w ciągu doby. Jego prognoza jest więc bardziej niepewna niż prognoza średniej wartości stężenia metanu. Istotna dla bezpieczeństwa pracy oraz dla zapewnienia ciągłości produkcji jest wiedza, czy prognoza maksymalnej wartości stężenia metanu niebezpiecznie zbliża się do wartości uznanej za krytyczną, czyli 2%.

Zgodnie z powyższymi badaniami przedstawione w pracy [15] wykazały, że podobnie jak średnią wartość można prognozować maksymalną wartość stężenia metanu. Dla prognoz maksymalnych wartości, równanie prognostyczne ma następującą postać:

$$y_i = b_{0i} + b_{1i}y_{t-1} \tag{5.3}$$

gdzie:

y_i – prognozowane maksymalne stężenie metanu w i-tym dniu tygodnia (np. w poniedziałek),

b_{0i}, b_{1i} – parametry liniowego równania prognostycznego odnoszące się do i-tego (rozpatrywanego) dnia tygodnia (np. do poniedziałku),

y_{t-1} – maksymalne stężenie metanu w dniu poprzednim w stosunku do rozpatrywanego (np. w niedzielę).

Wartości parametrów b_0 i b_1 z równania (5.3) podano w tabeli 5.2.

Tabela 5.2. Wartości parametrów równań liniowych określających zależności między maksymalnym stężeniem metanu w chodniku nadścianowym w dniu bieżącym i poprzednim [15]

| Dzień tygodnia | | Parametr b_{0i} | Parametr b_{1i} |
|----------------|--------------|-------------------|-------------------|
| Rozpatrywany | Poprzedni | | |
| Poniedziałek | Niedziela | 0,502 | 0,555 |
| Wtorek | Poniedziałek | 0,180 | 0,873 |
| Środa | Wtorek | 0,180 | 0,873 |
| Czwartek | Środa | 0,145 | 0,849 |
| Piątek | Czwartek | 0,166 | 0,832 |
| Sobota | Piątek | 0,104 | 0,764 |
| Niedziela | Sobota | 0,220 | 0,659 |

5.2. Wyniki otrzymane z wykorzystaniem metody bazowej

Dla zachowania kompletności i przejrzystości pracy wyniki dla bazowej metody badawczej przedstawiono w formie tabelarycznej.

5.2.1. Wartości pomiarowe oraz prognozowane średniego i maksymalnego stężenia metanu dla ściany 1

W tabeli 5.3 przedstawiono dane statystyczne charakteryzujące średnie i maksymalne stężenia metanu w omawianym miejscu. W tabeli tej oraz w kolejnych tabelach zastosowano następujące oznaczenia:

r – suma kwadratów różnic,

R^2 – współczynnik determinacji (kwadrat współczynnika Pearsona).

Tabela 5.3. Zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary i prognozy dla ściany 1

| Parametr statystyczny | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości | |
|--|--|----------|---|----------|
| | pomiary | prognoza | pomiary | prognoza |
| Średnia, % CH ₄ | 0,48 | 0,51 | 0,83 | 0,86 |
| Mediana, % CH ₄ | 0,46 | 0,50 | 0,80 | 0,82 |
| Percentyl 0,75, % CH ₄ | 0,57 | 0,60 | 1,00 | 0,99 |
| Percentyl 0,90, % CH ₄ | 0,68 | 0,67 | 1,30 | 1,24 |
| Minimum, % CH ₄ | 0,19 | 0,26 | 0,20 | 0,38 |
| Maksimum, % CH ₄ | 1,01 | 1,00 | 1,80 | 1,66 |
| Rozstęp (zakres), % CH ₄ | 0,82 | 0,78 | 1,60 | 1,28 |
| Odchylenie standardowe, % | 0,15 | 0,13 | 0,32 | 0,26 |
| Współczynnik zmienności, % | 31,01 | 24,61 | 37,92 | 30,86 |
| Suma stężeń dobowych, % CH ₄ | 84,10 | 89,62 | 146,10 | 149,93 |
| Suma błędów bezwzględnych, % CH ₄ | 13,94 | | 38,96 | |
| Suma błędów względnych, % | 3 247,67 | | 5 041,27 | |
| Suma r , % CH ₄ | 1,81 | | 17,09 | |
| Współczynnik R^2 | 0,58 | | 0,19 | |
| Korelacja liniowa Pearsona | 0,76 | | 0,43 | |

W tabeli 5.4 przedstawiono rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 1.

Tabela 5.4 Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 1

| Przedział błędu, % | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości |
|--------------------|--|---|
| | Liczba błędów | Liczba błędów |
| 0 – 10 | 71 | 46 |
| 10 – 20 | 41 | 43 |
| 20 – 30 | 28 | 30 |
| 30 – 40 | 17 | 12 |
| 40 – 50 | 8 | 11 |
| 50 – 60 | 4 | 6 |
| 60 – 70 | 3 | 10 |
| 70 – 80 | 1 | 5 |
| > 80 | 2 | 12 |
| | Σ175 | Σ175 |

W tabeli 5.5 przedstawiono rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 1.

Tabela 5.5. Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 1

| Przedział błędu, % CH ₄ | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości |
|------------------------------------|--|---|
| | Liczba błędów | Liczba błędów |
| 0 – 0,05 | 72 | 28 |
| 0,05 – 0,10 | 43 | 32 |
| 0,10 – 0,15 | 33 | 26 |
| 0,15 – 0,20 | 17 | 22 |
| 0,20 – 0,25 | 7 | 18 |
| 0,25 – 0,30 | 3 | 12 |
| 0,30 – 0,35 | 0 | 5 |
| 0,35 – 0,40 | 0 | 4 |
| 0,40 – 0,45 | 0 | 4 |
| 0,45 – 0,50 | 0 | 3 |
| 0,50 – 0,55 | 0 | 3 |
| > 0,55 | 0 | 18 |
| | Σ175 | Σ175 |

5.2.2. Wartości pomiarowe oraz prognozowane średniego i maksymalnego stężenia metanu dla ściany 2

W tabeli 5.6 przedstawiono dane statystyczne charakteryzujące średnie i maksymalne stężenia metanu w omawianym miejscu.

Tabela 5.6. Zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary i prognozy dla ściany 2

| Parametr statystyczny | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości | |
|--|--|----------|---|----------|
| | pomiary | prognoza | pomiary | prognoza |
| Średnia, % CH ₄ | 0,75 | 0,75 | 1,14 | 1,10 |
| Mediana, % CH ₄ | 0,75 | 0,73 | 1,10 | 1,08 |
| Percentyl 0,75, % CH ₄ | 0,92 | 0,90 | 1,40 | 1,33 |
| Percentyl 0,90, % CH ₄ | 1,12 | 1,05 | 1,68 | 1,50 |
| Minimum, % CH ₄ | 0,29 | 0,28 | 0,40 | 0,41 |
| Maksimum, % CH ₄ | 1,31 | 1,28 | 2,00 | 1,93 |
| Rozstęp (zakres), % CH ₄ | 1,02 | 1,00 | 1,60 | 1,52 |
| Odchylenie standardowe, % | 0,25 | 0,22 | 0,39 | 0,33 |
| Współczynnik zmienności, % | 32,78 | 29,37 | 33,88 | 29,69 |
| Suma stężeń dobowych, % CH ₄ | 143,77 | 142,45 | 217,80 | 209,39 |
| Suma błędów bezwzględnych, % CH ₄ | 20,49 | | 40,92 | |
| Suma błędów względnych, % | 2 976,87 | | 3 962,91 | |
| Suma <i>r</i> , % CH ₄ | 3,75 | | 16,33 | |
| Współczynnik <i>R</i> ² | 0,68 | | 0,46 | |
| Korelacja liniowa Pearsona | 0,83 | | 0,68 | |

W tabeli 5.7 przedstawiono rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 2.

Tabela 5.7. Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 2

| Przedział błędu, % | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości |
|--------------------|--|---|
| | Liczba błędów | Liczba błędów |
| 0 – 10 | 89 | 70 |
| 10 – 20 | 41 | 50 |
| 20 – 30 | 35 | 34 |
| 30 – 40 | 17 | 14 |
| 40 – 50 | 5 | 7 |
| 50 – 60 | 1 | 8 |
| 60 – 70 | 2 | 5 |
| 70 – 80 | 0 | 0 |
| > 80 | 1 | 3 |
| | Σ191 | Σ191 |

W tabeli 5.8 przedstawiono rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 2.

Tabela 5.8. Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 2

| Przedział błędu, % CH ₄ | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości |
|------------------------------------|--|---|
| | Liczba błędów | Liczba błędów |
| 0 – 0,05 | 67 | 33 |
| 0,05 – 0,10 | 41 | 36 |
| 0,10 – 0,15 | 29 | 22 |
| 0,15 – 0,20 | 23 | 21 |
| 0,20 – 0,25 | 17 | 15 |
| 0,25 – 0,30 | 5 | 22 |
| 0,30 – 0,35 | 4 | 9 |
| 0,35 – 0,40 | 2 | 4 |
| 0,40 – 0,45 | 3 | 10 |
| 0,45 – 0,50 | 0 | 7 |
| 0,50 – 0,55 | 0 | 1 |
| > 0,55 | 0 | 11 |
| | Σ191 | Σ191 |

5.2.3. Wartości pomiarowe oraz prognozowane średniego i maksymalnego stężenia metanu dla ściany 3

W tabeli 5.9 przedstawiono dane statystyczne charakteryzujące średnie i maksymalne stężenia metanu w omawianym miejscu.

Tabela 5.9. Zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary i prognozy dla ściany 3

| Parametr statystyczny | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości | |
|--|--|----------|---|----------|
| | pomiary | prognoza | pomiary | prognoza |
| Średnia, % CH ₄ | 0,84 | 0,85 | 1,20 | 1,17 |
| Mediana, % CH ₄ | 0,74 | 0,82 | 1,05 | 1,09 |
| Percentyl 0,75, % CH ₄ | 1,14 | 1,12 | 1,80 | 1,62 |
| Percentyl 0,90, % CH ₄ | 1,39 | 1,30 | 2,00 | 1,83 |
| Minimum, % CH ₄ | 0,31 | 0,34 | 0,50 | 0,49 |
| Maksimum, % CH ₄ | 1,50 | 1,46 | 2,00 | 1,93 |
| Rozstęp (zakres), % CH ₄ | 1,19 | 1,12 | 1,50 | 1,44 |
| Odchylenie standardowe, % | 0,35 | 0,31 | 0,55 | 0,46 |
| Współczynnik zmienności, % | 41,33 | 36,81 | 45,96 | 39,24 |
| Suma stężeń dobowych, % CH ₄ | 52,97 | 53,40 | 77,00 | 74,85 |
| Suma błędów bezwzględnych, % CH ₄ | 5,65 | | 14,53 | |
| Suma błędów względnych, % | 750,78 | | 1 270,52 | |
| Suma <i>r</i> , % CH ₄ | 0,82 | | 6,37 | |
| Współczynnik <i>R</i> ² | 0,89 | | 0,67 | |
| Korelacja liniowa Pearsona | 0,95 | | 0,82 | |

W tabeli 5.10 przedstawiono rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 3.

Tabela 5.10. Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 3

| Przedział błędu, % | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości |
|--------------------|--|---|
| | Liczba błędów | Liczba błędów |
| 0 – 10 | 35 | 24 |
| 10 – 20 | 17 | 16 |
| 20 – 30 | 9 | 10 |
| 30 – 40 | 2 | 8 |
| 40 – 50 | 0 | 3 |
| 50 – 60 | 0 | 1 |
| 60 – 70 | 0 | 1 |
| 70 – 80 | 1 | 0 |
| > 80 | 0 | 1 |
| | Σ64 | Σ64 |

W tabeli 5.11 przedstawiono rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 3.

Tabela 5.11. Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 3

| Przedział błędu, % CH ₄ | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości |
|------------------------------------|--|---|
| | Liczba błędów | Liczba błędów |
| 0 – 0,05 | 22 | 14 |
| 0,05 – 0,10 | 19 | 6 |
| 0,10 – 0,15 | 12 | 9 |
| 0,15 – 0,20 | 4 | 9 |
| 0,20 – 0,25 | 5 | 6 |
| 0,25 – 0,30 | 1 | 3 |
| 0,30 – 0,35 | 1 | 0 |
| 0,35 – 0,40 | 0 | 5 |
| 0,40 – 0,45 | 0 | 4 |
| 0,45 – 0,50 | 0 | 2 |
| 0,50 – 0,55 | 0 | 4 |
| > 0,55 | 0 | 2 |
| | Σ64 | Σ64 |

5.2.4. Wartości pomiarowe oraz prognozowane średniego i maksymalnego stężenia metanu dla ściany 4

W tabeli 5.12 przedstawiono dane statystyczne charakteryzujące średnie i maksymalne stężenia metanu w omawianym miejscu.

Tabela 5.12. Zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary i prognozy dla ściany 4

| Parametr statystyczny | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości | |
|--|--|----------|---|----------|
| | pomiary | prognoza | pomiary | prognoza |
| Średnia, % CH ₄ | 0,38 | 0,43 | 0,60 | 0,67 |
| Mediana, % CH ₄ | 0,38 | 0,44 | 0,60 | 0,65 |
| Percentyl 0,75, % CH ₄ | 0,46 | 0,49 | 0,70 | 0,74 |
| Percentyl 0,90, % CH ₄ | 0,52 | 0,54 | 0,90 | 0,90 |
| Minimum, % CH ₄ | 0,20 | 0,23 | 0,20 | 0,38 |
| Maksimum, % CH ₄ | 0,74 | 0,66 | 2,00 | 1,84 |
| Rozstęp (zakres), % CH ₄ | 0,54 | 0,43 | 1,80 | 1,46 |
| Odchylenie standardowe, % | 0,11 | 0,09 | 0,24 | 0,19 |
| Współczynnik zmienności, % | 28,62 | 21,75 | 39,32 | 28,71 |
| Suma stężeń dobowych, % CH ₄ | 57,21 | 64,22 | 91,20 | 100,47 |
| Suma błędów bezwzględnych, % CH ₄ | 9,60 | | 20,12 | |
| Suma błędów względnych, % | 2 941,08 | | 3 681,65 | |
| Suma <i>r</i> , % CH ₄ | 0,96 | | 5,47 | |
| Współczynnik <i>R</i> ² | 0,64 | | 0,44 | |
| Korelacja liniowa Pearsona | 0,80 | | 0,66 | |

W tabeli 5.13 przedstawiono rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 4.

Tabela 5.13. Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 4

| Przedział błędu, % | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości |
|--------------------|--|---|
| | Liczba błędów | Liczba błędów |
| 0 – 10 | 53 | 47 |
| 10 – 20 | 39 | 44 |
| 20 – 30 | 29 | 20 |
| 30 – 40 | 9 | 11 |
| 40 – 50 | 7 | 11 |
| 50 – 60 | 8 | 2 |
| 60 – 70 | 5 | 8 |
| 70 – 80 | 0 | 1 |
| > 80 | 1 | 7 |
| | Σ151 | Σ151 |

W tabeli 5.14 przedstawiono rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 4.

Tabela 5.14. Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 4

| Przedział błędu, % CH ₄ | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości |
|------------------------------------|--|---|
| | Liczba błędów | Liczba błędów |
| 0 – 0,05 | 68 | 37 |
| 0,05 – 0,10 | 48 | 41 |
| 0,10 – 0,15 | 26 | 35 |
| 0,15 – 0,20 | 9 | 13 |
| 0,20 – 0,25 | 0 | 8 |
| 0,25 – 0,30 | 0 | 2 |
| 0,30 – 0,35 | 0 | 6 |
| 0,35 – 0,40 | 0 | 1 |
| 0,40 – 0,45 | 0 | 3 |
| 0,45 – 0,50 | 0 | 2 |
| 0,50 – 0,55 | 0 | 0 |
| > 0,55 | 0 | 3 |
| | Σ151 | Σ151 |

5.2.5. Wartości pomiarowe oraz prognozowane średniego i maksymalnego stężenia metanu dla ściany 5

W tabeli 5.15 przedstawiono dane statystyczne charakteryzujące średnie i maksymalne stężenia metanu w omawianym miejscu.

Tabela 5.15. Zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary i prognozy dla ściany 5

| Parametr statystyczny | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości | |
|--|--|----------|---|----------|
| | pomiary | prognoza | pomiary | prognoza |
| Średnia, % CH ₄ | 0,54 | 0,56 | 0,87 | 0,85 |
| Mediana, % CH ₄ | 0,50 | 0,55 | 0,80 | 0,82 |
| Percentyl 0,75, % CH ₄ | 0,67 | 0,67 | 1,10 | 0,99 |
| Percentyl 0,90, % CH ₄ | 0,80 | 0,78 | 1,30 | 1,16 |
| Minimum, % CH ₄ | 0,20 | 0,23 | 0,20 | 0,26 |
| Maksimum, % CH ₄ | 1,01 | 1,00 | 2,00 | 1,93 |
| Rozstęp (zakres), % CH ₄ | 0,81 | 0,77 | 1,80 | 1,67 |
| Odchylenie standardowe, % | 0,18 | 0,16 | 0,33 | 0,26 |
| Współczynnik zmienności, % | 32,63 | 27,66 | 38,19 | 30,38 |
| Suma stężeń dobowych, % CH ₄ | 132,18 | 138,18 | 213,00 | 208,35 |
| Suma błędów bezwzględnych, % CH ₄ | 20,64 | | 51,28 | |
| Suma błędów względnych, % | 4 217,80 | | 6 690,55 | |
| Suma <i>r</i> , % CH ₄ | 3,00 | | 22,72 | |
| Współczynnik <i>R</i> ² | 0,63 | | 0,24 | |
| Korelacja liniowa Pearsona | 0,79 | | 0,49 | |

W tabeli 5.16 przedstawiono rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 5.

Tabela 5.16. Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 5

| Przedział błędu, % | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości |
|--------------------|--|---|
| | Liczba błędów | Liczba błędów |
| 0 – 10 | 94 | 80 |
| 10 – 20 | 76 | 56 |
| 20 – 30 | 36 | 38 |
| 30 – 40 | 18 | 24 |
| 40 – 50 | 7 | 12 |
| 50 – 60 | 6 | 8 |
| 60 – 70 | 5 | 9 |
| 70 – 80 | 2 | 2 |
| > 80 | 2 | 17 |
| | Σ246 | Σ246 |

W tabeli 5.17 przedstawiono rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 5.

Tabela 5.17. Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 5

| Przedział błędu, % CH ₄ | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości |
|------------------------------------|--|---|
| | Liczba błędów | Liczba błędów |
| 0 – 0,05 | 87 | 45 |
| 0,05 – 0,10 | 79 | 46 |
| 0,10 – 0,15 | 45 | 38 |
| 0,15 – 0,20 | 15 | 23 |
| 0,20 – 0,25 | 12 | 18 |
| 0,25 – 0,30 | 3 | 24 |
| 0,30 – 0,35 | 2 | 15 |
| 0,35 – 0,40 | 2 | 9 |
| 0,40 – 0,45 | 0 | 3 |
| 0,45 – 0,50 | 1 | 5 |
| 0,50 – 0,55 | 0 | 9 |
| > 0,55 | 0 | 11 |
| | Σ246 | Σ246 |

5.2.6. Wartości pomiarowe oraz prognozowane średniego i maksymalnego stężenia metanu dla ściany 6

W tabeli 5.18 przedstawiono dane statystyczne charakteryzujące średnie i maksymalne stężenia metanu w omawianym miejscu.

Tabela 5.18. Zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary i prognozy dla ściany 6

| Parametr statystyczny | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości | |
|--|--|----------|---|----------|
| | pomiary | prognoza | pomiary | prognoza |
| Średnia, % CH ₄ | 0,65 | 0,65 | 1,03 | 1,00 |
| Mediana, % CH ₄ | 0,62 | 0,63 | 1,00 | 0,97 |
| Percentyl 0,75, % CH ₄ | 0,78 | 0,78 | 1,30 | 1,23 |
| Percentyl 0,90, % CH ₄ | 0,94 | 0,91 | 1,60 | 1,49 |
| Minimum, % CH ₄ | 0,25 | 0,31 | 0,30 | 0,43 |
| Maksimum, % CH ₄ | 1,18 | 1,17 | 2,00 | 1,93 |
| Rozstęp (zakres), % CH ₄ | 0,93 | 0,86 | 1,70 | 1,50 |
| Odchylenie standardowe, % | 0,20 | 0,18 | 0,39 | 0,33 |
| Współczynnik zmienności, % | 31,22 | 27,99 | 38,08 | 32,78 |
| Suma stężeń dobowych, % CH ₄ | 270,92 | 273,77 | 432,80 | 419,86 |
| Suma błędów bezwzględnych, % CH ₄ | 33,56 | | 82,26 | |
| Suma błędów względnych, % | 5 325,30 | | 8 167,98 | |
| Suma <i>r</i> , % CH ₄ | 4,73 | | 33,32 | |
| Współczynnik <i>R</i> ² | 0,73 | | 0,51 | |
| Korelacja liniowa Pearsona | 0,85 | | 0,71 | |

W tabeli 5.19 przedstawiono przedziałowy rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 6.

Tabela 5.19. Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 6

| Przedział błędu, % | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości |
|--------------------|--|---|
| | Liczba błędów | Liczba błędów |
| 0 – 10 | 206 | 152 |
| 10 – 20 | 129 | 107 |
| 20 – 30 | 54 | 77 |
| 30 – 40 | 15 | 44 |
| 40 – 50 | 9 | 16 |
| 50 – 60 | 5 | 4 |
| 60 – 70 | 0 | 8 |
| 70 – 80 | 0 | 4 |
| > 80 | 0 | 7 |
| | Σ418 | Σ418 |

W tabeli 5.20 przedstawiono rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 6.

Tabela 5.20. Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 6

| Przedział błędu, % CH ₄ | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości |
|------------------------------------|--|---|
| | Liczba błędów | Liczba błędów |
| 0 – 0,05 | 172 | 84 |
| 0,05 – 0,10 | 117 | 77 |
| 0,10 – 0,15 | 72 | 57 |
| 0,15 – 0,20 | 32 | 49 |
| 0,20 – 0,25 | 15 | 41 |
| 0,25 – 0,30 | 5 | 30 |
| 0,30 – 0,35 | 2 | 16 |
| 0,35 – 0,40 | 2 | 20 |
| 0,40 – 0,45 | 0 | 6 |
| 0,45 – 0,50 | 1 | 7 |
| 0,50 – 0,55 | 0 | 6 |
| > 0,55 | 0 | 26 |
| | Σ418 | Σ418 |

5.2.7. Wartości pomiarowe oraz prognozowane średniego i maksymalnego stężenia metanu dla ściany 7

W tabeli 5.21 przedstawiono dane statystyczne charakteryzujące średnie i maksymalne stężenia metanu w omawianym miejscu.

Tabela 5.21. Zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary i prognozy dla ściany 7

| Parametr statystyczny | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości | |
|--|--|----------|---|----------|
| | pomiary | prognoza | pomiary | prognoza |
| Średnia, % CH ₄ | 0,33 | 0,39 | 0,74 | 0,79 |
| Mediana, % CH ₄ | 0,27 | 0,34 | 0,50 | 0,58 |
| Percentyl 0,75, % CH ₄ | 0,37 | 0,43 | 0,90 | 0,97 |
| Percentyl 0,90, % CH ₄ | 0,63 | 0,65 | 1,70 | 1,59 |
| Minimum, % CH ₄ | 0,10 | 0,13 | 0,10 | 0,26 |
| Maksimum, % CH ₄ | 1,32 | 1,29 | 2,00 | 1,93 |
| Rozstęp (zakres), % CH ₄ | 1,22 | 1,16 | 1,90 | 1,67 |
| Odchylenie standardowe, % | 0,21 | 0,18 | 0,54 | 0,44 |
| Współczynnik zmienności, % | 64,16 | 47,26 | 73,68 | 56,66 |
| Suma stężeń dobowych, % CH ₄ | 93,35 | 109,16 | 208,90 | 222,16 |
| Suma błędów bezwzględnych, % CH ₄ | 26,07 | | 98,61 | |
| Suma błędów względnych, % | 10 443,34 | | 16 473,90 | |
| Suma r, % CH ₄ | 3,98 | | 77,24 | |
| Współczynnik R ² | 0,76 | | 0,21 | |
| Korelacja liniowa Pearsona | 0,87 | | 0,46 | |

W tabeli 5.22 przedstawiono rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 7.

Tabela 5.22. Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 7

| Przedział błędu, % | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości |
|--------------------|--|---|
| | Liczba błędów | Liczba błędów |
| 0 – 10 | 60 | 48 |
| 10 – 20 | 55 | 40 |
| 20 – 30 | 42 | 35 |
| 30 – 40 | 35 | 24 |
| 40 – 50 | 25 | 34 |
| 50 – 60 | 16 | 10 |
| 60 – 70 | 14 | 23 |
| 70 – 80 | 6 | 16 |
| > 80 | 29 | 53 |
| | Σ282 | Σ282 |

W tabeli 5.23 przedstawiono rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 7.

Tabela 5.23. Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 7

| Przedział błędu, % CH ₄ | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości |
|------------------------------------|--|---|
| | Liczba błędów | Liczba błędów |
| 0 – 0,05 | 91 | 39 |
| 0,05 – 0,10 | 81 | 43 |
| 0,10 – 0,15 | 61 | 39 |
| 0,15 – 0,20 | 28 | 36 |
| 0,20 – 0,25 | 8 | 25 |
| 0,25 – 0,30 | 9 | 15 |
| 0,30 – 0,35 | 1 | 8 |
| 0,35 – 0,40 | 2 | 5 |
| 0,40 – 0,45 | 0 | 4 |
| 0,45 – 0,50 | 0 | 5 |
| 0,50 – 0,55 | 1 | 3 |
| > 0,55 | 0 | 61 |
| | Σ282 | Σ282 |

6. Analiza prognoz dla metody autorskiej

6.1 Wprowadzenie do autorskiej metody prognozowania

Mając na uwadze tematykę i cel niniejszej rozprawy, jakim jest prognozowanie średnich i maksymalnych stężeń metanu zasadne staje się opracowanie autorskiego narzędzia, które może zostać wykorzystane do tego celu. Oczywistym wymogiem stawianym tego typu programowi jest jego skuteczność i efektywność działania. Przez skuteczność należy rozumieć jak najdokładniejsze prognozowanie spodziewanej średniej lub maksymalnej wartości stężenia metanu, jaką będzie można zaobserwować w następnym okresie pomiarowym (np. w następnym dniu kalendarzowym). Skuteczność ta jest mierzona odchyłką między wartością prognozowaną, a wartością rzeczywistą, która w trakcie określonego dnia została zaobserwowana (zmierzona). Istotne znaczenie ma kolejność zdarzeń. Przykładowo na bazie danych dostępnych w danym dniu o godzinie 6:01 jest dokonywana prognoza, a po upływie 24 godzin dostępne są już rzeczywiste dane pomiarowe dla analizowanego dnia. W konsekwencji na koniec dnia (a dokładniej przy następnej prognozie) oceniana jest jakość (za pomocą wspomnianej odchyłki – wartości błędu) poprzedniej prognozy. Tego typu działanie tworzy cały proces uczenia się i samostrojenia programu, co zostało szczegółowo opisane w dalszej części rozdziału. Wracając do wspomnianego wymogu efektywności należy zaznaczyć, że sprowadza się on do działania programu w krótkim czasie nieprzekraczającym jednej minuty. Warto jednak zdefiniować co oznacza ów czas rzeczywisty w tym konkretnym przypadku. Mając na uwadze środowisko docelowe, w jakim planowane jest wykorzystanie programu MetPred, za rzeczywisty czas należy uznać czas nie dłuższy niż kilka minut. Przy czym należy podkreślić, że szybkość pracy programu jest ściśle uzależniona od mocy obliczeniowej urządzenia, na jakim program pracuje. Z przeprowadzonych pobieżnych testów wynika, że na wydajność (rozumianą jako szybkość) działania programu największy wpływ ma moc obliczeniowa procesora.

Szczegółowy opis programu MetPred został przedstawiony w dalszej części niniejszego rozdziału.

6.2. Szczegółowe przedstawienie proponowanego rozwiązania

MetPred jest programem opartym zarówno na wiedzy statystycznej, jak i w pewnym stopniu, mechanizmach sztucznej inteligencji (AI). Wiedza statystyczna została oparta na szeregu funkcji (metod) składających się na całość mechanizmu prognozowania. Pewne rozwiązania z obszaru sztucznej inteligencji zostały natomiast zastosowane do „uczenia” programu, czyli dostrajania wag związanych z metodami obliczeniowymi. Poniżej przedstawiono wszystkie metody wykorzystane w MetPred. Zostały one podzielone na dwie grupy, czyli metody typowo obliczeniowe mające wpływ na wartość wyniku końcowego oraz metody wspomagające, związane z prawidłowym funkcjonowaniem programu. Jako dodatkowe wyjaśnienie należy wspomnieć, że określenie „metoda” używane w tym rozdziale odnosi się do funkcji, metody w rozumieniu programistycznym, nie zaś ogólnym, który może być interpretowany jako „sposób osiągnięcia celu”. Schemat blokowy programu MetPred przedstawiono w załączniku 1 do niniejszej pracy.

Metody obliczeniowe

Srednia7 – metoda jako argument pobiera tablicę zawierającą wartości odczytów danych pomiarowych uzyskanych w trakcie ostatnich siedmiu pomiarów (dane za ostatnie siedem dni). Na podstawie tych danych jest obliczana i zwracana wartość średniej arytmetycznej z pobranych danych.

Srednia7waz – metoda jako argument pobiera tablicę zawierającą wartości odczytów danych pomiarowych uzyskanych w trakcie ostatnich siedmiu pomiarów (dane zgromadzone w ciągu ostatnich siedmiu dni). Na podstawie tych danych jest obliczana i zwracana arytmetyczna średnia ważona. W tym miejscu wyjaśnienia wymaga pewna kwestia, tj. sposób ustalania wag. Wagi są przedstawiane w postaci ciągu geometrycznego z wartością początkową 0,5 i ilorazem 0,5. W konsekwencji wektor wag przedstawia się w sposób następujący $w = [0,5; 0,25; 0,125; 0,0625; 0,03125; 0,015625; 0,007813]$. W konsekwencji wartość odczytu (pomiaru) z ostatniego dnia pomiarowego mnożona jest przez 0,5, wartość z przedostatniego przez 0,25, wartość sprzed trzech dni przez 0,125 itd. Powstałe w ten sposób iloczyny są następnie sumowane, a suma ta stanowi wynik działania metody.

Srednia – metoda jako argument pobiera tablicę zawierającą wszystkie dostępne wartości odczytów danych pomiarowych. Jest to jedna z najprostszych

wykorzystywanych metod i jako wynik zwraca średnią arytmetyczną z argumentów.

Srednia_alfa – metoda jako argument pobiera tablicę zawierającą wartości odczytów danych pomiarowych uzyskanych w trakcie ostatnich dwóch pomiarów (dane za ostatnie dwa dni). Na podstawie ostatnich dwóch pomiarów wyznaczane jest równanie prostej regresji, gdzie argumentami są 1 dla przedostatniego dnia pomiarowego i 2 dla ostatniego, a wartości funkcji to odpowiednio przedostatni odczyt i ostatnia wartość odczytu (pomiaru). Innymi słowy na podstawie dwóch punktów zlokalizowanych w dwuwymiarowym kartezjańskim układzie współrzędnych wyznaczane jest równanie prostej przechodzącej przez te punkty. Następnie z wykorzystaniem wyznaczonego równania prostej obliczana jest wartość funkcji dla argumentu o wartości 3, która stanowi wartość predykcji i zarazem wynik działania metody.

Predykcja – metoda jako argument pobiera tablicę zawierającą wszystkie dostępne wartości odczytów danych pomiarowych. Następnie z wykorzystaniem KMNK (klasycznej metody najmniejszych kwadratów) wyznaczane są współczynniki a_0 i a_1 dla prostej regresji, której równanie przedstawia się jako $F(x) = a_1x + a_0$. Jako argumenty funkcji (zmienna niezależna, zmienna objaśniająca lub regresory) przyjęto kolejne numery dni pomiarowych, czyli pierwszy jako 1, drugi jako 2 itd. Jako zmienną prognozowaną (zmienną zależną, objaśnianą) przyjęto wartości odczytów (pomiarów) właściwych stężeń metanu w kolejnych dniach. Po zastosowaniu właściwych obliczeń statystycznych związanych z KMNK i ustaleniu wartości parametrów a_1 i a_0 obliczana jest wartość prognozy, gdzie jako argument (zmienna niezależna) podstawiany jest kolejny numer następnego (prognozowanego) dnia, a uzyskana w ten sposób wartość stanowi wynik działania metody. Wspomniane właściwe wzory statystyczne dotyczące KMNK są następujące:

$$a_1 = \frac{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{X})(y_t - \bar{Y})}{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{X})^2} = \frac{\sum_{t=1}^n (x_t \cdot y_t) - n \cdot \bar{X} \cdot \bar{Y}}{\sum_{t=1}^n x_t^2 - n \cdot (\bar{X})^2}, \quad a_0 = \bar{Y} - a_1 \bar{X} \quad (6.1)$$

Mając na uwadze powszechność stosowania tej metody, a także jej szeroką dostępność w literaturze, wyjaśnienie poszczególnych symboli uznano za zbędne i niewpływające na wartość merytoryczną całości rozprawy.

Prognoza7 – metoda jako argument pobiera tablicę zawierającą wartości odczytów danych pomiarowych uzyskanych w trakcie ostatnich siedmiu pomiarów (dane za ostatnie siedem dni). Następnie z wykorzystaniem KMNK w sposób analogiczny do przedstawionego w metodzie *prognoza*, wyznaczana jest wartość prognozy dla ósmego dnia. Wartość ta stanowi wynik działania omawianej metody.

Liniowa – metoda ta pobiera jako argument jedynie wartość odczytu z dnia poprzedniego (x) i posiada wpisane wartości współczynników a_{0x} i a_{1x} jako dane statyczne. Współczynniki te są pogrupowane w pary (a_{0x} , a_{1x}) po jednej parze dla każdego dnia tygodnia, na jaki prognoza ma zostać obliczona (gdzie x jest numerem dnia w tygodniu. Dla przykładu dla prognozy na pierwszy dzień tygodnia (poniedziałek) wykorzystywana jest pierwsza para współczynników (a_{01} , a_{11}) dla prognozy na drugi dzień (wtorek) druga para (a_{02} , a_{12}) itd. Tabela 6.1 zawiera dokładne wartości zoptymalizowanych współczynników dla średnich wartości, które zostały wykorzystane w omawianej funkcji. Optymalizacja wspomnianych współczynników polegała na przeprowadzeniu regresji zgodnie z działaniem metody bazowej, przy użyciu danych pomiarowych wykorzystywanych w rozprawie. Optymalizacji dokonano z zastosowaniem arkusza kalkulacyjnego i wbudowanych funkcji regresji.

Tabela 6.1. Zoptymalizowane wartości parametrów równań linowych określających zależności między średnim dobowym stężeniem metanu w rozpatrywanym dniu tygodnia a średnim dobowym stężeniem metanu w dniu poprzedzającym

| Dzień tygodnia | | Parametr a_0 | Parametr a_1 |
|----------------|--------------|----------------|----------------|
| Rozpatrywany | Poprzedni | | |
| Poniedziałek | Niedziela | 1,0383 | 0,0651 |
| Wtorek | Poniedziałek | 0,9809 | 0,0655 |
| Środa | Wtorek | 0,4815 | 0,6233 |
| Czwartek | Środa | 0,9317 | 0,0551 |
| Piątek | Czwartek | 0,8520 | 0,1459 |
| Sobota | Piątek | 0,7777 | 0,0581 |
| Niedziela | Sobota | 0,5582 | 0,2137 |

Tabela 6.2 zawiera dokładne wartości zoptymalizowanych współczynników dla maksymalnych wartości, które zostały wykorzystane w omawianej funkcji.

Tabela 6.2. Zoptymalizowane wartości parametrów równań linowych określających zależności między maksymalnym stężeniem metanu w rozpatrywanym dniu tygodnia a maksymalnym stężeniem metanu w dniu poprzedzającym

| Dzień tygodnia | | Parametr b_0 | Parametr b_1 |
|----------------|--------------|----------------|----------------|
| Rozpatrywany | Poprzedni | | |
| Poniedziałek | Niedziela | 0,699 | 0,370 |
| Wtorek | Poniedziałek | 0,700 | 0,345 |
| Środa | Wtorek | 0,482 | 0,623 |
| Czwartek | Środa | 0,442 | 0,482 |
| Piątek | Czwartek | 0,852 | 0,146 |
| Sobota | Piątek | 0,741 | 0,146 |
| Niedziela | Sobota | 0,558 | 0,214 |

Jak wskazuje nazwa metody na bazie tych współczynników budowane są równania liniowe, które przedstawiają się następująco:

Dla średnich wartości:

$$F1(x) = 0,0651x + 1,0383, F2(x) = 0,0655x + 0,9809, F3(x) = 0,6233x + 0,4815,$$

$$F4(x) = 0,0551x + 0,9317, F5(x) = 0,1459x + 0,8520, F6(x) = 0,0581x + 0,7777,$$

$$F7(x) = 0,2137x + 0,5582.$$

Analogicznie dla maksymalnych wartości:

$$F1(x) = 0,370x + 0,699, F2(x) = 0,345x + 0,700, F3(x) = 0,623x + 0,482,$$

$$F4(x) = 0,482x + 0,442, F5(x) = 0,146x + 0,852, F6(x) = 0,146x + 0,741,$$

$$F7(x) = 0,214x + 0,558.$$

Gdzie $F1(x)$ jest równaniem używanym do wyznaczenia prognozy stężenia metanu (dla średnich lub maksymalnych wartości w zależności od danych) dla pierwszego dnia tygodnia (poniedziałku), $F2(x)$ dla drugiego dnia tygodnia itd. Wszystkie wartości współczynników a_{0x} i a_{1x} zostały zaczerpnięte z wyników uzyskanych na podstawie zoptymalizowanej metody bazowej, przedstawionej wcześniej w niniejszej rozprawie. Argumentem funkcji, czyli x , jest natomiast odpowiednia wartość odczytana (zmierzona) w dniu poprzedzającym dzień, na który przeprowadzana jest prognoza. W tym miejscu niezbędne staje się przedstawienie zawartości pliku z danymi służącymi do wyznaczania prognoz i nauki samego programu. Plik z danymi składa się z dwóch kolumn rozdzielonych przecinkiem (jest to plik w formacie csv). Pierwszą kolumnę stanowi data pomiaru

określonej wartości np. 30-01-2025, natomiast w drugiej zawarte jest zmierzone stężenie metanu. np. 0,5%. Na podstawie pierwszej kolumny wyznaczany jest numer dnia tygodnia dla ostatnich danych pomiarowych, a w konsekwencji wybierany jest odpowiedni wzór dla prognozy, wzór na dzień następny. Ponieważ program w zamyśle ma służyć do wyznaczania zarówno średnich, jak i maksymalnych stężeń to wymagane są dwa pliki z danymi. W jednym znajdują się daty pomiarów (pierwsza kolumna) i wartości odczytanych (obliczonych) średnich stężeń metanu dla poszczególnych dni (dat) – druga kolumna. W analogiczny sposób zbudowany jest plik zawierający maksymalne wartości. Ze względów praktycznych i dla zachowania „elastyczności” programu pliki te postanowiono rozdzielić. Warto także dodać, że metoda ta działa podobnie do metody bazowej przedstawionej w rozdziale 5, z tą różnicą, że wykorzystuje zoptymalizowane (dla posiadanych danych) wartości współczynników.

Oblicz – jest to najbardziej zaawansowana metoda w całym programie. Wykorzystuje ona wszystkie funkcje (metody) obliczeniowe przedstawione wcześniej w niniejszym podrozdziale. Dokładny sposób funkcjonowania programu został opisany w dalszej części tego rozdziału, natomiast w tym miejscu należy zaznaczyć, że omawiana metoda *oblicz* wylicza końcową wartość prognozy. Przed przedstawieniem sposobu wyliczania prognozy warto wprowadzić następujące oznaczenia dla przedstawionych wcześniej metod, czyli: *srednia7* → *sr7*; *srednia7waz* → *sr7w*; *srednia* → *sr*; *srednia_alfa* → *sra*, *predykcja* → *pr*, *predykcja7* → *pr7*, *liniowa* → *lin*. Przyjmując $P(x)$ jako wartość prognozy dla dnia x wzór na obliczenie wartości tej prognozy przedstawia się następująco:

$$P(x) = Wsr7 * sr7 + Wsr7w * sr7w + Wsr * sr + Wsra * sra + Wpr * pr + Wpr7 * pr7 + Wlin * lin \quad (6.2)$$

gdzie:

$Wsr7$, $Wsr7w$, Wsr , $Wsra$, Wpr , $Wpr7$, $Wlin$ są odpowiednimi wagami przypisanymi do wartości zwracanych przez analogiczne dla nich metody. Wagi te są modyfikowane w procesie nauki (dostrajania) programu. Więcej informacji o wagach i sposobie ich modyfikacji można znaleźć w dalszej części tego rozdziału.

Metoda *oblicz* wyznacza ponadto wartości błędów prognoz występujących dla każdej z metod z osobna, na każdym etapie nauki (dostrajania). Matematyczne szczegóły wyznaczania błędu zostały przedstawione w dalszej części rozdziału, teraz warto wspomnieć, że jest to tzw. błąd kwadratowy dla poszczególnych metod i

tw. średni błąd kwadratowy dla wartości całej prognozy. W metodzie tej jest zaimplementowana także logika optymalizacji wcześniej wyszczególnionych wag. Optymalizacja ta dokonuje się na bazie wartości błędów i to zarówno dla poszczególnych metod, jak i średniego błędu kwadratowego dla całej wartości prognozy. Więcej informacji o logice optymalizacji podano w dalszej części tego rozdziału.

Metody wspomagające:

Openfile – metoda wyświetlająca okno dialogowe umożliwiające wyszukanie i wskazanie odpowiedniego pliku z danymi. Nazwa pliku nie ma znaczenia, natomiast istotne jest, żeby jego budowa odpowiadała standardowi plików w formacie csv, a jego struktura zawierała dwie kolumny opisane precyzyjnie we wcześniejszej metodzie o nazwie *liniowa*.

Clear – metoda czyszcząca wyświetlane wartości prognoz lub inne komunikaty. Jest ona wywoływana przed wyświetleniem wyniku bieżącej prognozy.

Display – metoda wyświetlająca główne okno dialogowe aplikacji i wyniki obliczonych prognoz. Metodę tę można uznać za „managera okna” odpowiedzialnego za zarządzanie interfejsem graficznym programu. Efekt działania metody *display* został przedstawiony na rys. 6.1. Jest to główne okno programu.



Rys. 6.1. Główne okno programu MetPred

6.2.1 Omówienie wykorzystanych metod heurystycznych

Na wstępie warto podkreślić, że przez termin heurystyka należy rozumieć metodę szukania (wyznaczania lub obliczania) rozwiązania, która nie daje pewności wyznaczenia rozwiązania optymalnego. Ta „definicja” ma głębokie znaczenie w kontekście działania programu MetPred. O ile oczywiste jest, że wyznaczane prognozy mogą (i będą) się różnić od wartości (rzeczywistych) zmierzonych po upływie określonego interwału czasu (np. jednej doby, przy prognozowaniu i odczytach raz na dobę). O tyle fakt dostrajania samych wag przypisanych do poszczególnych metod, nie jest już taki oczywisty. Pojawia się tutaj kilka pytań, po pierwsze czy istnieje optymalny zestaw wag? A jeśli tak, to czy jest on jednoznaczny czy może nie? Pytania te można pozostawić jako otwarte, jednak zdrowy rozsądek podpowiada, że odpowiedź zależy od poszczególnych przypadków i zastosowań danej metody. O ile wartości obliczane z wykorzystaniem poszczególnych metod wchodzących w skład programu, są obliczane w sposób czysto analityczny, o tyle zarówno dobór funkcji wyznaczania błędu, jak i sposób ustalania wag jest pewną heurystyką.

W programie MetPred do wyznaczania błędu wykorzystano kwadrat różnicy między wartością prognozowaną, a rzeczywistą (później zmierzoną, następstwo czasowe ma tu duże znaczenie). Wartość tę można uśrednić po wszystkich przeprowadzonych pomiarach i prognozach, za pomocą szeroko wykorzystywanego i omawianego w literaturze tzw. błędu średniokwadratowego. Problem nie polega jednak na matematycznej zależności, a na tym czy wybór błędu średniokwadratowego jest w tym przypadku działaniem optymalnym? W opinii autora jest to dobre „narzędzie”. Jednak potwierdzenie jego efektywności (w tego typu zastosowaniach) w odniesieniu do innych metod, takich jak wartość bezwzględna ze wspomnianej różnicy, czy różnica kwadratów wartości prognozowanej i pomiarowej, wymaga dalszych badań. Podsumowując dyskusję na temat sposobu obliczania błędu należy stwierdzić, że skuteczność różnych heurystyk dla tego konkretnego zastosowania wymaga potwierdzenia empirycznego, co znacznie przekracza cel niniejszej pracy i może stanowić wartościowy kierunek jej dalszego rozwoju.

Sytuacja staje się jeszcze bardziej skomplikowana w odniesieniu do heurystyki ustalania i modyfikacji wag. Wcześniej zostało wspomniane, że program wykorzystuje pewne mechanizmy stosowane w sztucznej inteligencji. W obszarze

sieci neuronowych mechanizm ten nazywa się uczeniem nadzorowanym, a dokładniej uczeniem przez przykład. W programie MetPred w celu optymalizacji wag przypisanych poszczególnym metodom obliczeniowym, wykorzystywany jest właśnie taki mechanizm. Na bazie dostępnych danych historycznych, podczas obliczania wartości prognozy wyznaczane są kolejne wcześniejsze prognozy, obliczane błędy i dostrajane wagi. Tak się dzieje dla danych z każdego kolejnego dnia pomiarowego, aż do osiągnięcia końca zbioru danych. W tym momencie uznaje się, że program jest „nauczony”, dostrojony do przeprowadzenia nowej prognozy. W kolejnym dniu (lub okresie pomiarowym) zbiór historycznych danych pomiarowych jest wzbogacany o kolejny dane z dnia poprzedniego (właśnie zakończonego), a cały proces nauczania jest ponawiany dla nowego, większego zbioru danych uczących, danych pomiarowych. Działanie takie można porównać do uczenia sieci neuronowej, jednak z tą różnicą, że w sieciach neuronowych kolejne dane testowe nie „przechodzą” do zbioru danych uczących, co ma miejsce w programie MetPred. Mechanizm ten, czyli ciągłe rozszerzanie zbioru danych uczących w miarę upływu czasu i dodawania kolejnych wartości pomiarowych, może stanowić oryginalne, autorskie rozwiązanie analizowanego problemu.

Osobnym zagadnieniem jest sposób wyznaczania początkowych (startowych) wag. Jak powszechnie wiadomo tego typu rozwiązania są dość „czułe” na wartości parametrów początkowych. W związku z powyższym w MetPred wykorzystano wyniki wcześniej przeprowadzonych optymalizacji. Dokładniej rzecz ujmując, mając do dyspozycji tylko jedną daną pomiarową, program wyznacza wartość prognozy jedynie na podstawie metod: *srednia* i *liniowa*, które zostały wcześniej (przy użyciu innego programu czyli arkusza kalkulacyjnego) dostrojone do warunków pomiarowych panujących w chodnikach wentylacyjnych poszczególnych ścian. Są to oczywiście uśrednione wartości, jednak dość dobrze pasujące jako punkt wyjścia do dalszych działań i dostrajania wag (patrz tabele 6.1 i 6.2). Prognoza obliczona na podstawie tylko jednej danej pomiarowej nie jest wyświetlana przez program, co symbolizuje wynik zero. Dla obu metod przyjmowana jest waga 0,5. Dodatkowo po wprowadzeniu danych za drugi dzień pomiarowy, pojawia się trzeci wynik, tj. uzyskany z wykorzystaniem metody *srednia_alfa*, jak i pierwsza możliwość oceny jakości wyników (błędu) uzyskanych za pomocą wspomnianych dwóch metod. Arbitralnie przyjęto, że zbiór trzech danych pomiarowych jest zbiorem minimalnym

umożliwiający postawienie prognozy, w konsekwencji „dopiero” po wprowadzeniu trzech danych pomiarowych MetPred wyświetla niezerową prognozę.

6.2.2. Opis sposobu wyznaczania wartości wag

Zagadnienie wyznaczania wartości wag, wydaje się być kluczowe zarówno w odniesieniu do ogólnie rozumianych sieci neuronowych, jak i samego programu MetPred. To właśnie wartość wagi jest determinantą w procesie przyznawania poziomu zaufania metodom ze zbioru: *srednia7*; *srednia7waz*; *średnia*; *srednia_alfa*, *predykcja*, *predykcja7*, *liniowa*. Warto zaznaczyć, że w miarę upływu procesu uczenia wagi są na bieżąco modyfikowane (co jest całkowicie naturalne i pożądane), a w konsekwencji „poziom zaufania” dla poszczególnych metod zmienia się. Dość naturalnym rozwiązaniem jest uzależnienie wagi powiązanej z daną metodą od błędu przez nią generowanego. W MetPred został wykorzystany raczej nieoczywisty i zarazem skomplikowany sposób „powiązania” wagi z błędem. Sposób ten składa się z sześciu następujących kroków:

Krok 1 – obliczenie błędów kwadratowych dla poszczególnych metod:

$$Esr7 = (\text{wartość pomiarowa} - \text{wartość prognozy dla metody } srednia7)^2 \quad (6.3)$$

$$Esr7w = (\text{wartość pomiarowa} - \text{wartość prognozy dla metody } srednia7waz)^2 \quad (6.4)$$

$$Esr = (\text{wartość pomiarowa} - \text{wartość prognozy dla metody } srednia)^2 \quad (6.5)$$

$$Esra = (\text{wartość pomiarowa} - \text{wartość prognozy dla metody } srednia_alfa)^2 \quad (6.6)$$

$$Epr = (\text{wartość pomiarowa} - \text{wartość prognozy dla metody } predykcja)^2 \quad (6.7)$$

$$Epr7 = (\text{wartość pomiarowa} - \text{wartość prognozy dla metody } predykcja7)^2 \quad (6.8)$$

$$Elin = (\text{wartość pomiarowa} - \text{wartość prognozy dla metody } liniowa)^2 \quad (6.9)$$

gdzie np. *Esr* – błąd dla metody *srednia*, *Esr7* – błąd dla metody *srednia7* itd.

Krok 2 – obliczenie sumacyjnego błędu generowanego przez wszystkie metody *ES*. Przez błąd sumacyjny należy rozumieć sumę błędów generowanych przez wszystkie metody, gdzie błąd generowany przez metodę jest rozumiany jako kwadrat różnicy ostatniej jej prognozy i odpowiadającej jej wartości pomiarowej (krok 1). Wprowadzając nowe oznaczenia i zachowując przyjęte poprzednio, wzór na błąd sumacyjny przyjmuje następującą postać:

$$ES = Esr7 + Esr7w + Esr + Esra + Epr + Epr7 + Elin \quad (6.10)$$

Krok 3 – dla każdej metody jest wyznaczany następnie jej udział w błędzie sumacyjnym, rozumiany jako iloraz błędu metody i błędu sumacyjnego. Udział ten można nazwać roboczo współczynnikiem błędu metody „x” – WEx . czyli:

$$WEsr7 = Esr7/ES \quad (6.11)$$

$$WEsr7w = Esr7w/ES \quad (6.12)$$

$$WEsr = Esr/ES \quad (6.13)$$

$$WEsra = Esra/ES \quad (6.14)$$

$$WEpr = Epr/ES \quad (6.15)$$

$$WEpr7 = Epr7/ES \quad (6.16)$$

$$WElin = Elin/ES \quad (6.17)$$

Warto zauważyć, że suma wszystkich, w ten sposób obliczonych współczynników błędów wynosi 1. Ponadto im błąd konkretnej metody jest większy, tym przedmiotowy współczynnik także przyjmuje większą wartość. W konsekwencji, w oparciu o tak zdefiniowane poszczególne współczynniki błędów, można próbować przydzielić wagi wszystkim metodom obliczeniowym. Problem polega na tym, że waga będzie wówczas proporcjonalna do błędu generowanego przez daną metodę obliczeniową, co jest działaniem zgoła odmiennym od założonego. Takie przypisanie wagi „promuje” metody cechujące się w danej iteracji największym błędem. Dlatego należy przeprowadzić dalsze modyfikacje.

Krok 4 – obliczenie delt (różnic) między wartością 1, a poszczególnymi współczynnikami błędów. Warto zauważyć, że wartości współczynnika błędów są liczbami z przedziału $< 0,1 >$. W konsekwencji (co jest istotne z punktu widzenia obliczeniowego) delty także są liczbami z tego przedziału. Obliczanie wspomnianych delt przedstawia się następująco:

$$deltaWEsr7 = 1 - WEsr7 \quad (6.18)$$

$$deltaWEsr7w = 1 - WEsr7w \quad (6.19)$$

$$deltaWEsr = 1 - WEsr \quad (6.20)$$

$$deltaWEsra = 1 - WEsra \quad (6.21)$$

$$deltaWEpr = 1 - WEpr \quad (6.22)$$

$$deltaWEpr7 = 1 - WEpr7 \quad (6.23)$$

$$\mathbf{deltaWElin} = 1 - WElin \quad (6.24)$$

Krok 5 – obliczenie sumy delt dla wszystkich metod obliczeniowych zgodnie ze wzorem:

$$\mathbf{Sdelta} = \mathbf{deltaWEsr7} + \mathbf{deltaWEsr7w} + \mathbf{deltaWEsr} + \mathbf{deltaWEsra} + \quad (6.25)$$

$$+ \mathbf{deltaWEpr} + \mathbf{deltaWEpr7} + \mathbf{deltaWElin}$$

Suma w ten sposób wyznaczonych delt wynosi 6.

Krok 6 – wyznaczenie wag dla poszczególnych metod obliczeniowych zgodnie ze wzorami:

$$\mathbf{Wsr7} = \mathbf{deltaWEsr7/Sdelta} \quad (6.26)$$

$$\mathbf{Wsr7w} = \mathbf{deltaWEsr7w/Sdelta} \quad (6.27)$$

$$\mathbf{Wsr} = \mathbf{deltaWEsr/Sdelta} \quad (6.28)$$

$$\mathbf{Wsra} = \mathbf{deltaWEsra/Sdelta} \quad (6.29)$$

$$\mathbf{Wpr} = \mathbf{deltaWEpr/Sdelta} \quad (6.30)$$

$$\mathbf{Wpr7} = \mathbf{deltaWEpr7/Sdelta} \quad (6.31)$$

$$\mathbf{Wlin} = \mathbf{deltaWElin/Sdelta} \quad (6.32)$$

Wagi wyznaczone w ten sposób są znormalizowane, ich suma równa się 1. Ważne jest natomiast, że wartości poszczególnych wag są proporcjonalne do błędów generowanych przez odpowiadające im metody obliczeniowe, co było głównym celem ich tworzenia. Na zakończenie obliczana jest wartość prognozy na podstawie wzoru (6.1).

6.2.3. Uzasadnienie wyboru obliczeniowych metod programistycznych

Przyglądając się przebiegowi wykresów, przykładowo dla ściany 1, zarówno w przypadku średnich wartości pomiarowych (rys. 6.2), jak i maksymalnych (rys. 6.3) wyraźnie są widoczne: po pierwsze duża zmienność przebiegu, po drugie brak wyraźnego trendu. Można więc stwierdzić, że wykorzystanie jedynie metody opartej na statycznej prostej wyznaczonej z wykorzystaniem KMNK, jest podejściem nieefektywnym i obciążonym znacznym błędem. W takiej metodzie wartość współczynnika a_1 , rozumianego jako współczynnik kierunkowy prostej regresji, determinuje wzrostowy ($a_1 > 0$) lub spadkowy ($a_1 < 0$) charakter prostej,

a w konsekwencji występowanie trendu, co jest niezgodne ze wspomnianą obserwacją wartości pomiarowych. W związku z powyższym należy do analizowanego problemu podejść bardziej wszechstronnie i wykorzystać także inne metody obliczeniowe. Metody te w zamyśle autora powinny dać się podzielić na dwie grupy. Pierwszą powinny stanowić metody „wygładzające”, a drugą „agresywne”. Przez pojęcie „wygładzające” należy rozumieć coraz to mniejsze wahania wyników uzyskiwane wraz ze wzrostem zbioru argumentów. Innymi słowy, im większy jest zbiór argumentów (im więcej wyników pomiarów jest do dyspozycji) tym spodziewane zmiany wyniku powinny być coraz mniejsze. Dobrym przykładem takiej metody jest arytmetyczna średnia dla całego zbioru danych nazwana *srednia*. Wprowadzenie tego typu metod do logiki programu (i oczywiście przypisanie ich wynikom określonych wag) pozwala na eliminację długookresowego trendu w wartościach prognoz. Z drugiej jednak strony wymagana jest pewna przeciwwaga, którą stanowi metoda *liniowa*, charakteryzująca się długookresowym trendem ze względu na kąt nachylenia krzywej regresji, co wynika z niezerowej wartości współczynnika a_1 . Dodatkowo innym problemem, jaki należy wskazać jest dość duża zmienność wartości pomiarowych, którą można wyznaczyć np. przy pomocy wariancji. W tym przypadku pomocne okazują się metody „agresywne” cechujące się wyznaczaniem krótkookresowych trendów, czyli kilkudniowych. Przykładami takich metod są *srednia_alfa* i *srednia7waz*, a także w mniejszym stopniu, *srednia7*. *Srednia_alfa* wyznacza wartość prognozy opierając się jedynie na dwóch ostatnich wartościach pomiarowych, czyli „łapie” najkrótszy możliwy trend. *Srednia7waz* oblicza wartość średniej arytmetycznej dla ostatnich siedmiu dni, przy czym każdy dzień wcześniejszy ma dwukrotnie mniejszą wagę. Ważony wpływ ostatnich trzech dni ma znaczenie zasadnicze i stanowi o ponad 7/8 ($0,5 + 0,25 + 0,125$) wyniku końcowego.

To właśnie dzięki wykorzystaniu dualnego podejścia do problemu i zastosowania (między innymi) zarówno metod „wygładzających”, jak i „agresywnych”, a także opisanej wcześniej metody doboru i dostosowywania wag, wyniki uzyskiwane przez program MetPred można uznać za wysoce zadowalające. Więcej informacji o wynikach oraz o pełnym procesie wnioskowania zawarto w kolejnych rozdziałach niniejszej rozprawy.

6.3. Opis oprogramowania autorskiego MetPred

Program MetPred został napisany z wykorzystaniem języka programowania skryptowego jakim jest Python. Wykorzystana wersja to 3.8, a środowiskiem programistycznym było Thonny 4.1.7. Program korzysta z następujących zewnętrznych modułów programistycznych: Pandas, Datetime, Openpyxl, Tkinter. Przeznaczenie poszczególnych modułów jest następujące:

Pandas – moduł o bardzo szerokich możliwościach i zastosowaniach dla potrzeb analitycznych, w tym analizy danych, analizy statystycznej, przetwarzania danych. W MetPred wykorzystywany jest do przechowywania danych wejściowych, czyli wartości pomiarowych. Moduł ten jest także wykonywany do obliczania pewnych statystyk, np. wartości średniej.

Datetime – moduł zawierający różne funkcje działające na datach i czasie. W programie MetPred wykorzystywany jest na potrzeby metody *liniowa*, gdzie na bazie daty zamieszczonej w pliku z danymi wyznaczany jest za jego pomocą numer dnia tygodnia odpowiadający konkretnej dacie.

Openpyxl – moduł służący do „współpracy” skryptów napisanych w języku Python z arkuszami kalkulacyjnymi MS Excel. Przez „współpracę” należy rozumieć szeroko rozumianą manipulację danymi, włącznie z odczytem i zapisem do arkusza. W MetPred wykorzystywany jest do zapisu wyników poszczególnych prognoz do zewnętrznego pliku wynikowego.

Thinter – moduł udostępniający środowisko graficzne dla skryptów języka Python. Jest to jedno z wielu dostępnych tego typu środowisk cieszące się dużą popularnością ze względu na rozbudowane możliwości i stosunkowo niski stopień komplikacji kodu. W MetPred moduł ten jest wykorzystany dla zbudowania i wyświetlenia głównego okna programu przedstawionego na rys. 6.1, a także do obsługi okna dialogowego umożliwiającego wyszukanie i wybranie odpowiedniego pliku z danymi (plik csv).

Jak już wcześniej wspomniano, MetPred został stworzony dla rozwiązania konkretnego problemu badawczego, jakim jest prognozowanie stężenia metanu przed czołem ścian wydobywczych. Jego rola polega więc na prognozowaniu (obliczaniu prognoz) na podstawie dostępnych historycznych danych pomiarowych. Prognozowanie to powinno być obciążone jak najmniejszym błędem, a dokładność prognoz powinna być wyznacznikiem jakości programu. Mając powyższe na uwadze, skromny interfejs graficzny nie powinien być odbierany jako „dysfunkcja”

programu, bowiem jego prostota i intuicyjność zapewniają ergonomię i nie utrudniają działań operatora. Stanowią niewątpliwie zaletę tego rozwiązania. Tam gdzie jest to konieczne, czyli w warstwie logiki aplikacyjnej w MetPred zostały wykorzystane zaawansowane rozwiązania zarówno statystyczne, jak i z zakresu analizy danych (ang. data science) [41]. Warto jednocześnie wspomnieć, że dołożono wszelkich starań, aby sama obsługa programu była możliwie łatwa i intuicyjna. W obszarze użytkowym „codzienne” wykorzystanie MetPred sprowadza się do dopisania do pliku z danymi zawierającymi średnie dobowe stężenia metanu, jednego wersu na jego końcu. Wers ten zawiera, rozdzieloną przecinkiem, datę i wartość pomiarową. Analogicznie sytuacja wygląda dla maksymalnych wartości zapisywanych w osobnym pliku. W konsekwencji aktualizacja danych odbywa się poza programem i polega na dodawaniu po jednym wersie do dwóch plików, co nie powinno stanowić większej trudności nawet dla osoby niezajmującej się informatyką. Po przeprowadzeniu aktualizacji danych pomiarowych i uruchomieniu programu (kolejność nie ma znaczenia) należy nacisnąć przycisk „wczytaj dane” i w sposób analogiczny do standardowych aplikacji, np. biurowych wyszukać i wybrać plik z danymi. Ostatnim etapem jest naciśnięcie przycisku „Oblicz wartość prognozy”. W czasie działania programu (podczas obliczeń) przycisk ten zmienia kolor, pokazując użytkownikowi, że powinien poczekać na zakończenie działania. Finalnie przycisk „Oblicz wartość prognozy” powróci do swojego koloru podstawowego, a w oknie poniżej zostanie wyświetlona wartość prognozy na następny dzień (okres obliczeniowy). W przypadku naciśnięcia przycisku „Oblicz wartość prognozy”, bez wcześniejszego wczytania pliku z danymi, w oknie dla wartości prognozy pojawi się komunikat o braku danych. Na tym kończy się proces interakcji operatora z programem. Jak łatwo zauważyć został on maksymalnie uproszczony, a do jego codziennej obsługi wystarczy krótkie przeszkolenie.

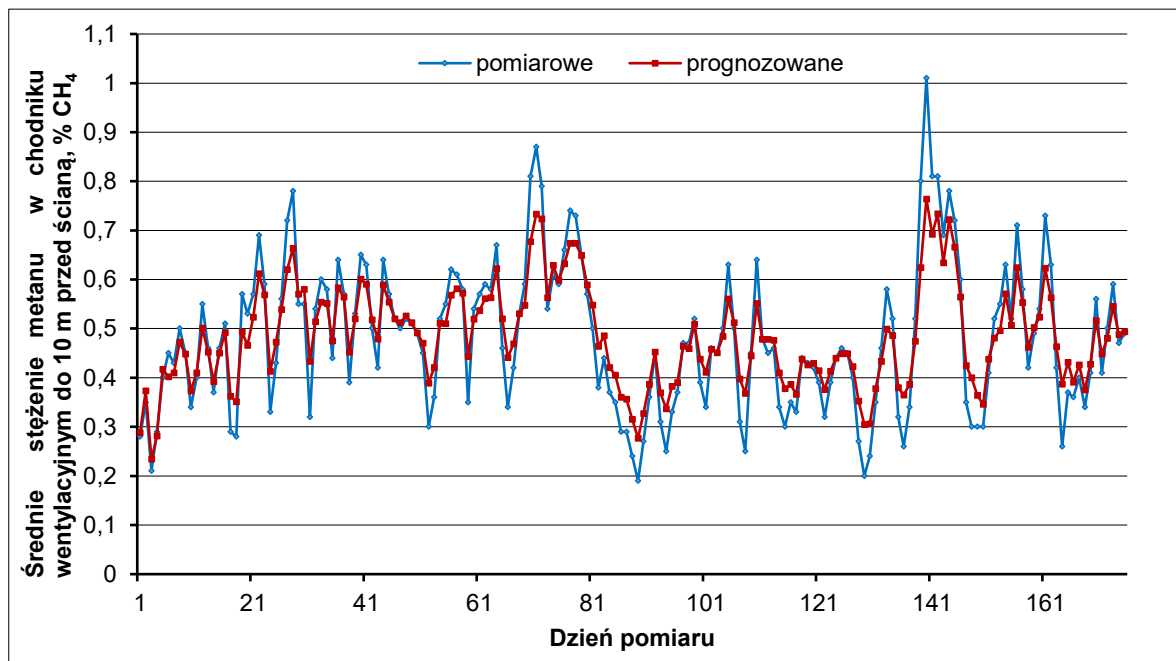
Na zakończenie należy wspomnieć, że znaczna część logiki funkcjonowania programu MetPred wynika z wiedzy i przemyśleń autora, które zostały oparte na uznanej pozycji literatury [41].

6.4. Prognoza oparta na metodzie autorskiej

W tym podrozdziale zostały przedstawione prognozy uzyskane za pomocą programu MetPred. Prognozy te zostały przeprowadzone zarówno dla średnich, jak i maksymalnych wartości dla siedmiu ścian wydobywczych. Dotyczyły one tych samych pomiarów, dla których w punkcie 5 przeprowadzono prognozy z wykorzystaniem metody liniowej (bazowej). Wyniki prognoz dla każdej ze ścian zostały także przedstawione w formie graficznej.

6.4.1. Prognoza średniego i maksymalnego stężenia metanu w chodniku wentylacyjnym do 10 m przed ścianą 1

Na rysunku 6.2 przedstawiono pomiarowe i prognozowane średnie stężenia metanu w chodniku wentylacyjnym do 10 m przed ścianą 1 dla okresu obejmującego 175 dni.

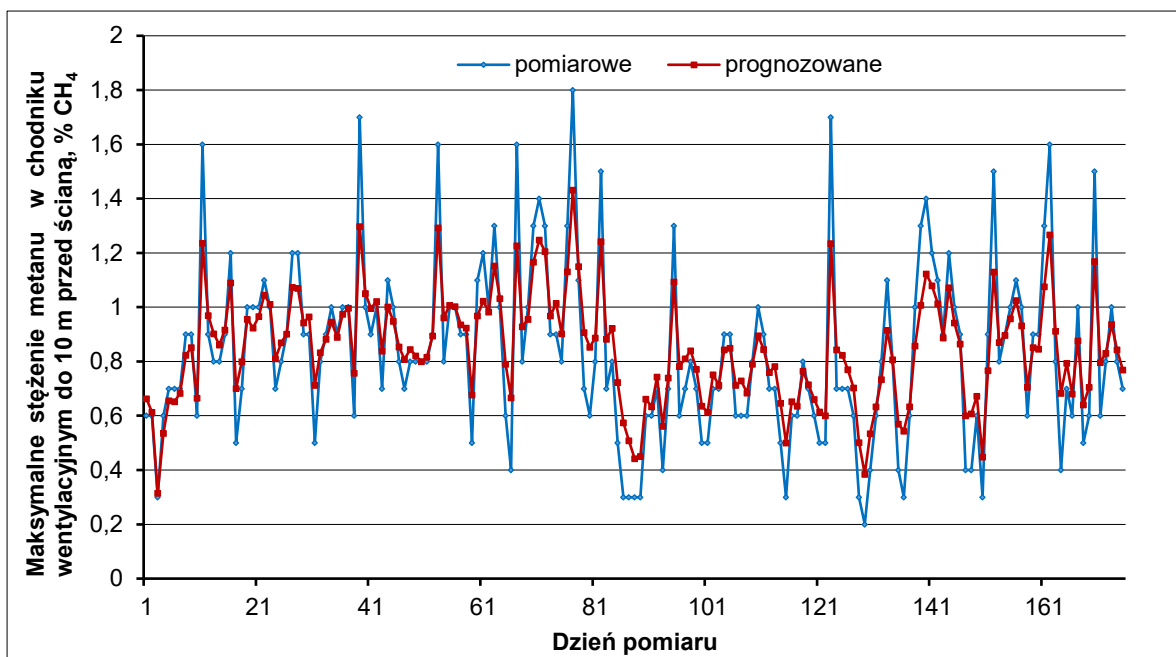


Rys. 6.2. Pomiarowe i prognozowane średnie stężenia metanu dla ściany 1

Z wykonanych obliczeń wynika, że w 82 przypadkach wartości pomiarowe średniego stężenia metanu przekroczyły wartości średniego stężenia prognozowanego, natomiast w 90 przypadkach wartości pomiarowe średniego stężenia metanu były niższe od wartości średniego stężenia prognozowanego, w 3 przypadkach wartość prognozy pokryła się z wartością pomiarową. Suma średniego stężenia pomiarowego w okresie obserwacji, wynosząca 84,10% CH₄, była nieznacznie niższa od sumy średniego stężenia prognozowanego, wynoszącej

84,60% CH₄. Przedstawione wyniki wskazują, że prognoza została wykonana w sposób bardzo precyzyjny. Współczynnik korelacji między pomiarowym i prognozowanym średnim stężeniem metanu wyniósł 0,97, natomiast wartość współczynnika R^2 była równa 0,93.

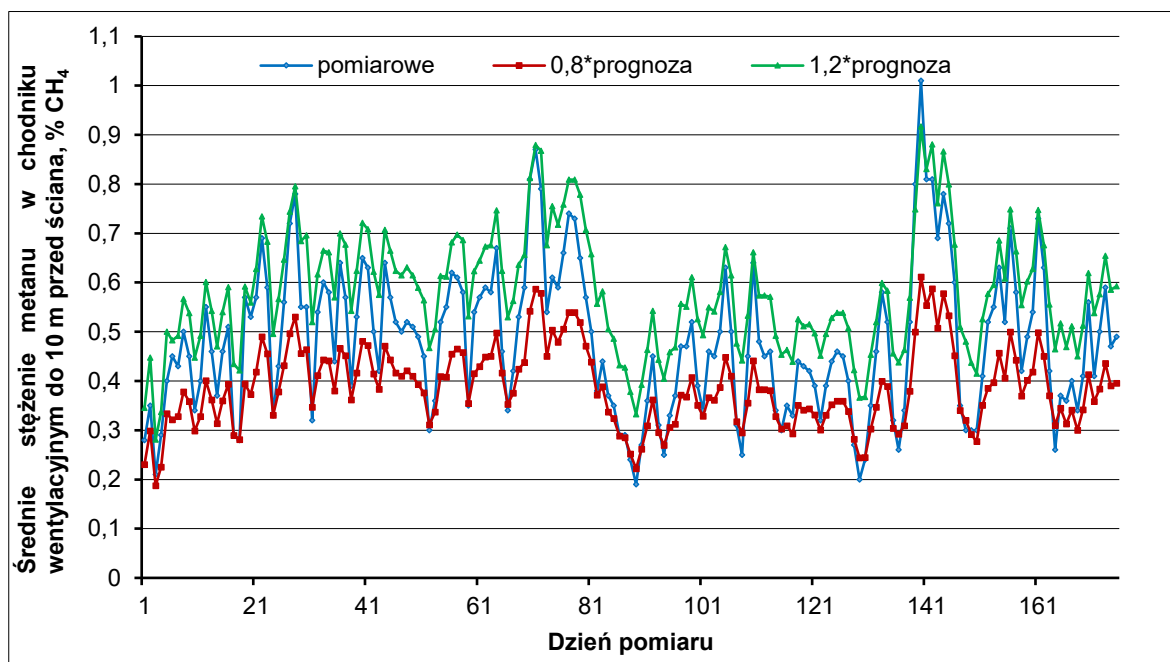
Na rysunku 6.3 przedstawiono pomiarowe i prognozowane maksymalne stężenia metanu w chodniku wentylacyjnym do 10 m przed ścianą 1 w okresie 175 dni.



Rys. 6.3. Pomiarowe i prognozowane maksymalne stężenia metanu dla ściany 1

Z wykonanych obliczeń wynika, że w 68 przypadkach wartości pomiarowe maksymalnego stężenia metanu przekroczyły wartości maksymalnego stężenia prognozowanego, natomiast w 106 przypadkach wartości pomiarowe maksymalnego stężenia metanu były niższe od wartości maksymalnego stężenia prognozowanego. W jednym przypadku wartość prognozy pokryła się z wartością pomiarową. Suma maksymalnego stężenia pomiarowego w okresie obserwacji, wynosząca 146,10% CH₄ była niższa od sumy maksymalnego stężenia prognozowanego, wynoszącej 148,40% CH₄. Wyniki wskazują, że prognoza została wykonana z nieznacznym nadmiarem. Współczynnik korelacji między pomiarowym i prognozowanym maksymalnym stężeniem metanu wyniósł 0,95, natomiast wartość współczynnika R^2 była równa 0,90.

Na rysunku 6.4 przedstawiono pomiarowe średnie stężenia metanu z dolną i górną granicą prognozy w analizowanym miejscu.

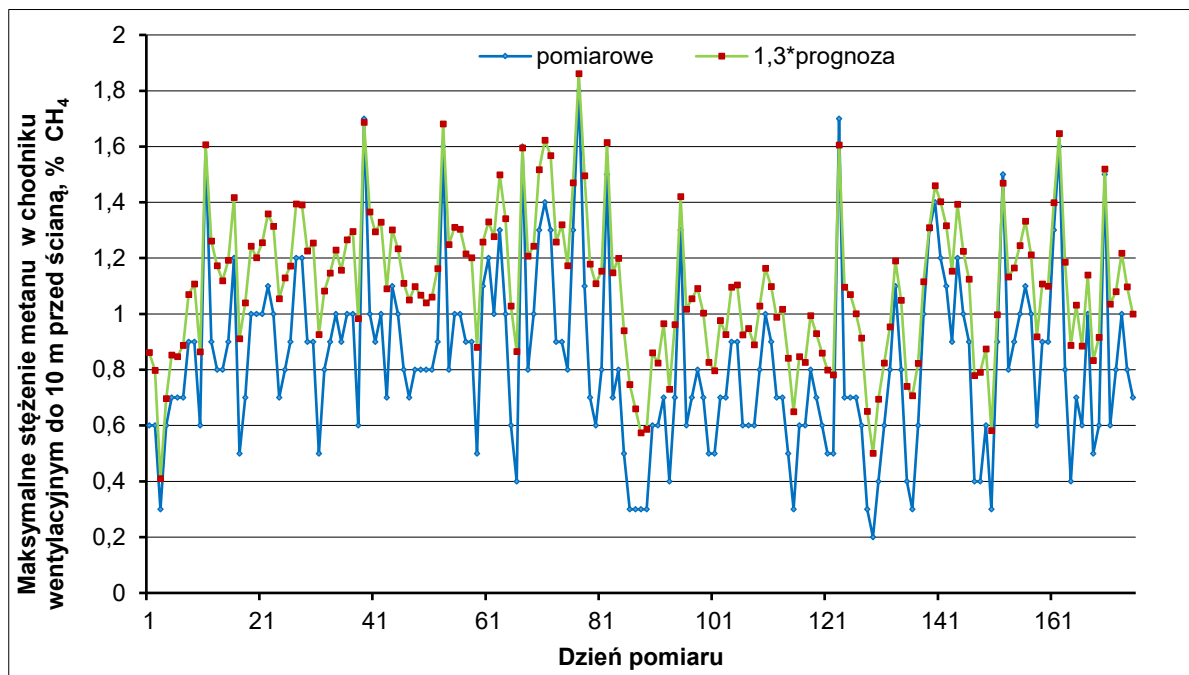


Rys. 6.4. Pomiarowe średnie stężenia metanu z dolną i górną granicą prognozy dla ściany 1

Rysunek 6.4 przedstawia przedział prognozy, którego górna granica wynosi 1,2 wartości prognozowanego stężenia, a dolna granica 0,8 wartości tego stężenia.

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że w 173 przypadkach na 175 prognozowane średnie stężenie metanu, znajdowało się w granicach prognozy. W dwóch przypadkach na 175 wartości pomiarowych stężenia były wyższe od górnej granicy prognozy; w żadnym przypadku wartości pomiarowe nie były niższe od dolnej granicy prognozy.

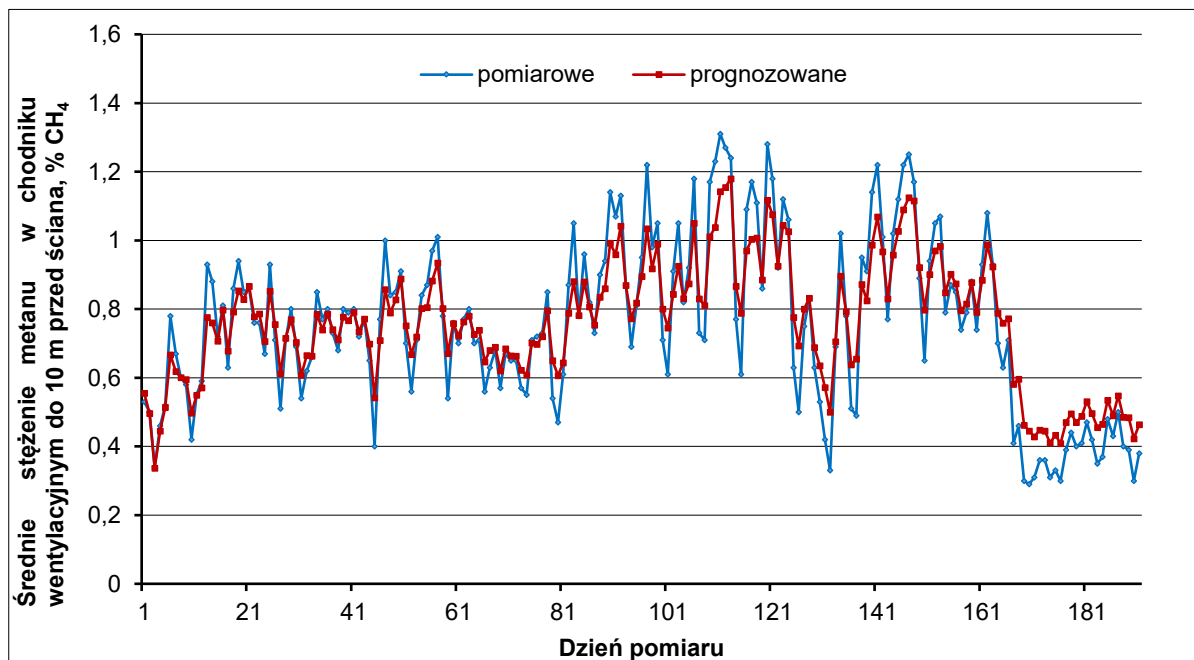
Rysunek 6.5 przedstawia wykres pomiarowych maksymalnych stężeń metanu z górną granicą prognozy. Przyjęto, że akceptowalny błąd prognozy maksymalnego stężenia wynosi 30% wartości prognozowanej, czyli górna akceptowalna granica prognozy wynosi 1,3 wartości prognozy. Obliczenia wykazały, że tylko w czterech przypadkach na 175 wartości stężenia pomiarowego przekraczały górną granicę prognozy.



Rys. 6.5. Pomiarowe maksymalne stężenia metanu z górną granicą prognozy dla ściany 1

6.4.2. Prognoza średniego i maksymalnego stężenia metanu w chodniku wentylacyjnym do 10 m przed ścianą 2

Na rysunku 6.6 przedstawiono pomiarowe i prognozowane średnie stężenia metanu w chodniku wentylacyjnym do 10 m przed ścianą 2 w okresie 191 dni.

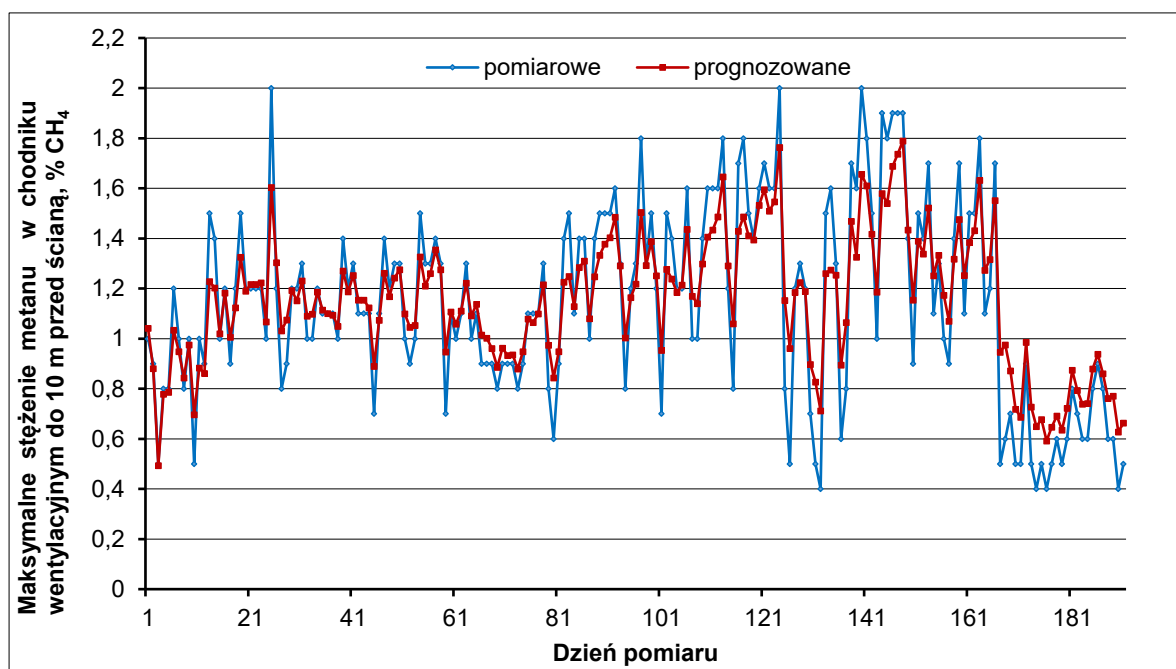


Rys. 6.6. Pomiarowe i prognozowane średnie stężenia metanu dla ściany 2

Z wykonanych obliczeń wynika, że w 87 przypadkach wartości pomiarowe średniego stężenia metanu przekroczyły wartości średniego stężenia

prognozowanego, natomiast w 104 przypadkach wartości pomiarowe średniego stężenia metanu były niższe od wartości średniego stężenia prognozowanego. Suma średniego stężenia pomiarowego w okresie obserwacji wyniosła 143,77% CH₄ i była niższa od sumy średniego stężenia prognozowanego, wynoszącej 144,65% CH₄. Wyniki wskazują, że prognoza została wykonana z nieznacznym nadmiarem. Współczynnik korelacji między pomiarowym i prognozowanym średnim stężeniem metanu wyniósł 0,97, natomiast wartość współczynnika R^2 była równa 0,94.

Na rysunku 6.7 przedstawiono pomiarowe i prognozowane maksymalne stężenia metanu w chodniku wentylacyjnym do 10 m przed ścianą 2 w okresie 191 dni.

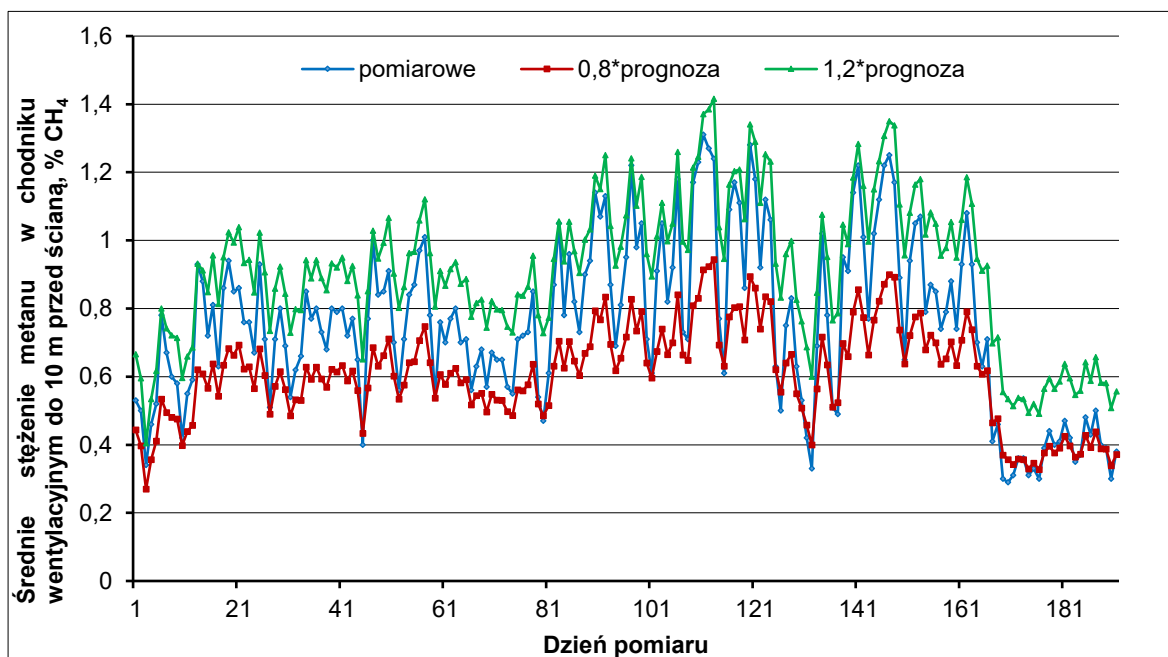


Rys. 6.7. Pomiarowe i prognozowane maksymalne stężenia metanu dla ściany 2

Z wykonanych obliczeń wynika, że w 97 przypadkach wartości pomiarowe maksymalnego stężenia metanu przekroczyły wartości maksymalnego stężenia prognozowanego, natomiast w 94 przypadkach wartości pomiarowe maksymalnego stężenia metanu były niższe od wartości maksymalnego stężenia prognozowanego. Suma maksymalnego stężenia pomiarowego w okresie obserwacji, wynosząca 217,80% CH₄ była niższa od sumy maksymalnego stężenia prognozowanego, wynoszącej 219,16% CH₄. Wyniki wskazują, że prognoza została wykonana z nieznacznym nadmiarem. Współczynnik korelacji między pomiarowym i

prognozowanym maksymalnym stężeniem metanu wyniósł 0,96, natomiast wartość współczynnika R^2 była równa 0,91.

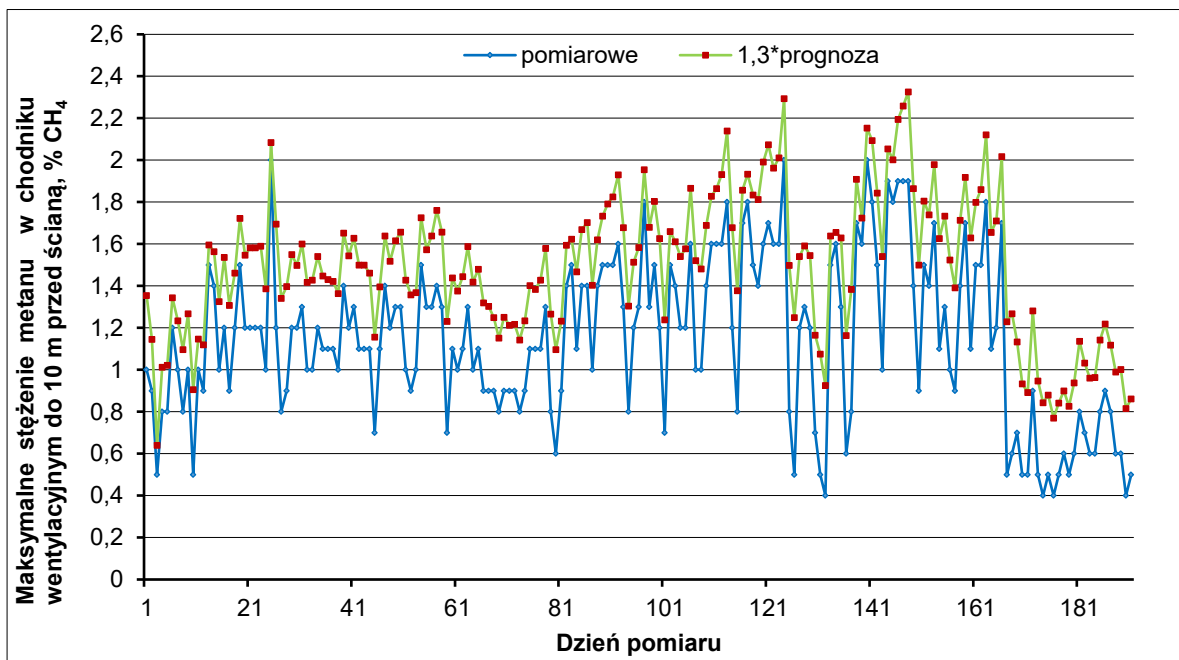
Rysunek 6.8 przedstawia wykres pomiarowych średnich stężeń metanu z dolną i górną granicą prognozy.



Rys. 6.8. Pomiarowe średnie stężenia metanu z dolną i górną granicą prognozy dla ściany 2

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że w 172 przypadkach na 191 prognozowane średnie stężenie metanu znajdowało się w granicach prognozy. W 19 przypadkach na 191 wartości pomiarowe były niższe od dolnej granicy prognozy, natomiast w żadnym przypadku wartości pomiarowe nie były większe od górnej granicy prognozy.

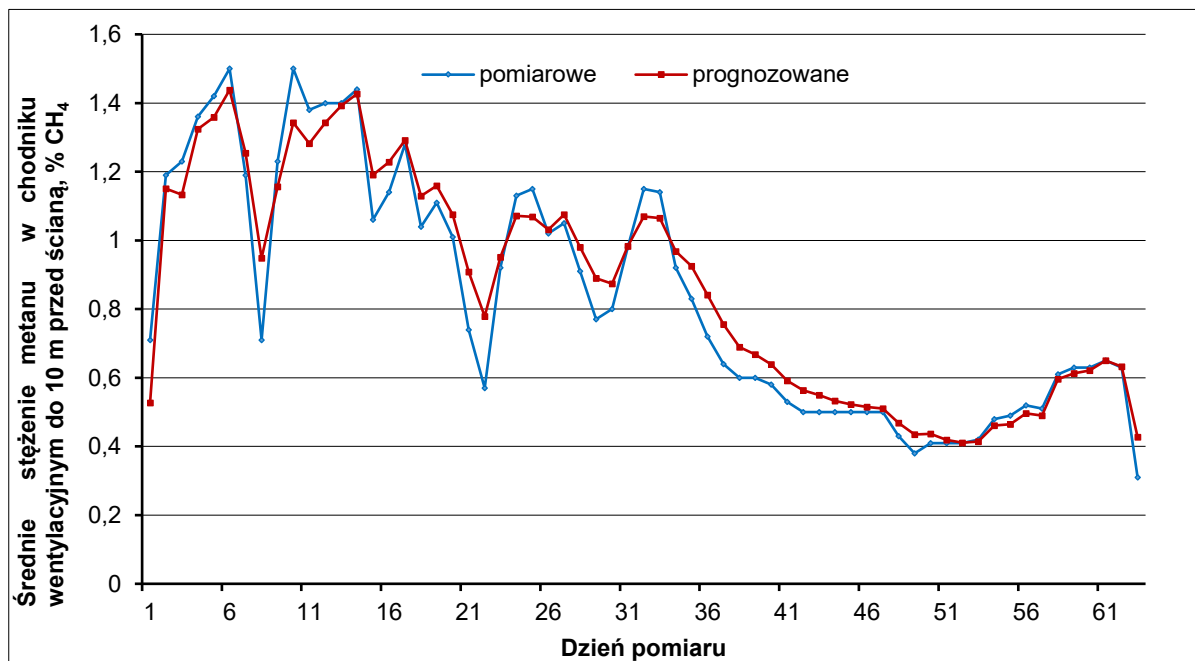
Rysunek 6.9 przedstawia wykres pomiarowych maksymalnych stężeń metanu z górną granicą prognozy. Obliczenia wykazały, że w żadnym przypadku wartości stężenia pomiarowego nie przekroczyły górnej granicy prognozy.



Rys. 6.9. Pomiarowe maksymalne stężenia metanu z górną granicą prognozy dla ściany 2

6.4.3. Prognoza średniego i maksymalnego stężenia metanu w chodniku wentylacyjnym do 10 m przed ścianą 3

Na rysunku 6.10 przedstawiono pomiarowe i prognozowane średnie stężenia metanu w chodniku wentylacyjnym do 10 m przed ścianą 3 w okresie 64 dni.

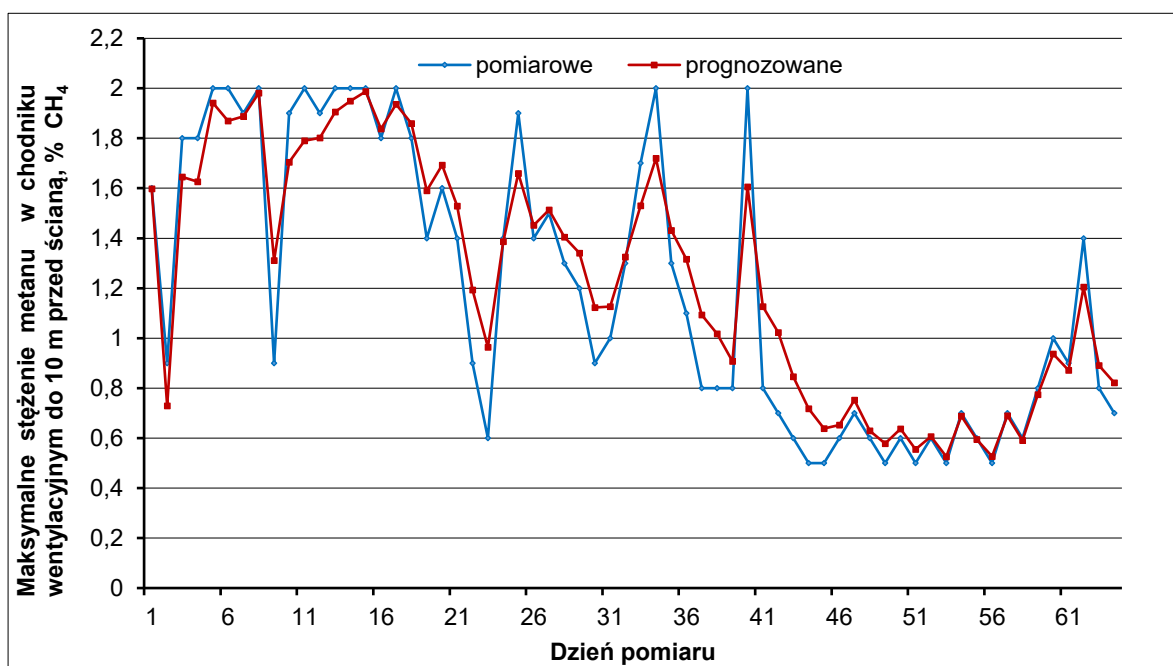


Rys. 6.10. Pomiarowe i prognozowane średnie stężenia metanu dla ściany 3

Z wykonanych obliczeń wynika, że w 24 przypadkach wartości pomiarowe średniego stężenia metanu przekroczyły wartości średniego stężenia prognozowanego, natomiast w 39 przypadkach wartości pomiarowe średniego

stężenia metanu były niższe od wartości średniego stężenia prognozowanego. W jednym przypadku wartość pomiarowa była równa wartości prognozowanej. Suma średniego stężenia pomiarowego w okresie obserwacji, wynosząca 52,97% CH₄ była niższa od sumy średniego stężenia prognozowanego, wynoszącej 54,20% CH₄. Wyniki wskazują, że prognoza została wykonana z nieznacznym nadmiarem. Współczynnik korelacji między pomiarowym i prognozowanym średnim stężeniem metanu wyniósł 0,98, natomiast wartość współczynnika R^2 była równa 0,95.

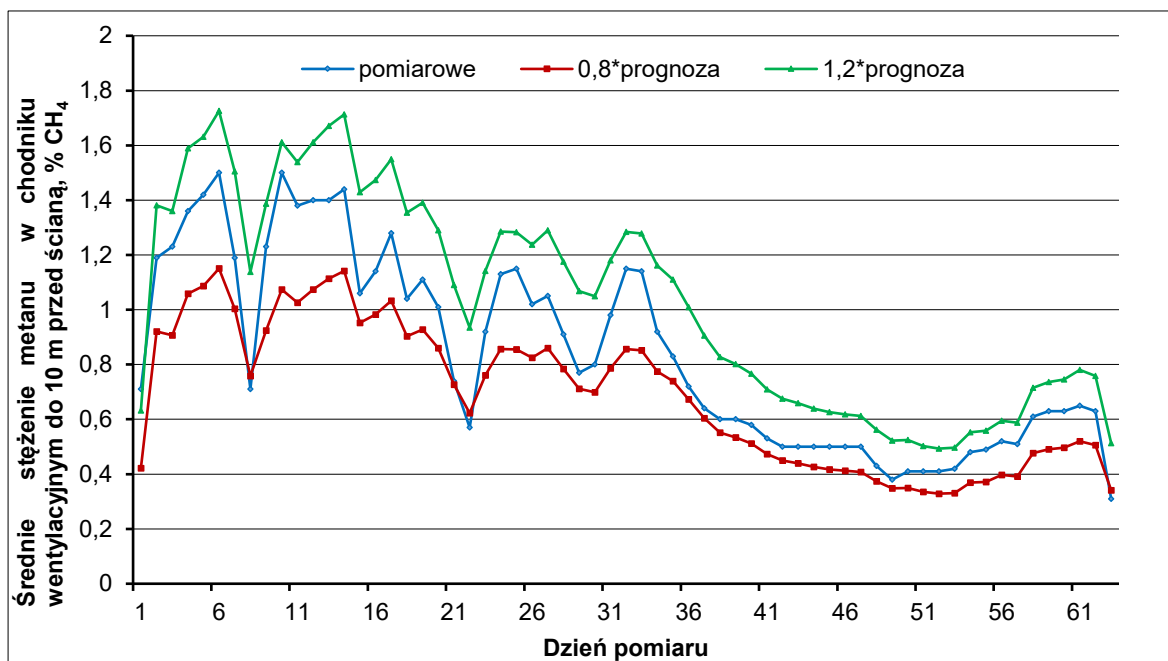
Na rysunku 6.11 przedstawiono pomiarowe i prognozowane maksymalne stężenia metanu w chodniku wentylacyjnym do 10 m przed ścianą 3 w okresie 64 dni.



Rys. 6.11. Pomiarowe i prognozowane maksymalne stężenia metanu dla ściany 3

Z wykonanych obliczeń wynika, że w 28 przypadkach wartości pomiarowe maksymalnego stężenia metanu przekroczyły wartości maksymalnego stężenia prognozowanego, natomiast w 36 przypadkach wartości pomiarowe maksymalnego stężenia metanu były niższe od wartości maksymalnego stężenia prognozowanego. Suma maksymalnego stężenia pomiarowego w okresie obserwacji, wynosząca 77,00% CH₄, była niższa od sumy maksymalnego stężenia prognozowanego, wynoszącej 79,16% CH₄. Wyniki wskazują, że prognoza została wykonana z nieznacznym nadmiarem. Współczynnik korelacji między pomiarowym i prognozowanym maksymalnym stężeniem metanu wyniósł 0,96, natomiast wartość współczynnika R^2 była równa 0,92.

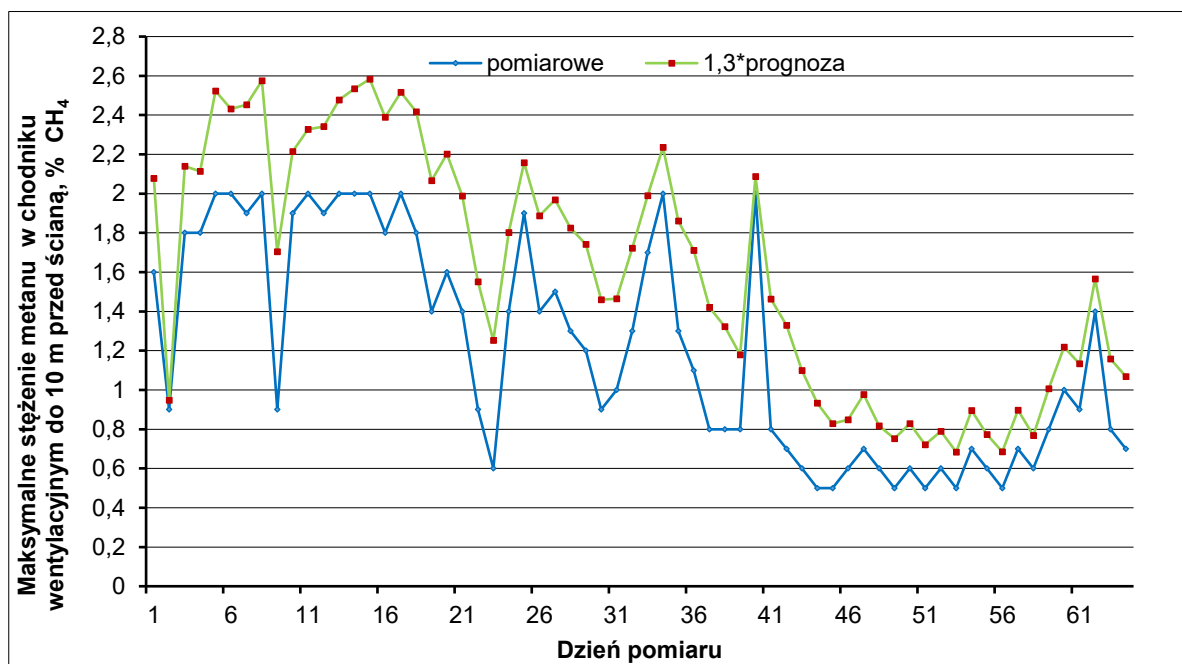
Rysunek 6.12 przedstawia wykres pomiarowych średnich stężeń metanu z dolną i górną granicą prognozy dla ściany 3.



Rys. 6.12. Pomiarowe średnie stężenia metanu z dolną i górną granicą prognozy dla ściany 3

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że w 60 przypadkach na 64 prognozowane średnie stężenie metanu znajdowało się w granicach prognozy. W trzech przypadkach na 64 wartości pomiarowe były niższe od dolnej granicy prognozy, natomiast w jednym przypadku na 64 wartości pomiarowe były większe od górnej granicy prognozy.

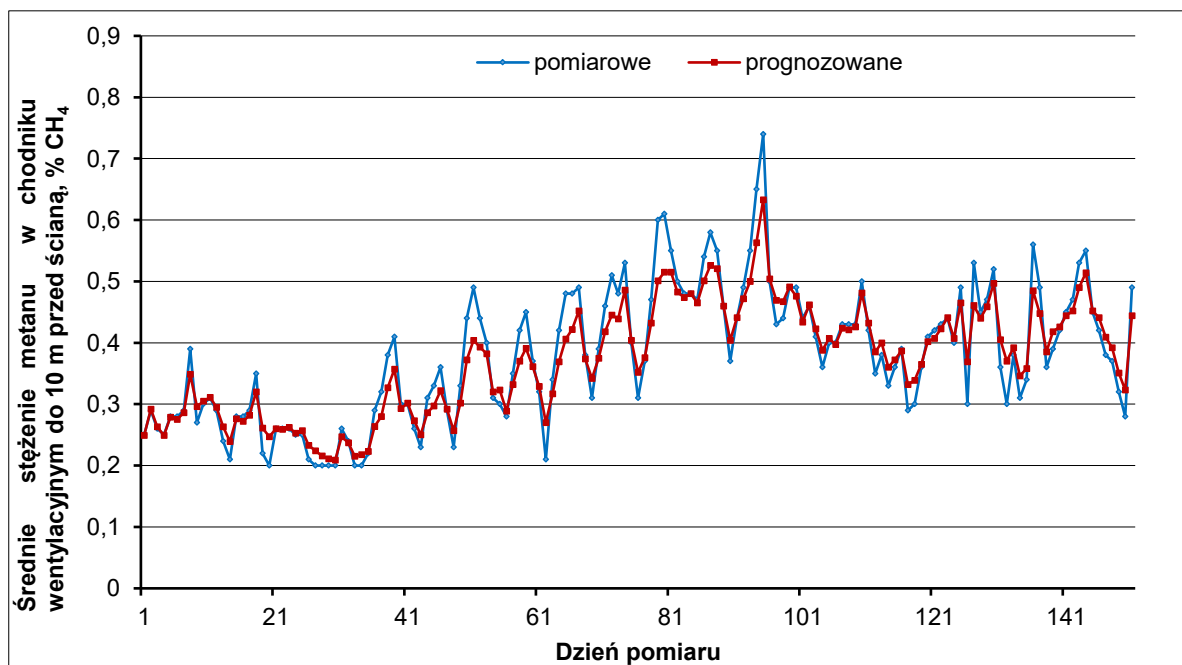
Rysunek 6.13 przedstawia wykres pomiarowych maksymalnych stężeń metanu z górną granicą prognozy dla ściany 3. Obliczenia wykazały, że w żadnym przypadku wartości stężenia pomiarowego nie przekroczyły górnej granicy prognozy.



Rys. 6.13. Pomiarowe maksymalne stężenia metanu z górną granicą prognozy dla ściany 3

6.4.4. Prognoza średniego i maksymalnego stężenia metanu w chodniku wentylacyjnym do 10 m przed ścianą 4

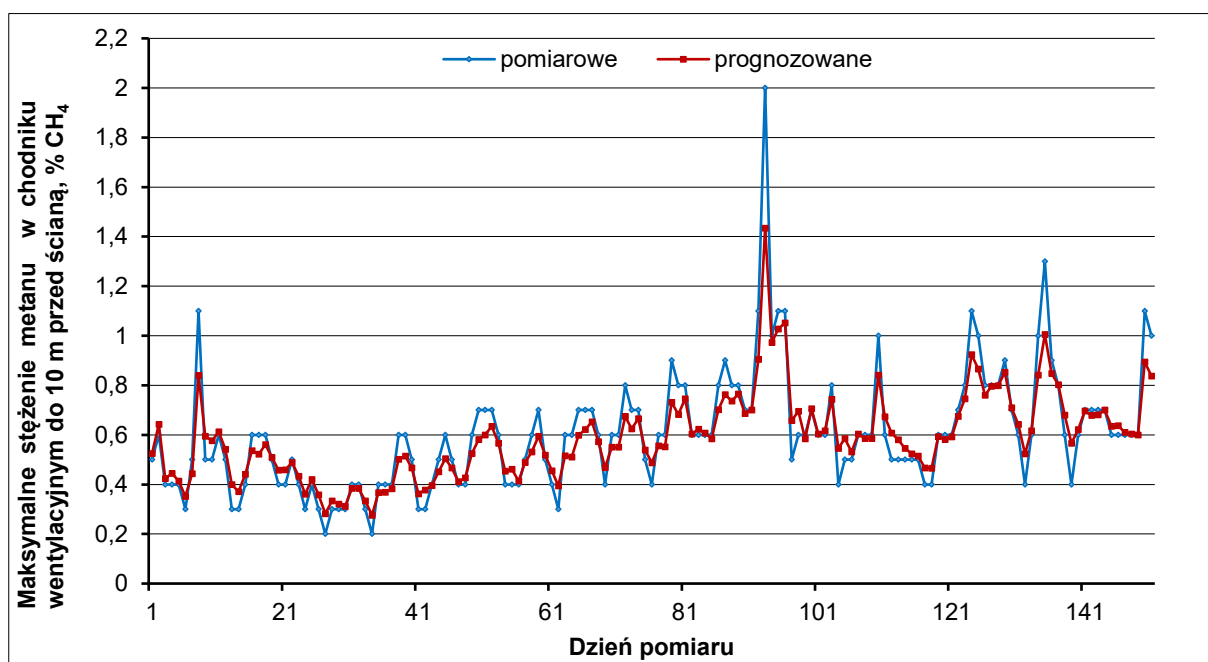
Na rysunku 6.14 przedstawiono pomiarowe i prognozowane średnie stężenia metanu w chodniku wentylacyjnym do 10 m przed ścianą 4 w okresie 151 dni.



Rys. 6.14. Pomiarowe i prognozowane średnie stężenia metanu dla ściany 4

Z wykonanych obliczeń wynika, że w 78 przypadkach wartości pomiarowe średniego stężenia metanu przekroczyły wartości średniego stężenia prognozowanego, natomiast w 70 przypadkach wartości pomiarowe średniego stężenia metanu były niższe od wartości średniego stężenia prognozowanego. W trzech przypadkach wartość pomiarowa była równa wartości prognozowanej. Suma średniego stężenia pomiarowego w okresie obserwacji, wynosząca 57,21% CH₄, była wyższa od sumy średniego stężenia prognozowanego, wynoszącej 56,19% CH₄. Wyniki wskazują, że prognoza została wykonana z nieznacznym niedomiarem. Współczynnik korelacji między pomiarowym i prognozowanym średnim stężeniem metanu wynosił 0,96, natomiast wartość współczynnika R^2 była równa 0,92.

Na rysunku 6.15 przedstawiono pomiarowe i prognozowane maksymalne stężenia metanu w chodniku wentylacyjnym do 10 m przed ścianą 4 w okresie 151 dni.

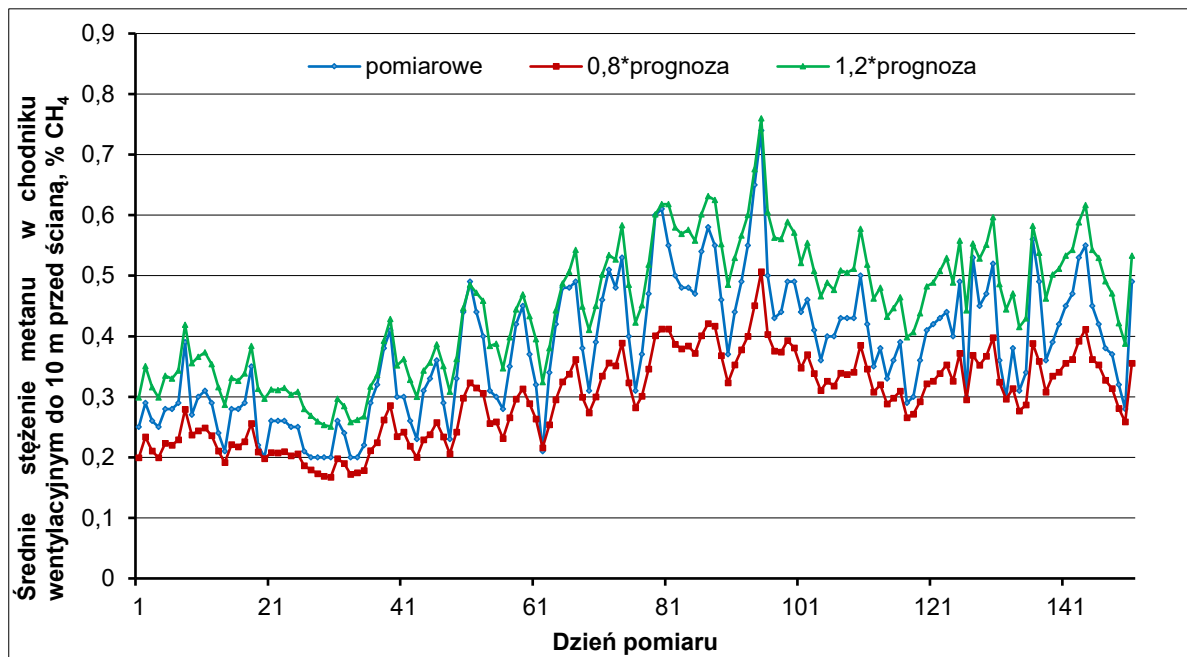


Rys. 6.15. Pomiarowe i prognozowane maksymalne stężenia metanu dla ściany 4

Z wykonanych obliczeń wynika, że w 77 przypadkach wartości pomiarowe maksymalnego stężenia metanu przekroczyły wartości maksymalnego stężenia prognozowanego, natomiast w 73 przypadkach wartości pomiarowe maksymalnego stężenia metanu były niższe od wartości maksymalnego stężenia prognozowanego. W jednym przypadku wartość pomiarowa była równa wartości prognozowanej. Suma maksymalnego stężenia pomiarowego w okresie obserwacji, wynosząca 91,20% CH₄, była wyższa od sumy maksymalnego stężenia prognozowanego,

wynoszącej 88,89% CH₄. Wyniki wskazują, że prognoza została wykonana z nieznacznym niedomiarem. Współczynnik korelacji między pomiarowym i prognozowanym maksymalnym stężeniem metanu wynosił 0,96, natomiast wartość współczynnika R^2 była równa 0,91.

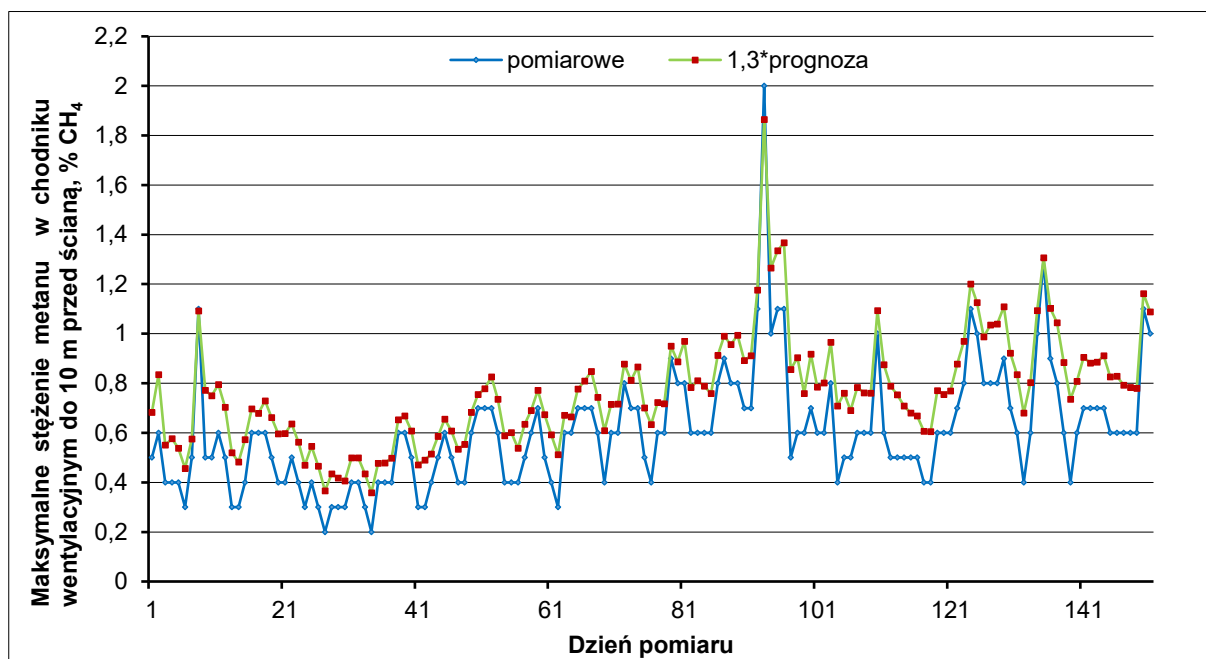
Rysunek 6.16 przedstawia wykres pomiarowych średnich stężeń metanu z dolną i górną granicą prognozy dla ściany 4.



Rys. 6.16. Pomiarowe średnie stężenia metanu z dolną i górną granicą prognozy dla ściany 4

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że w 149 przypadkach na 151 prognozowane średnie stężenie metanu znajdowało się w granicach prognozy. W jednym przypadku na 151 wartości pomiarowe były niższe od dolnej granicy prognozy i w jednym przypadku wartości pomiarowe były większe od górnej granicy prognozy.

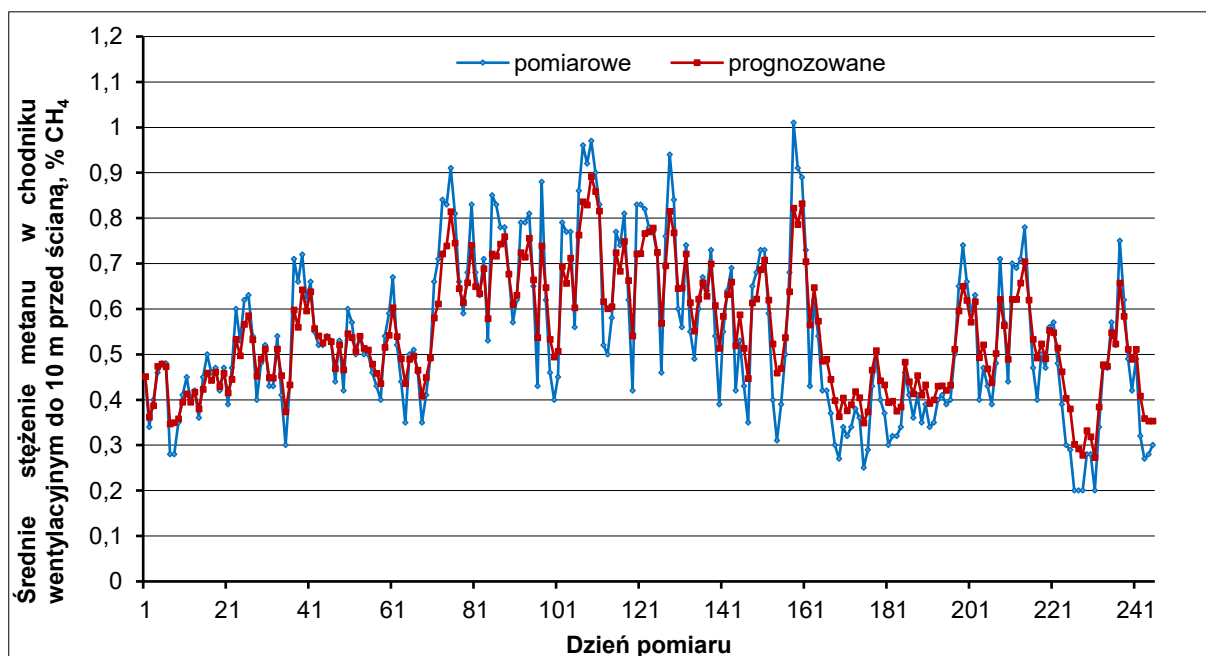
Rysunek 6.17 przedstawia wykres pomiarowych maksymalnych stężeń metanu z górną granicą prognozy dla ściany 4. Obliczenia wykazały, że tylko w dwóch przypadkach z 151 analizowanych wartości stężenia pomiarowego przekraczały górną granicę prognozy.



Rys. 6.17. Pomiarowe maksymalne stężenia metanu z górną granicą prognozy dla ściany 4

6.4.5. Prognoza średniego i maksymalnego stężenia metanu w chodniku wentylacyjnym do 10 m przed ścianą 5

Na rysunku 6.18 przedstawiono pomiarowe i prognozowane średnie stężenia metanu w chodniku wentylacyjnym do 10 m przed ścianą 5 w okresie 246 dni.

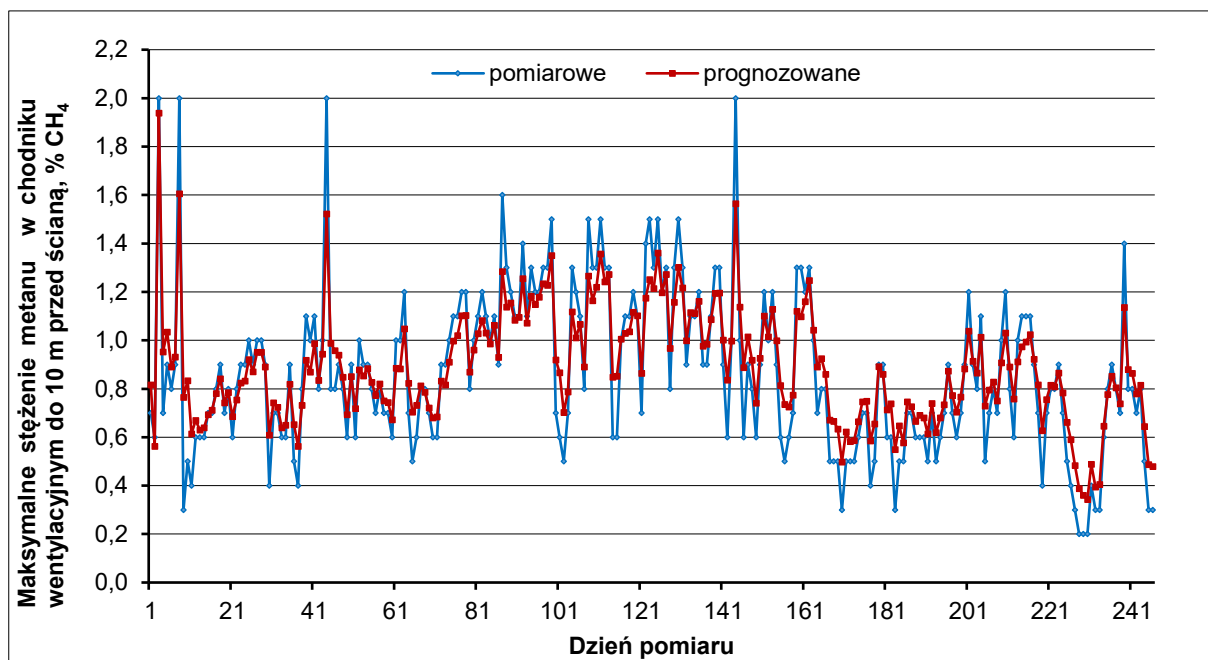


Rys. 6.18. Pomiarowe i prognozowane średnie stężenia metanu dla ściany 5

Z wykonanych obliczeń wynika, że w 106 przypadkach wartości pomiarowe średniego stężenia metanu przekroczyły wartości średniego stężenia prognozowanego, natomiast w 138 przypadkach wartości pomiarowe średniego

stężenia metanu były niższe od wartości średniego stężenia prognozowanego. W dwóch przypadkach wartość pomiarowa była równa wartości prognozowanej. Suma średniego stężenia pomiarowego w okresie obserwacji, wynosząca 132,18% CH₄ była niższa od sumy średniego stężenia prognozowanego, wynoszącej 133,73% CH₄. Wyniki wskazują, że prognoza została wykonana z nieznacznym nadmiarem. Współczynnik korelacji między pomiarowym i prognozowanym średnim stężeniem metanu wyniósł 0,97, natomiast wartość współczynnika R^2 była równa 0,93.

Na rysunku 6.19 przedstawiono pomiarowe i prognozowane maksymalne stężenia metanu w chodniku wentylacyjnym do 10 m przed ścianą 5 w okresie 246 dni.

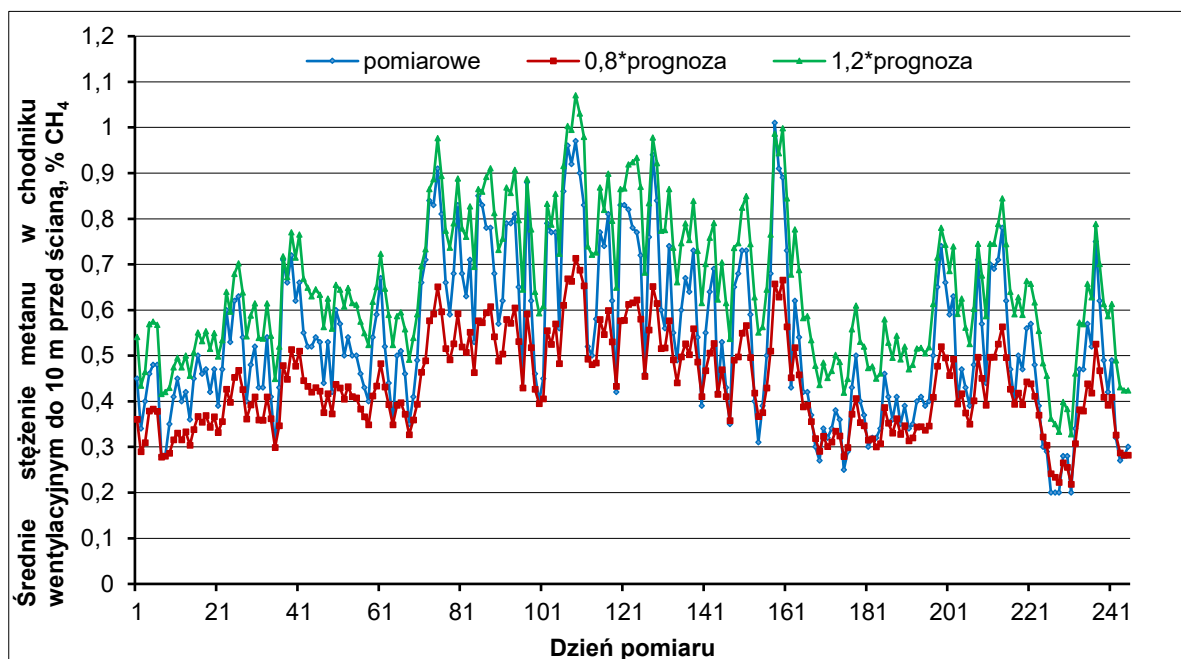


Rys. 6.19. Pomiarowe i prognozowane maksymalne stężenia metanu dla ściany 5

Z wykonanych obliczeń wynika, że w 105 przypadkach wartości pomiarowe maksymalnego stężenia metanu przekroczyły wartości maksymalnego stężenia prognozowanego, natomiast w 141 przypadkach wartości pomiarowe maksymalnego stężenia metanu były niższe od wartości maksymalnego stężenia prognozowanego. Suma maksymalnego stężenia pomiarowego w okresie obserwacji, wynosząca 213,00% CH₄ była niższa od sumy maksymalnego stężenia prognozowanego wynoszącej 218,14% CH₄. Z powyższego wynika, że prognoza została wykonana z nadmiarem. Współczynnik korelacji między pomiarowym

i prognozowanym maksymalnym stężeniem metanu wyniósł 0,96, natomiast wartość współczynnika R^2 była równa 0,91.

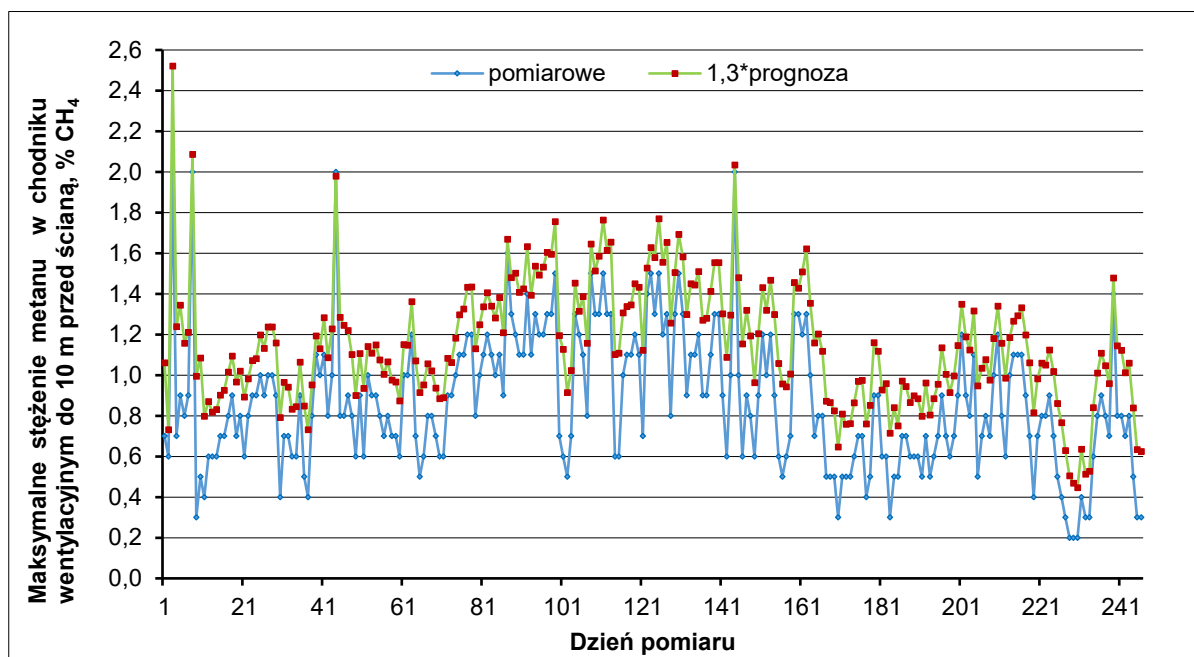
Rysunek 6.20 przedstawia wykres pomiarowych średnich stężeń metanu z dolną i górną granicą prognozy dla ściany 5.



Rys. 6.20. Pomiarowe średnie stężenia metanu z dolną i górną granicą prognozy dla ściany 5

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że w 225 przypadkach na 246 prognozowane średnie stężenia metanu znajdowały się w granicach prognozy. W 20 przypadkach wartości pomiarowe były niższe od dolnej granicy prognozy, natomiast w jednym przypadku wartości pomiarowe były większe od górnej granicy prognozy.

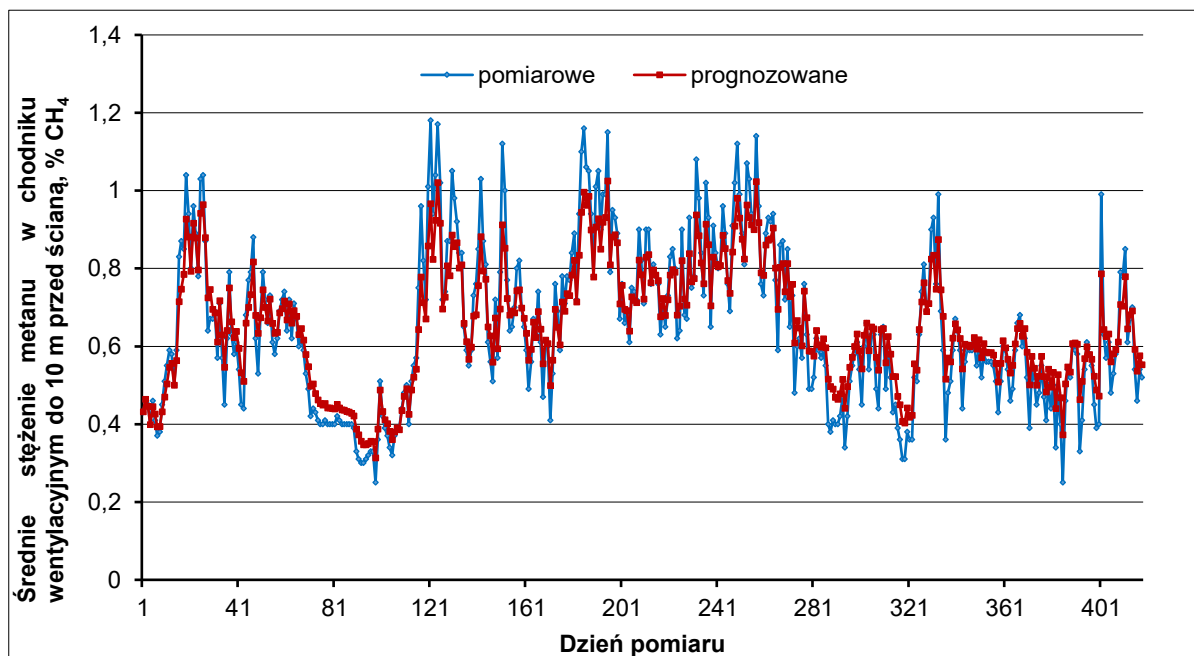
Rysunek 6.21 przedstawia wykres pomiarowych maksymalnych stężeń metanu z górną granicą prognozy dla ściany 5. Obliczenia wykazały, że tylko w jednym przypadku na 246 wartości stężenia pomiarowego przekroczyły górną granicę prognozy.



Rys. 6.21. Pomiarowe maksymalne stężenia metanu z górną granicą prognozy dla ściany 5

6.4.6. Prognoza średniego i maksymalnego stężenia metanu w chodniku wentylacyjnym do 10 m przed ścianą 6

Na rysunku 6.22 przedstawiono pomiarowe i prognozowane średnie stężenia metanu w chodniku wentylacyjnym do 10 m przed ścianą 6 w okresie 419 dni.

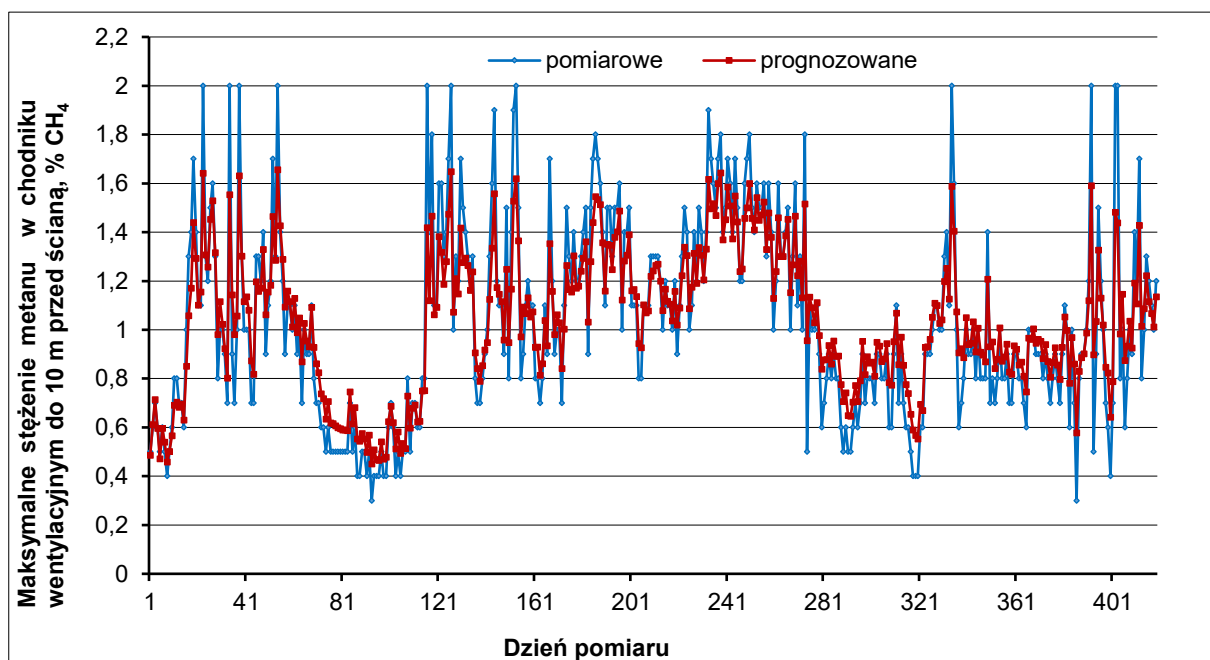


Rys. 6.22. Pomiarowe i prognozowane średnie stężenia metanu dla ściany 6

Z wykonanych obliczeń wynika, że w 165 przypadkach wartości pomiarowe średniego stężenia metanu przekroczyły wartości średniego stężenia

prognozowanego, natomiast w 249 przypadkach wartości pomiarowe średniego stężenia metanu były niższe od wartości średniego stężenia prognozowanego. W czterech przypadkach wartość pomiarowa była równa wartości prognozowanej. Suma średniego stężenia pomiarowego w okresie obserwacji, wynosząca 270,92% CH₄, była niższa od sumy średniego stężenia prognozowanego, wynoszącej 272,15% CH₄. Wyniki wskazują, że prognoza została wykonana z nieznacznym nadmiarem. Współczynnik korelacji między pomiarowym i prognozowanym średnim stężeniem metanu wyniósł 0,98, natomiast wartość współczynnika R^2 była równa 0,95.

Na rysunku 6.23 przedstawiono pomiarowe i prognozowane maksymalne stężenia metanu w chodniku wentylacyjnym do 10 m przed ścianą 6 w okresie 419 dni.

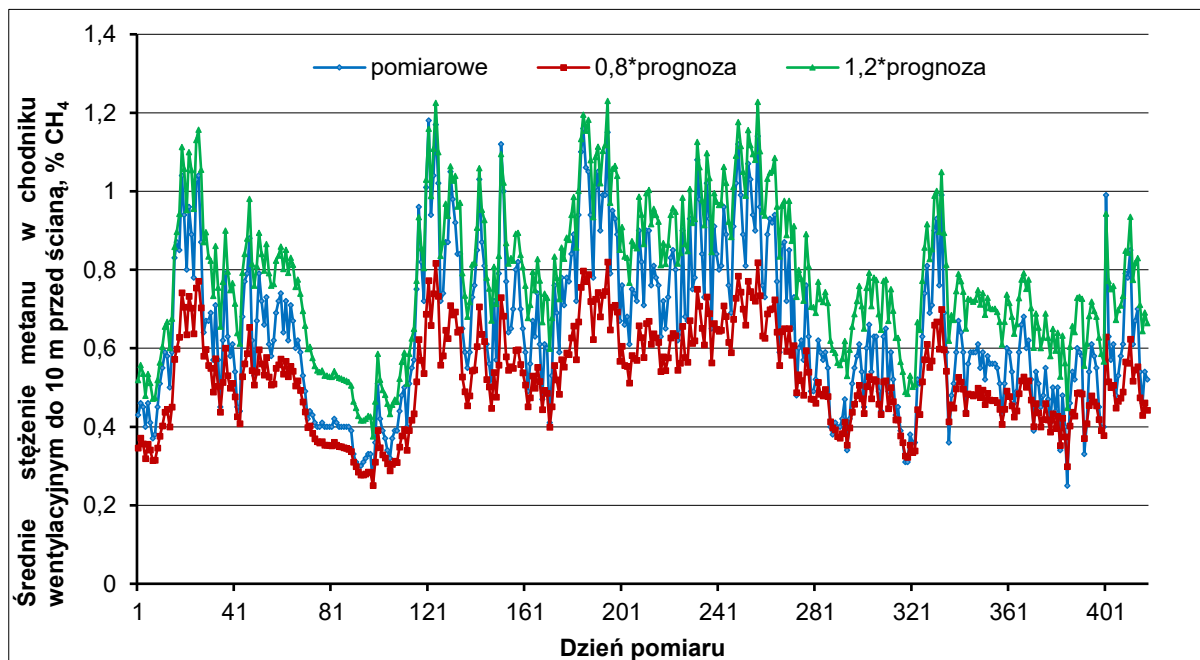


Rys. 6.23. Pomiarowe i prognozowane maksymalne stężenia metanu dla ściany 6

Z wykonanych obliczeń wynika, że w 169 przypadkach wartości pomiarowe maksymalnego stężenia metanu przekroczyły wartości maksymalnego stężenia prognozowanego, natomiast w 248 przypadkach wartości pomiarowe maksymalnego stężenia metanu były niższe od wartości maksymalnego stężenia prognozowanego. W dwóch przypadkach wartość pomiarowa była równa wartości prognozowanej. Suma maksymalnego stężenia pomiarowego w okresie obserwacji, wynosząca 432,80% CH₄, była niższa od sumy maksymalnego stężenia prognozowanego, wynoszącej 434,22% CH₄. Wyniki wskazują, że prognoza została wykonana z nieznacznym nadmiarem. Współczynnik korelacji pomiędzy

pomiarowym i prognozowanym maksymalnym stężeniem metanu wyniósł 0,96, natomiast wartość współczynnika R^2 była równa 0,93.

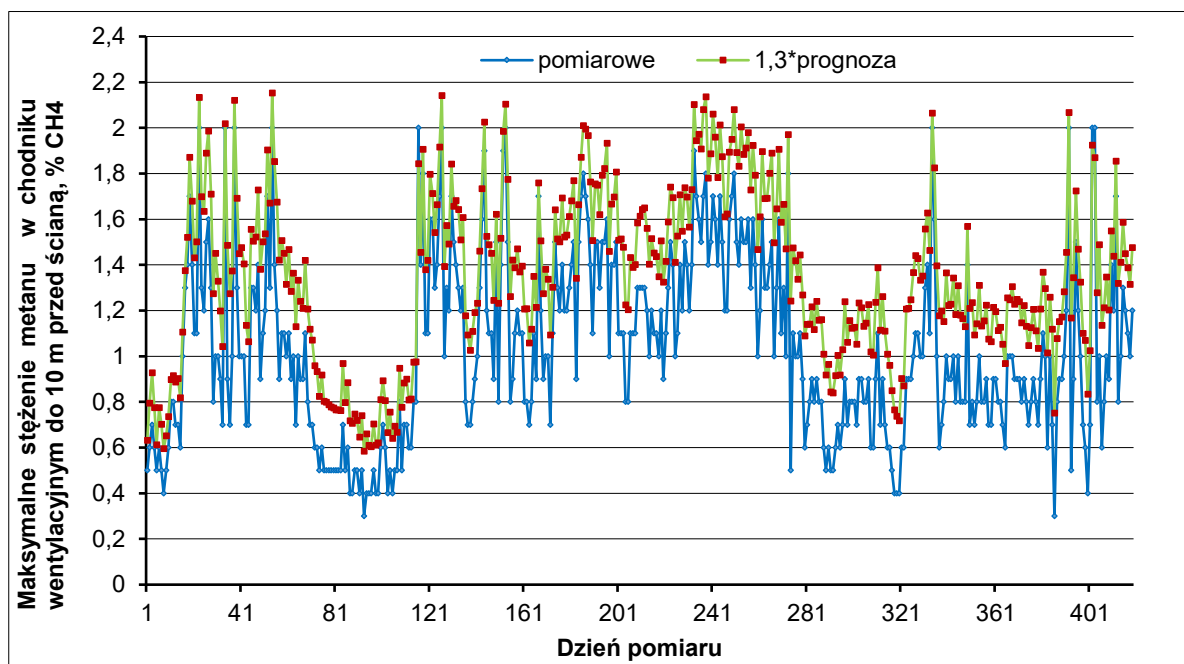
Rysunek 6.24 przedstawia wykres pomiarowych średnich stężeń metanu z dolną i górną granicą prognozy dla ściany 6.



Rys. 6.24. Pomiarowe średnie stężenia metanu z dolną i górną granicą prognozy dla ściany 6

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że w 402 przypadkach na 419 prognozowane średnie stężenie metanu znajdowało się w granicach prognozy. W 13 przypadkach wartości pomiarowe były niższe od dolnej granicy prognozy, natomiast w czterech przypadkach wartości pomiarowe były większe od górnej granicy prognozy.

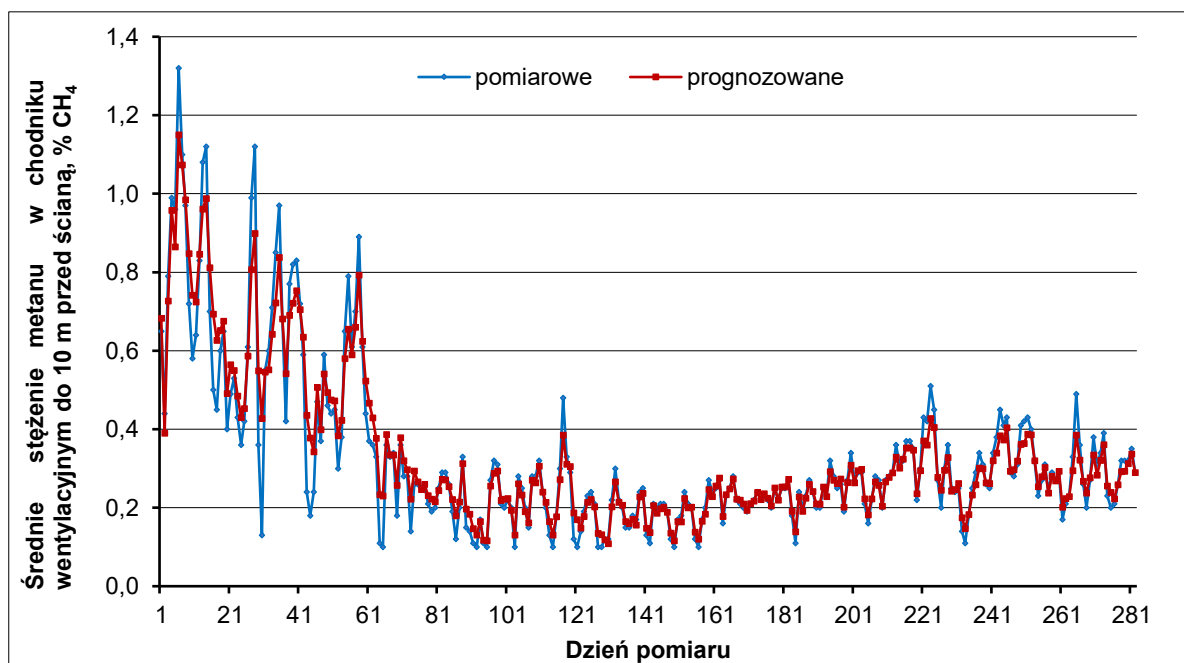
Rysunek 6.25 przedstawia wykres pomiarowych maksymalnych stężeń metanu z górną granicą prognozy dla ściany 6. Obliczenia wykazały, że tylko w trzech przypadkach na 419, wartości stężenia pomiarowego przekraczały górną granicę prognozy.



Rys. 6.25. Pomiarowe maksymalne stężenia metanu z górną granicą prognozy dla ściany 6

6.4.7. Prognoza średniego i maksymalnego stężenia metanu w chodniku wentylacyjnym do 10 m przed ścianą 7

Na rysunku 6.26 przedstawiono pomiarowe i prognozowane średnie stężenia metanu w chodniku wentylacyjnym do 10 m przed ścianą 7 w okresie 282 dni.

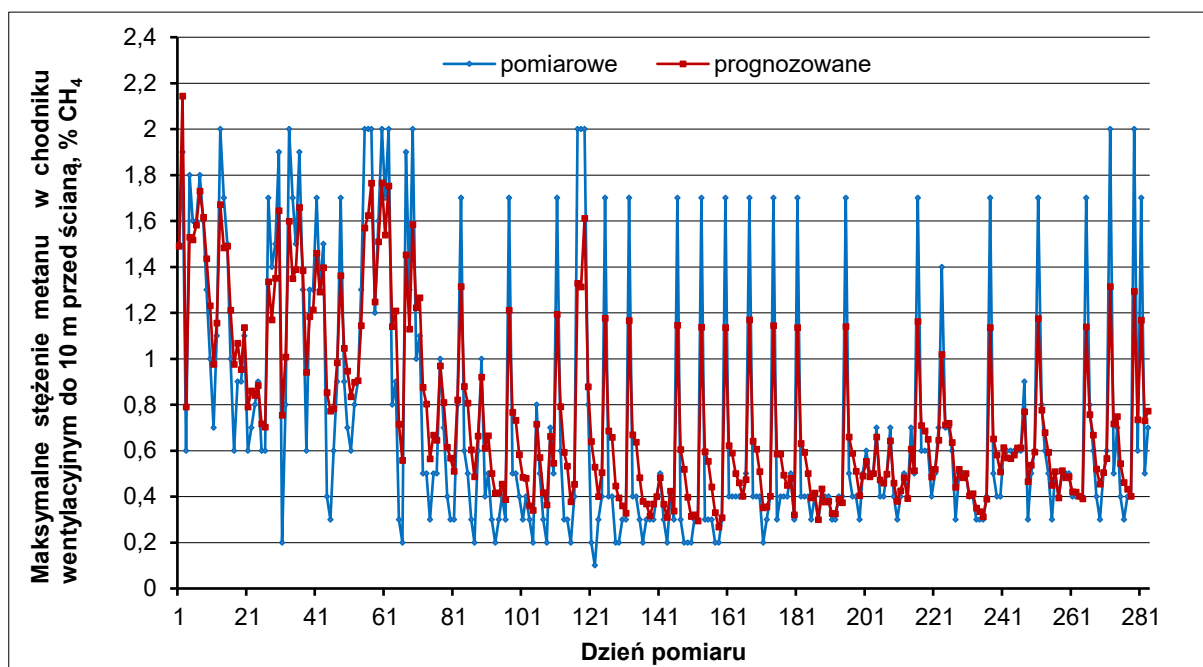


Rys. 6.26. Pomiarowe i prognozowane średnie stężenia metanu dla ściany 7

Z wykonanych obliczeń wynika, że w 136 przypadkach wartości pomiarowe średniego stężenia metanu przekroczyły wartości średniego stężenia

prognozowanego, natomiast w 141 przypadkach wartości pomiarowe średniego stężenia metanu były niższe od wartości średniego stężenia prognozowanego. W pięciu przypadkach wartość pomiarowa była równa wartości prognozowanej. Suma średniego stężenia pomiarowego w okresie obserwacji, wynosząca 93,35% CH₄, była niższa od sumy średniego stężenia prognozowanego, wynoszącej 94,33% CH₄. Wyniki wskazują, że prognoza została wykonana z nieznacznym nadmiarem. Współczynnik korelacji między pomiarowym i prognozowanym średnim stężeniem metanu wyniósł 0,97, natomiast wartość współczynnika R^2 była równa 0,93.

Na rysunku 6.27 przedstawiono pomiarowe i prognozowane maksymalne stężenia metanu w chodniku wentylacyjnym do 10 m przed ścianą 7 w okresie 282 dni.

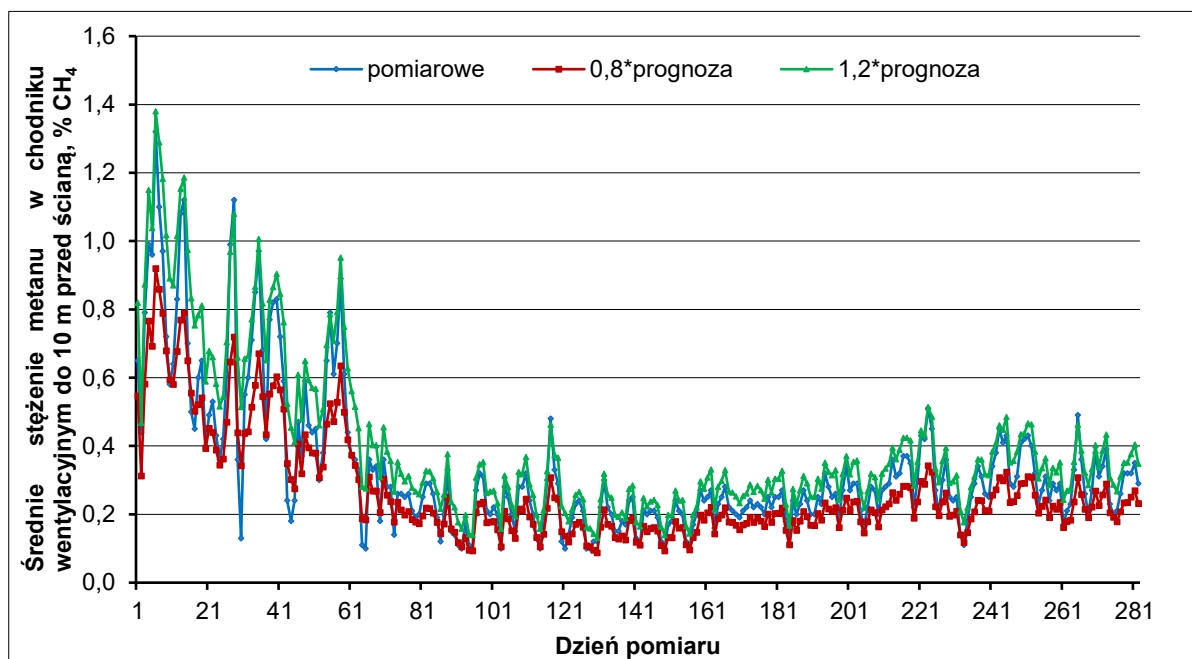


Rys. 6.27. Pomiarowe i prognozowane maksymalne stężenia metanu dla ściany 7

Z wykonanych obliczeń wynika, że w 93 przypadkach wartości pomiarowe maksymalnego stężenia metanu przekroczyły wartości maksymalnego stężenia prognozowanego, natomiast w 188 przypadkach wartości pomiarowe maksymalnego stężenia metanu były niższe od wartości maksymalnego stężenia prognozowanego. W dwóch przypadkach wartość pomiarowa była równa wartości prognozowanej. Suma maksymalnego stężenia pomiarowego w okresie obserwacji, wynosząca 208,90% CH₄, była niższa od sumy maksymalnego stężenia prognozowanego, wynoszącej 214,68% CH₄. Wyniki wskazują, że prognoza została wykonana z nadmiarem. Współczynnik korelacji między pomiarowym

i prognozowanym maksymalnym stężeniem metanu wyniósł 0,93, natomiast wartość współczynnika R^2 była równa 0,86.

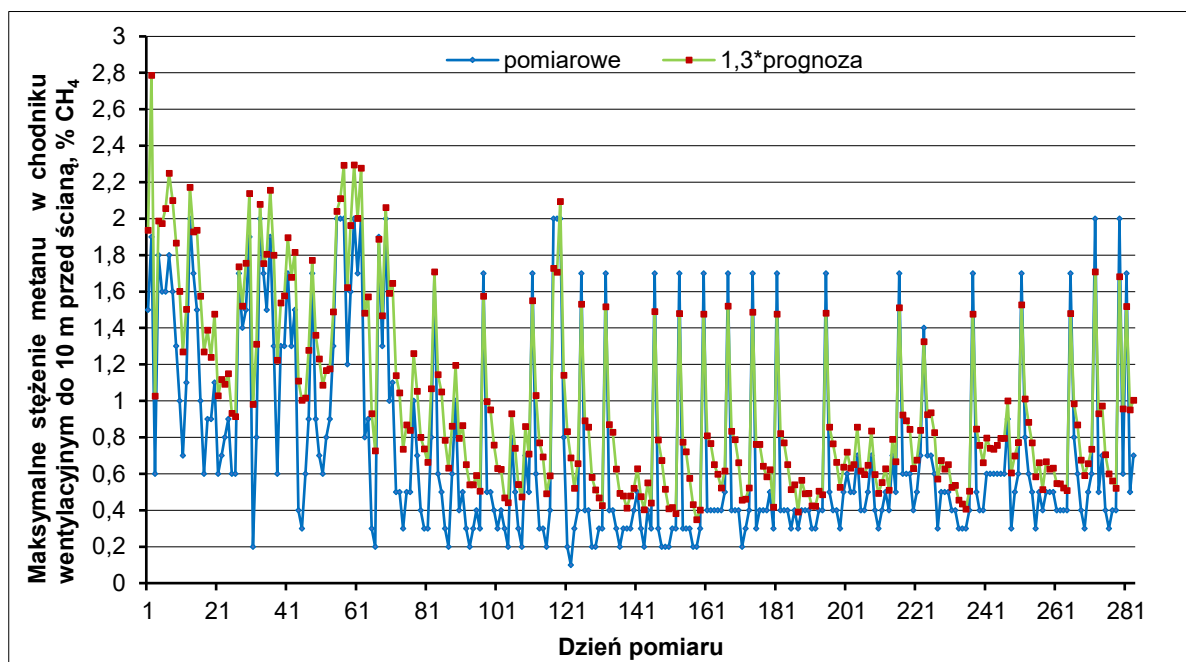
Rysunek 6.28 przedstawia wykres pomiarowych średnich stężeń metanu z dolną i górną granicą prognozy dla ściany 7.



Rys. 6.28. Pomiarowe średnie stężenia metanu z dolną i górną granicą prognozy dla ściany 7

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że w 248 przypadkach na 282 prognozowane średnie stężenia metanu znajdowały się w granicach prognozy. W 29 przypadkach wartości pomiarowe były niższe od dolnej granicy prognozy, natomiast w pięciu przypadkach wartości pomiarowe były większe od górnej granicy prognozy.

Rysunek 6.29 przedstawia wykres pomiarowych maksymalnych stężeń metanu z górną granicą prognozy dla ściany 7. Obliczenia wykazały, że tylko w 22 przypadkach na 282, wartości stężenia pomiarowego przekraczały górną granicę prognozy.



Rys. 6.29. Pomiarowe maksymalne stężenia metanu z górną granicą prognozy dla ściany 7

6.5. Wyniki pomiarów i prognoz otrzymanych z wykorzystaniem metody autorskiej oraz analiza błędów

Dla zachowania kompletności i przejrzystości pracy, wyniki otrzymane z wykorzystaniem bazowej metody badawczej zostały przedstawione w formie tabelarycznej oraz graficznej.

6.5.1. Wartości pomiarowe oraz prognozowane średniego i maksymalnego stężenia metanu dla ściany 1

W tabeli 6.3 przedstawiono parametry statystyczne charakteryzujące średnie i maksymalne stężenia metanu w omawianym miejscu.

Tabela 6.3. Zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary i prognozy dla ściany 1

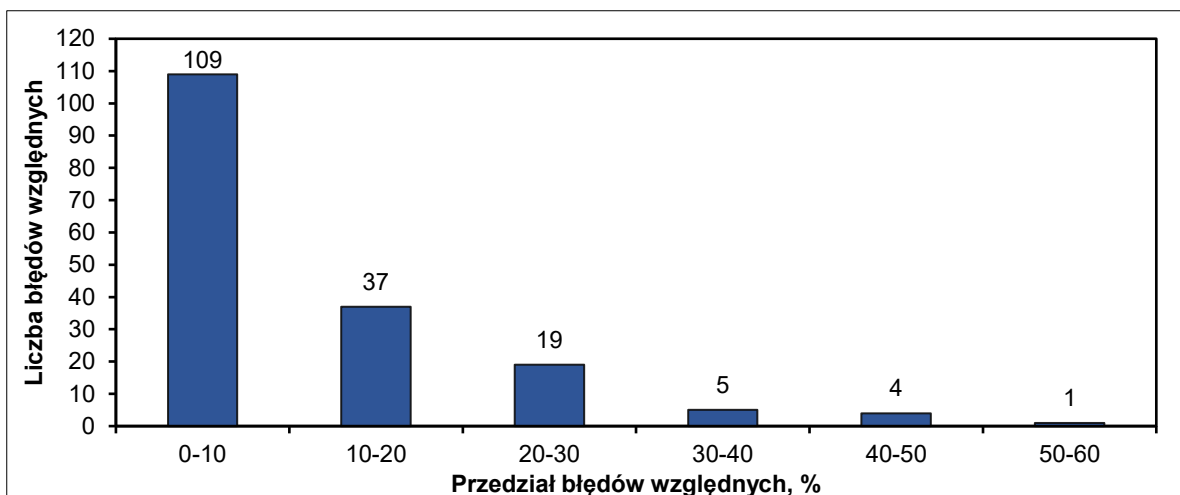
| Parametr statystyczny | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości | |
|--|--|----------|---|----------|
| | pomiary | prognoza | pomiary | prognoza |
| Średnia, % CH ₄ | 0,48 | 0,48 | 0,83 | 0,85 |
| Mediana, % CH ₄ | 0,46 | 0,48 | 0,80 | 0,85 |
| Percentyl 0,75, % CH ₄ | 0,57 | 0,55 | 1,00 | 0,97 |
| Percentyl 0,90, % CH ₄ | 0,68 | 0,62 | 1,30 | 1,11 |
| Minimum, % CH ₄ | 0,19 | 0,23 | 0,20 | 0,32 |
| Maksimum, % CH ₄ | 1,01 | 0,76 | 1,80 | 1,43 |
| Rozstęp (zakres), % CH ₄ | 0,82 | 0,53 | 1,60 | 1,11 |
| Odchylenie standardowe, % | 0,15 | 0,10 | 0,32 | 0,20 |
| Współczynnik zmienności, % | 31,01 | 20,82 | 37,92 | 19,76 |
| Suma stężeń dobowych, % CH ₄ | 84,10 | 84,60 | 146,10 | 148,40 |
| Suma błędów bezwzględnych, % CH ₄ | 7,87 | | 19,37 | |
| Suma błędów względnych, % | 1 870,31 | | 2 838,47 | |
| Suma <i>r</i> , % CH ₄ | 0,59 | | 3,59 | |
| Współczynnik <i>R</i> ² | 0,93 | | 0,90 | |
| Korelacja liniowa Pearsona | 0,97 | | 0,95 | |

W tabeli 6.4 przedstawiono rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 1.

Tabela 6.4. Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 1

| Przedział błędu, % | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości |
|--------------------|--|---|
| | Liczba błędów | Liczba błędów |
| 0 – 10 | 109 | 80 |
| 10 – 20 | 37 | 50 |
| 20 – 30 | 19 | 21 |
| 30 – 40 | 5 | 5 |
| 40 – 50 | 4 | 8 |
| 50 – 60 | 1 | 3 |
| 60 – 70 | 0 | 4 |
| 70 – 80 | 0 | 1 |
| > 80 | 0 | 3 |
| | Σ175 | Σ175 |

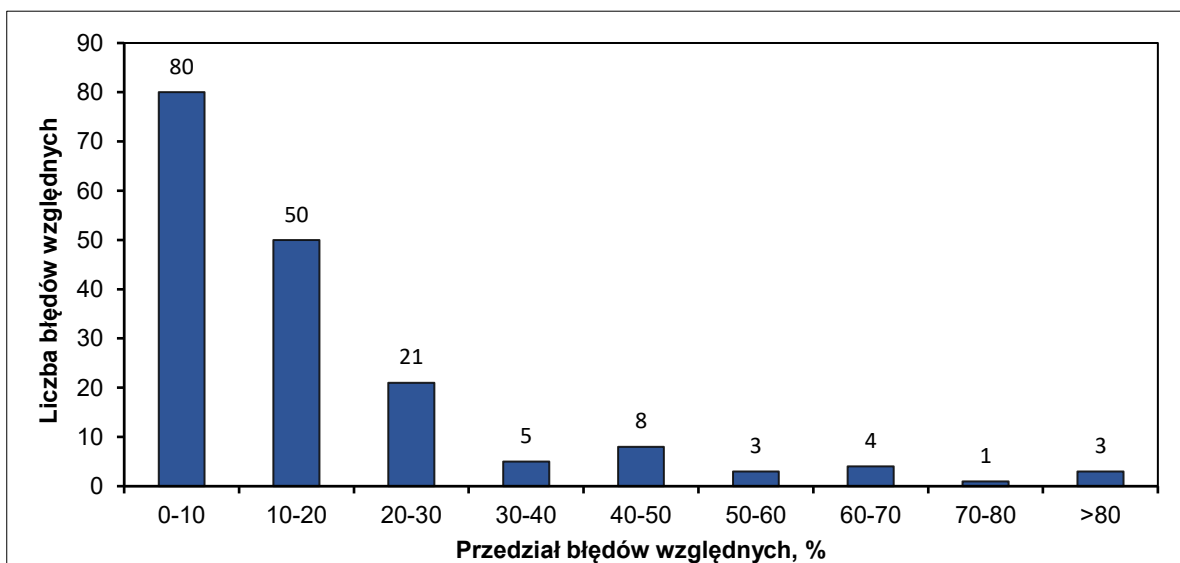
Rysunek 6.30 przedstawia rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 1.



Rys. 6.30. Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 1

Przez 109 dni pomiarowych obserwowano błąd względny w przedziale 0–10%, przez 37 dni w przedziale 10–20%, a przez 19 w przedziale 20–30%. W pozostałych badanych 10 dniach błąd względny przekraczał 30%.

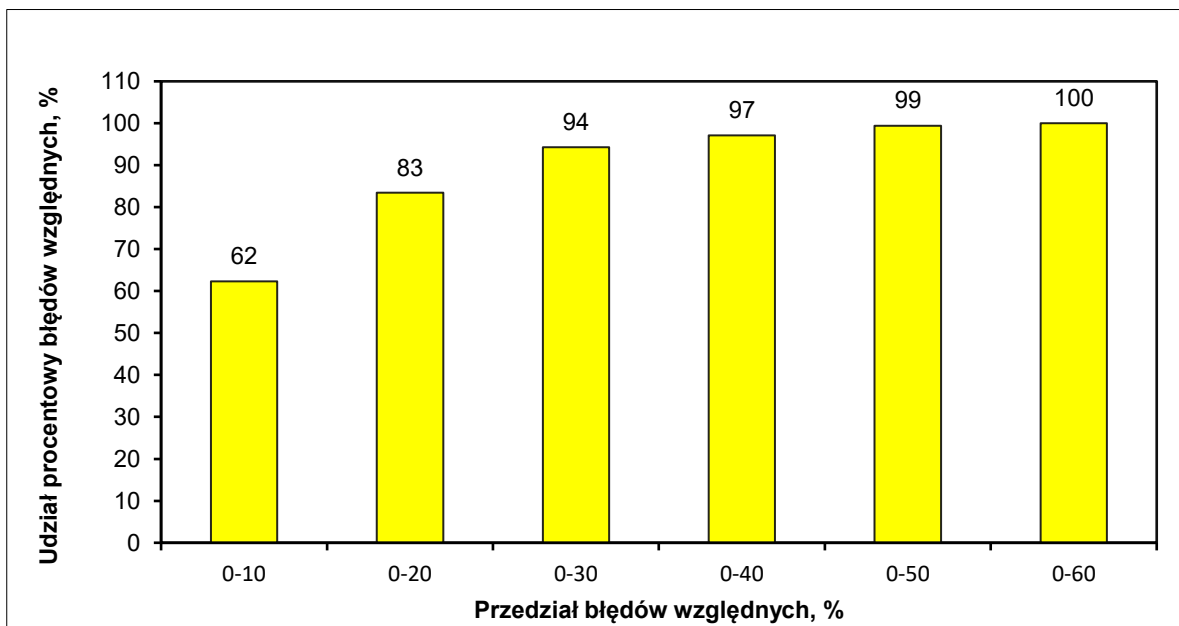
Rysunek 6.31 przedstawia rozkład liczby błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 1.



Rys. 6.31. Rozkład liczby błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 1

Przez 80 dni pomiarowe obserwowano błąd względny w przedziale 0–10%, przez 50 dni w przedziale 10–20%, a przez 21 dni w przedziale 20–30%. W pozostałych badanych 24 dniach błąd względny przekraczał 30%.

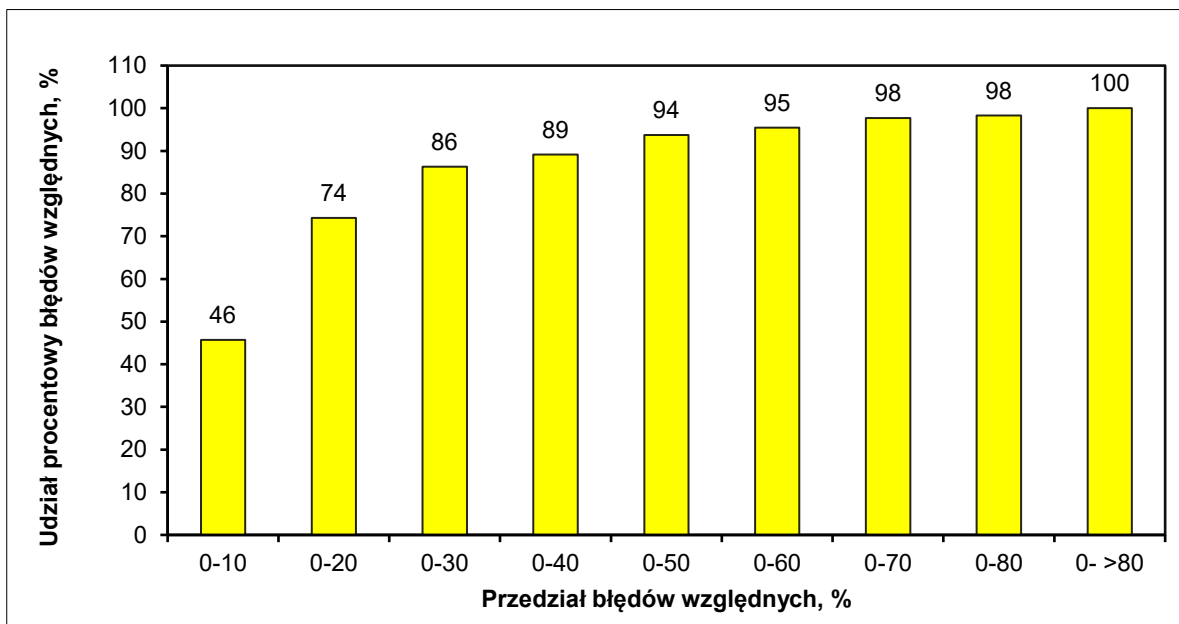
Rysunek 6.32 przedstawia udział procentowy błędów względnych dla prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 1.



Rys. 6.32. Udział procentowy błędów względnych dla prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 1 w przedziałach wartości błędów

Wykres (rys. 6.32) pokazuje, że dla 62% dni pomiarowych błąd względny prognoz nie przekraczał 10%, a dla 94% nie przekraczał 30%.

Rysunek 6.33 przedstawia udział procentowy błędów względnych dla prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 1.



Rys. 6.33. Udział procentowy błędów względnych dla prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 1 w przedziałach wartości błędów

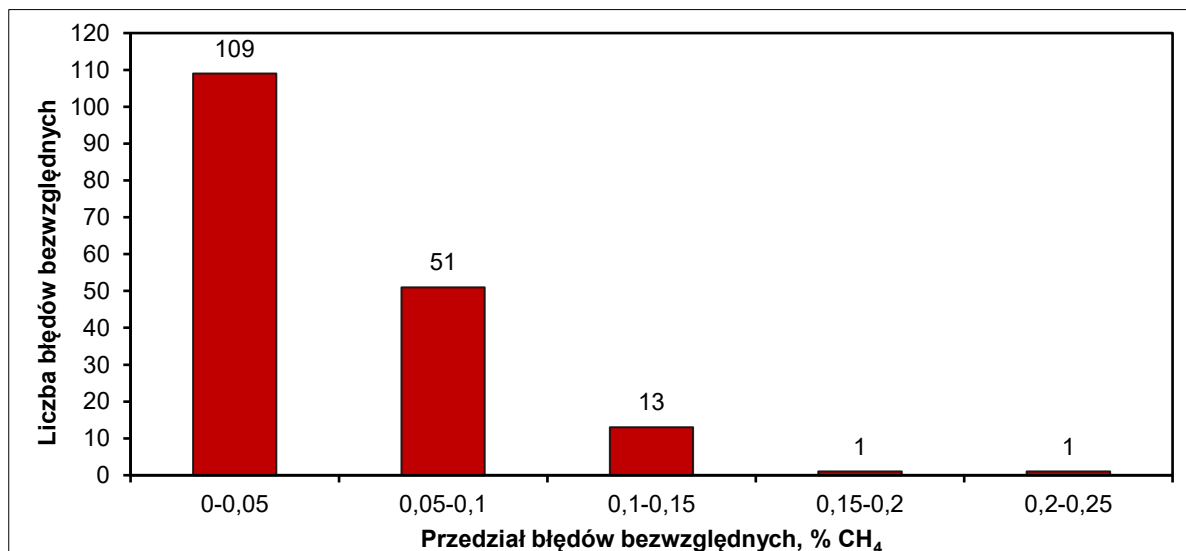
Wykres (rys.6.33) pokazuje, że dla 46% dni pomiarowych błąd względny prognozy nie przekraczał 10%, a dla 86% dni pomiarowych nie przekraczał 30%.

W tabeli 6.5 przedstawiono rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 1.

Tabela 6.5. Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 1

| Przedział błędu, % CH ₄ | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości |
|------------------------------------|--|---|
| | Liczba błędów | Liczba błędów |
| 0 – 0,05 | 109 | 50 |
| 0,05 – 0,10 | 51 | 43 |
| 0,10 – 0,15 | 13 | 39 |
| 0,15 – 0,20 | 1 | 15 |
| 0,20 – 0,25 | 1 | 12 |
| 0,25 – 0,30 | 0 | 7 |
| 0,30 – 0,35 | 0 | 3 |
| 0,35 – 0,40 | 0 | 4 |
| 0,40 – 0,45 | 0 | 1 |
| 0,45 – 0,50 | 0 | 1 |
| | Σ175 | Σ175 |

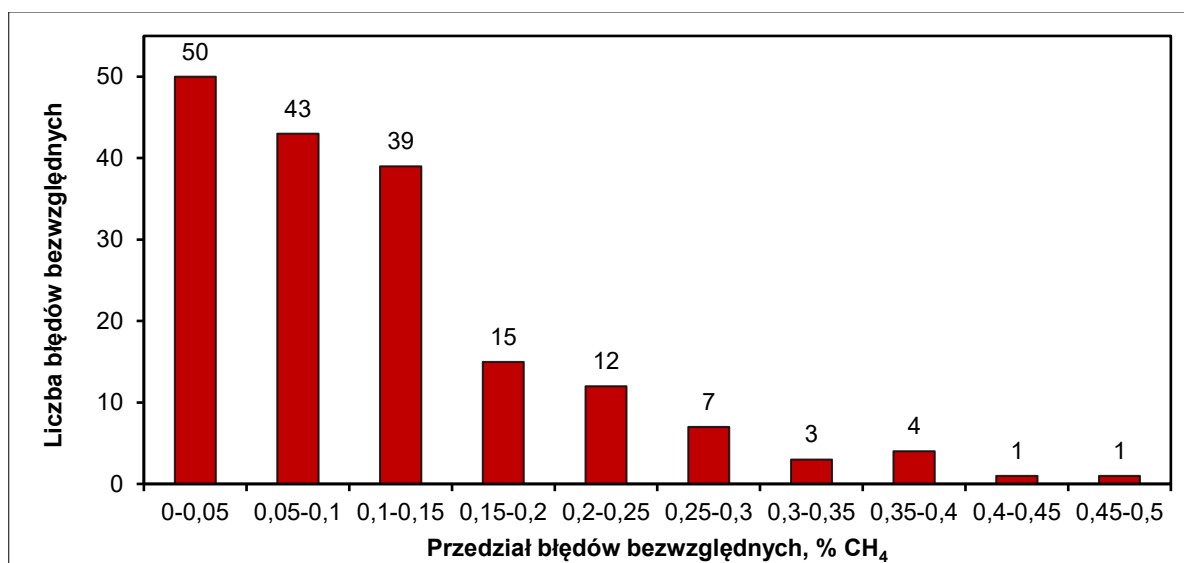
Rysunek 6.34 przedstawia rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średniego stężenia metanu dla ściany 1.



Rys. 6.34. Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 1

Przez 109 dni pomiarowe błąd bezwzględny mieścił się w przedziale 0–0,05%, przez 51 dni pomiarowych był w przedziale 0,05–0,10%, przez 13 dni pomiarowe był w przedziale 0,10–0,15%, przez jeden dzień pomiarowy wynosił 0,15–0,20%. Tylko przez jeden dzień pomiarowy poziom błędu przekraczał 0,20%.

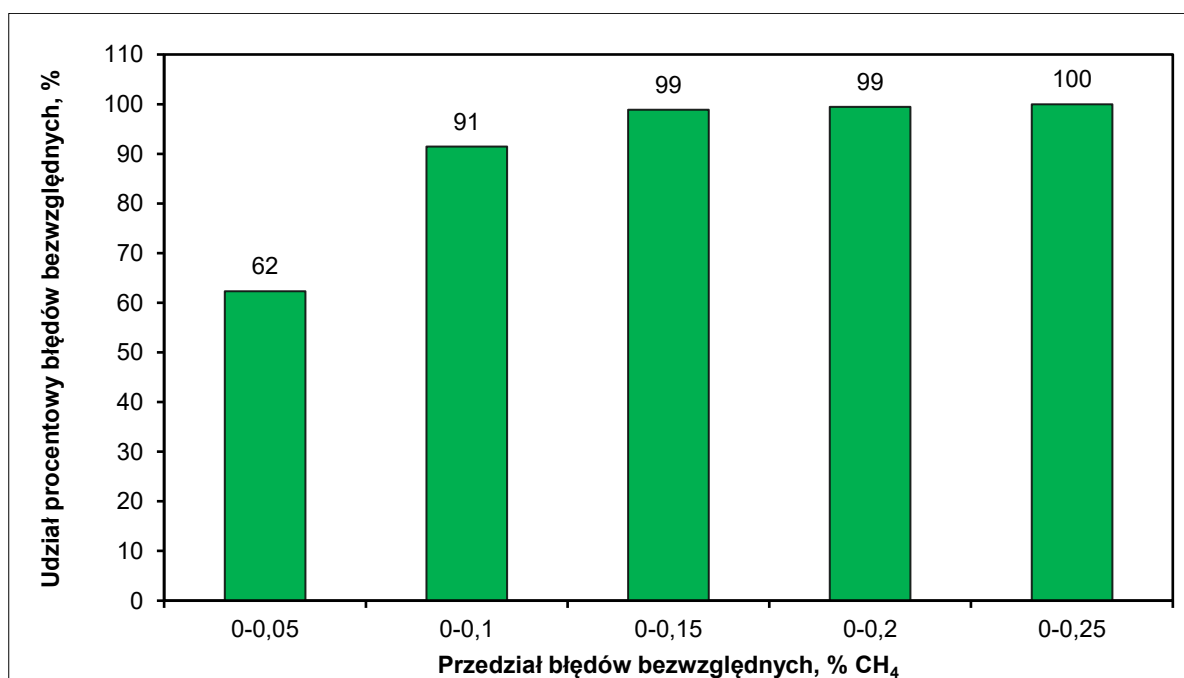
Rysunek 6.35 przedstawia rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz maksymalnego stężenia metanu dla ściany 1.



Rys. 6.35. Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 1

Przez 50 dni pomiarowych obserwowano błąd bezwzględny w przedziale 0–0,05%, przez 43 dni w przedziale 0,05–0,1%, przez 39 dni w przedziale 0,1–0,15%, przez 15 dni w przedziale 0,15–0,2%. Przez 28 dni pomiarowych poziom błędu przekraczał 0,2%.

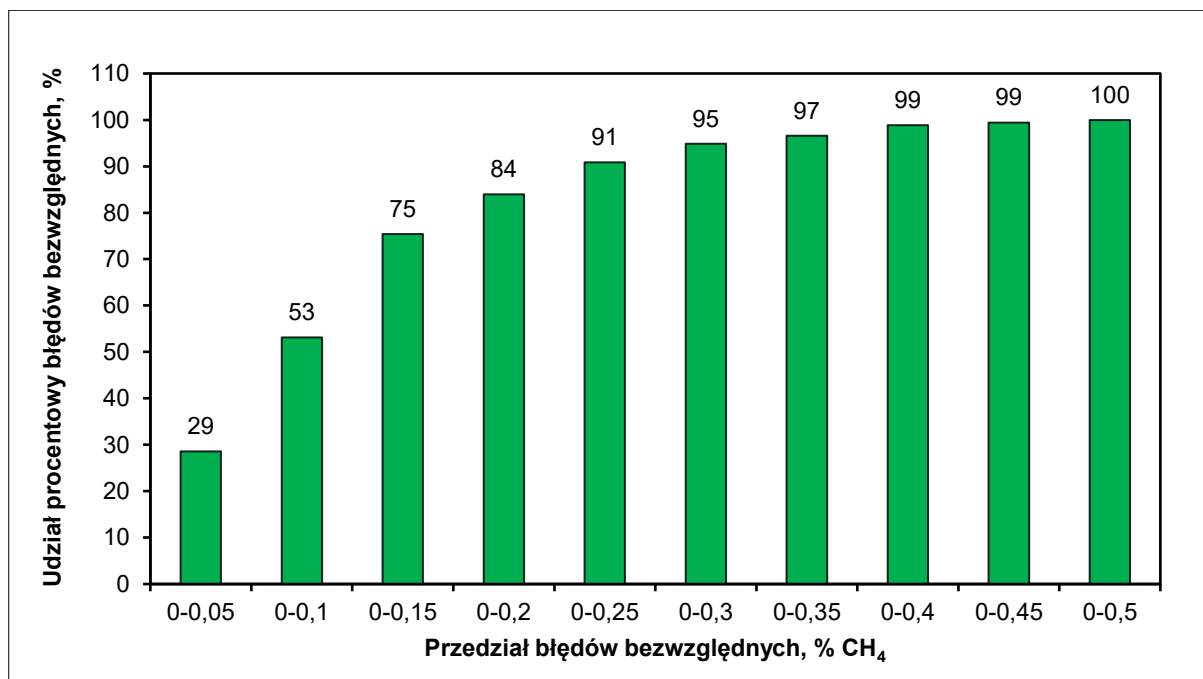
Rysunek 6.36 przedstawia udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 1.



Rys. 6.36. Udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 1 w przedziałach wartości błędów

Z wykresu wynika, że w 62% dni pomiarowych błąd bezwzględny prognozy nie przekraczał 0,05% stężenia CH₄ i jednocześnie w 99% dni pomiarowych błąd bezwzględny prognozy nie przekraczał 0,2% stężenia CH₄.

Rysunek 6.37 przedstawia udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 1.



Rys. 6.37. Udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 1 w przedziałach wartości błędów

Wykres (rys.6.37) pokazuje, że w 29% dni pomiarowych błąd bezwzględny prognozy nie przekraczał 0,05% stężenia CH₄ i jednocześnie w 84% dni pomiarowych błąd bezwzględny prognozy nie przekraczał 0,2% stężenia CH₄.

6.5.2. Wartości pomiarowe oraz prognozowane średniego i maksymalnego stężenia metanu dla ściany 2

W tabeli 6.6 przedstawiono parametry statystyczne charakteryzujące średnie i maksymalne stężenia metanu w omawianym miejscu.

Tabela 6.6. Zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary i prognozy dla ściany 2

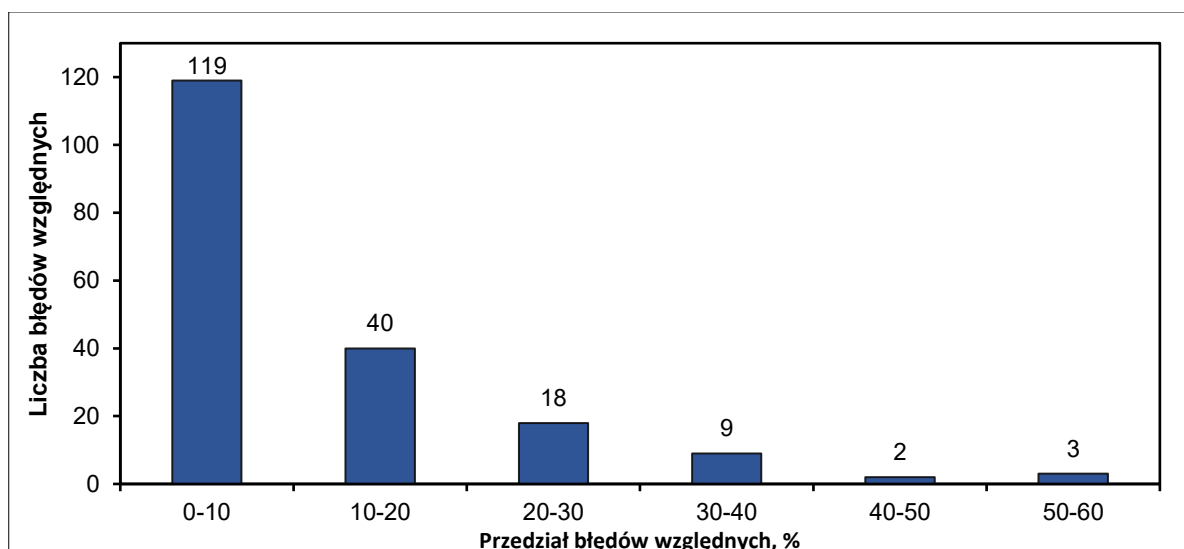
| Parametr statystyczny | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości | |
|--|--|----------|---|----------|
| | pomiary | prognoza | pomiary | prognoza |
| Średnia, % CH ₄ | 0,75 | 0,76 | 1,14 | 1,15 |
| Mediana, % CH ₄ | 0,75 | 0,78 | 1,10 | 1,17 |
| Percentyl 0,75, % CH ₄ | 0,92 | 0,87 | 1,40 | 1,30 |
| Percentyl 0,90, % CH ₄ | 1,12 | 1,00 | 1,68 | 1,49 |
| Minimum, % CH ₄ | 0,29 | 0,34 | 0,40 | 0,49 |
| Maksimum, % CH ₄ | 1,31 | 1,18 | 2,00 | 1,79 |
| Rozstęp (zakres), % CH ₄ | 1,02 | 0,84 | 1,60 | 1,30 |
| Odchylenie standardowe, % | 0,25 | 0,18 | 0,39 | 0,26 |
| Współczynnik zmienności, % | 32,78 | 23,68 | 33,88 | 22,69 |
| Suma stężeń dobowych, % CH ₄ | 143,77 | 144,65 | 217,80 | 219,16 |
| Suma błędów bezwzględnych, % CH ₄ | 13,16 | | 23,80 | |
| Suma błędów względnych, % | 2 074,04 | | 2 613,39 | |
| Suma r, % CH ₄ | 1,40 | | 4,74 | |
| Współczynnik R ² | 0,94 | | 0,91 | |
| Korelacja liniowa Pearsona | 0,97 | | 0,96 | |

W tabeli 6.7 przedstawiono rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 2.

Tabela 6.7. Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 2

| Przedział błędu, % | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości |
|--------------------|--|---|
| | Liczba błędów | Liczba błędów |
| 0 – 10 | 119 | 109 |
| 10 – 20 | 40 | 46 |
| 20 – 30 | 18 | 15 |
| 30 – 40 | 9 | 8 |
| 40 – 50 | 2 | 6 |
| 50 – 60 | 3 | 1 |
| 60 – 70 | 0 | 3 |
| 70 – 80 | 0 | 1 |
| > 80 | 0 | 2 |
| | Σ191 | Σ191 |

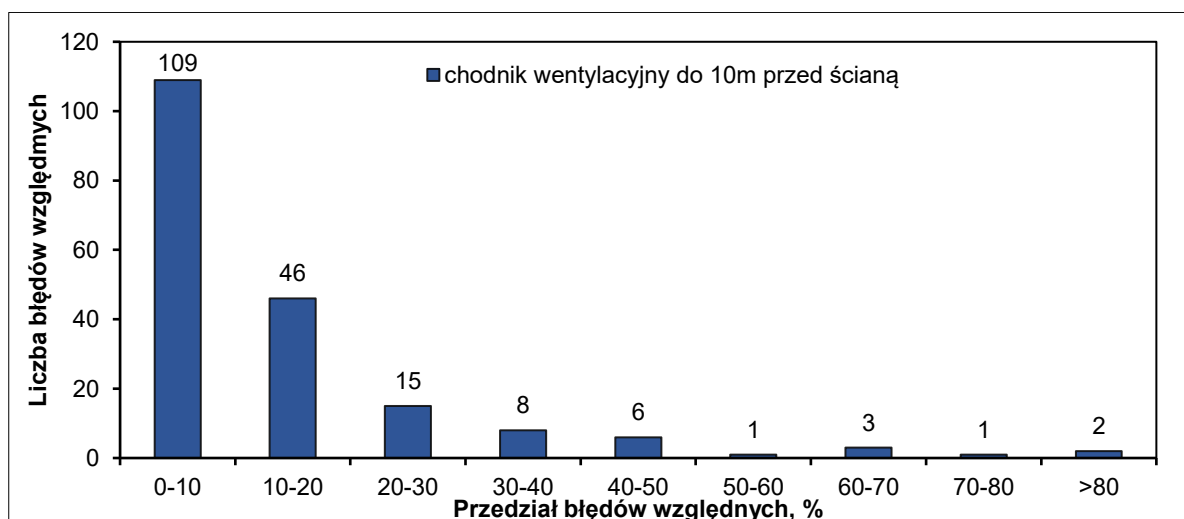
Rysunek 6.38 przedstawia rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 2.



Rys. 6.38. Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 2

Przez 119 dni pomiarowych obserwowano błąd względny w przedziale 0–10%, przez 40 dni w przedziale 10–20%, a przez 18 dni w przedziale 20–30%. W pozostałych badanych 14 dniach błąd względny przekraczał 30%.

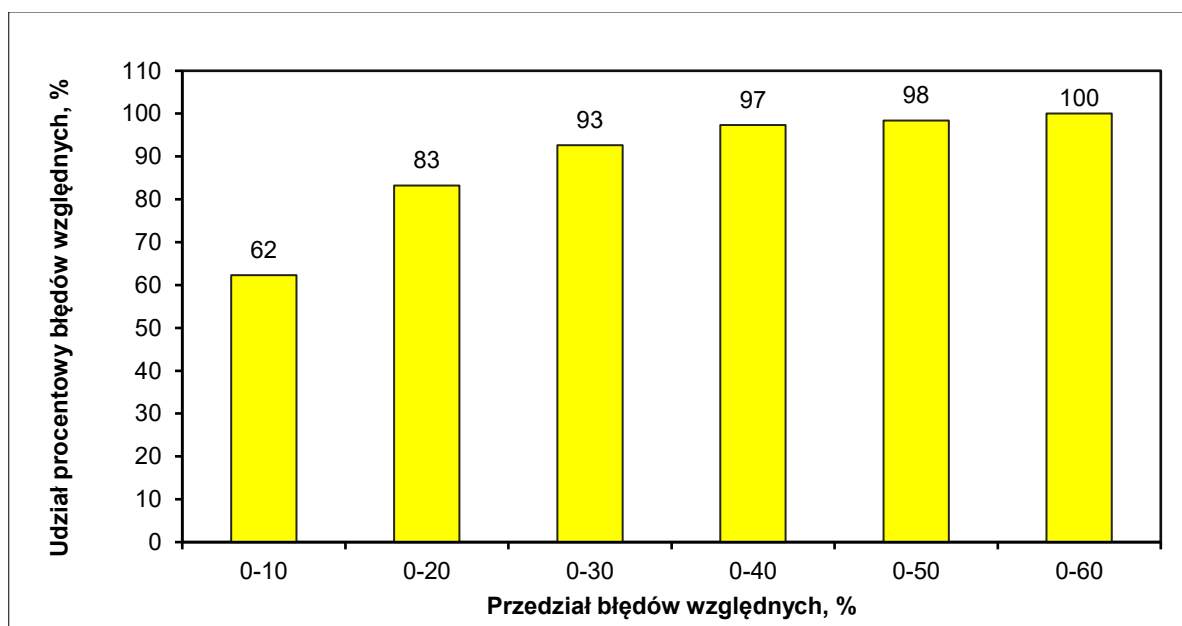
Rysunek 6.39 przedstawia rozkład liczby błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 2.



Rys. 6.39. Rozkład liczby błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 2

Przez 109 dni pomiarowych obserwowano błąd względny w przedziale 0–10%, przez 46 dni w przedziale 10–20%, a przez 15 dni w przedziale 20–30%. W pozostałych badanych 21 dniach błąd względny przekraczał 30%.

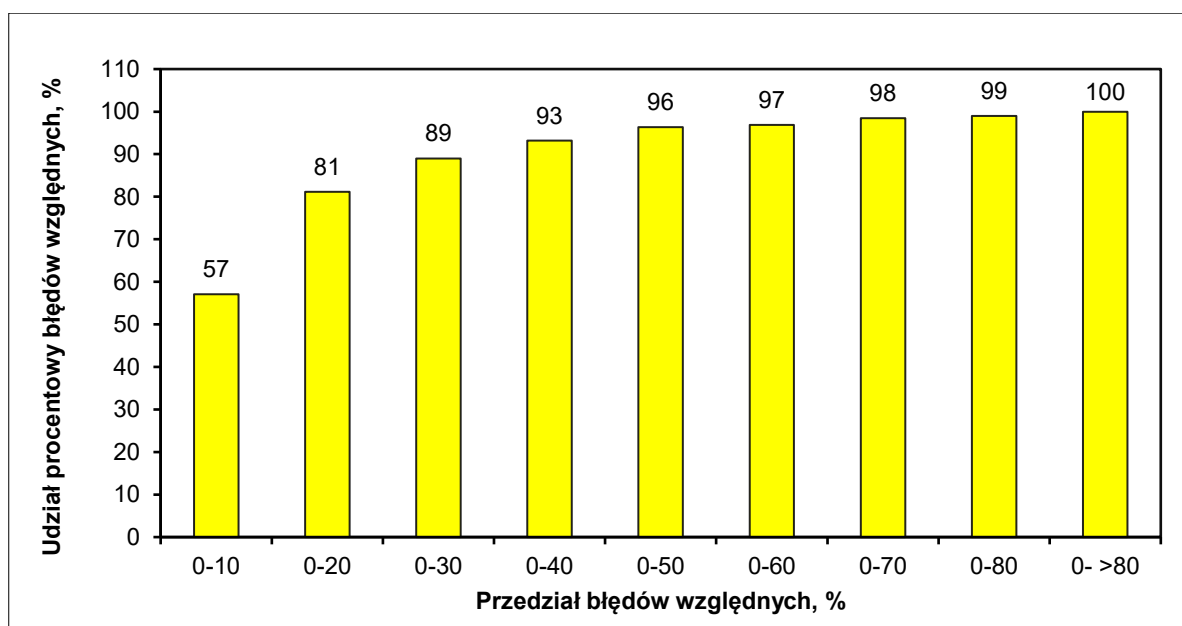
Rysunek 6.40 przedstawia przyrostowy procentowy udział błędów względnych dla prognoz średnich stężeń metanu w przedziałach dla ściany 2.



Rys. 6.40. Udział procentowy błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 2 w przedziałach wartości błędów

Wykres (rys.6.40) pokazuje, że w 62% dni pomiarowych błąd względny prognoz nie przekraczał 10% i jednocześnie w 93% dni pomiarowych błąd względny prognoz nie przekraczał 30%.

Rysunek 6.41 przedstawia udział procentowy błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 2.



Rys. 6.41. Udział procentowy błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 2 w przedziałach wartości błędów

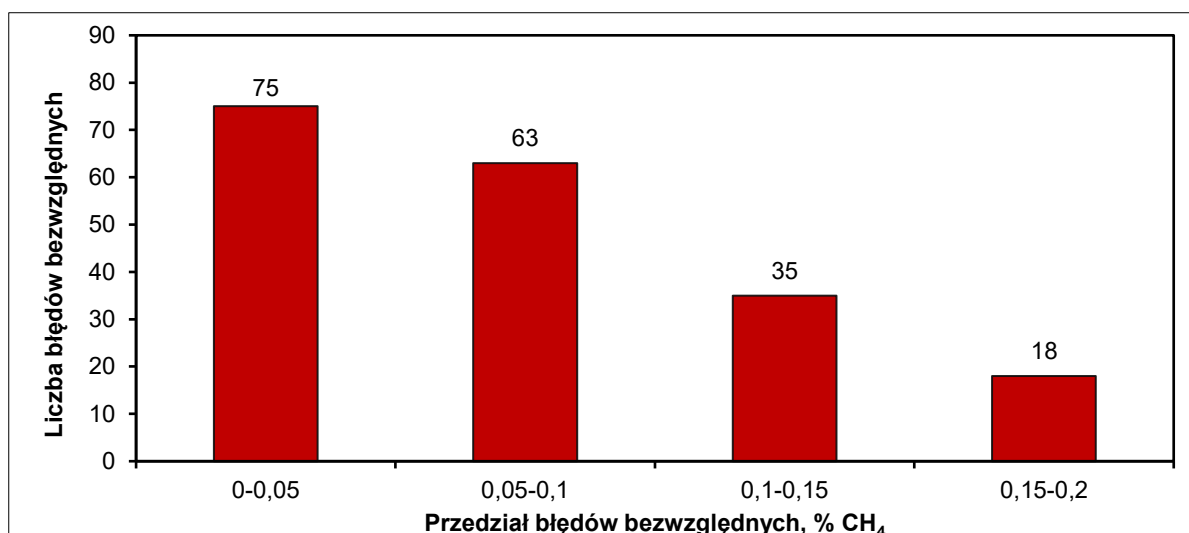
Wykres (rys.6.41) pokazuje, że w przypadku 57% dni pomiarowych błąd względny prognoz nie przekraczał 10% i jednocześnie w przypadku 89% dni pomiarowych błąd względny prognoz nie przekraczał 30%.

W tabeli 6.8 przedstawiono rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 2.

Tabela 6.8. Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 2

| Przedział błędu, % CH ₄ | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości |
|------------------------------------|--|---|
| | Liczba błędów | Liczba błędów |
| 0 – 0,05 | 75 | 53 |
| 0,05 – 0,10 | 63 | 41 |
| 0,10 – 0,15 | 35 | 26 |
| 0,15 – 0,20 | 18 | 35 |
| 0,20 – 0,25 | 0 | 14 |
| 0,25 – 0,30 | 0 | 11 |
| 0,30 – 0,35 | 0 | 6 |
| 0,35 – 0,40 | 0 | 3 |
| 0,40 – 0,45 | 0 | 1 |
| 0,45 – 0,50 | 0 | 1 |
| | Σ191 | Σ191 |

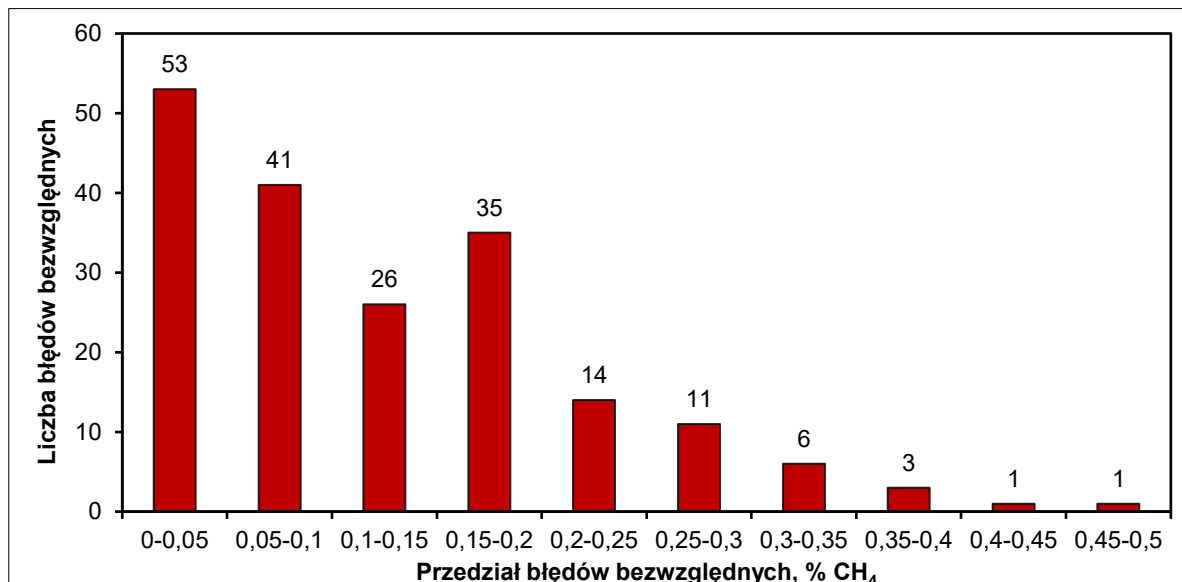
Rysunek 6.42 przedstawia rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średniego stężenia metanu dla ściany 2.



Rys. 6.42. Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 2

Przez 75 dni pomiarowych błąd bezwzględny znajdował się w przedziale 0–0,05%, przez 63 dni w przedziale 0,05–0,10%, przez 35 dni w przedziale 0,10–0,15%, przez 18 dni pomiarowych w przedziale 0,15–0,20%.

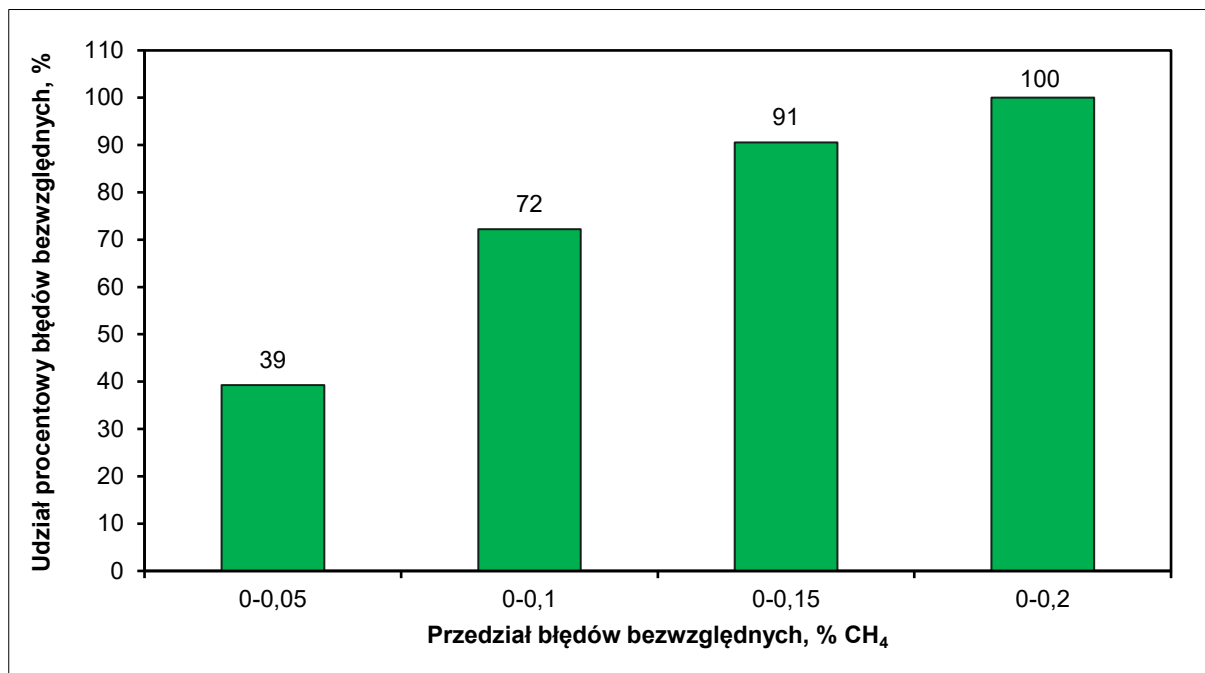
Rysunek 6.43 przedstawia rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz maksymalnego stężenia metanu dla ściany 2.



Rys. 6.43. Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 2

Przez 53 dni pomiarowe obserwowano błąd bezwzględny w przedziale 0–0,05%, przez 41 dni w przedziale 0,05–0,1%, przez 26 dni w przedziale 0,1–0,15%, przez 35 dni w przedziale 0,15–0,2%. Przez 36 dni pomiarowych poziom błędu przekraczał 0,2%.

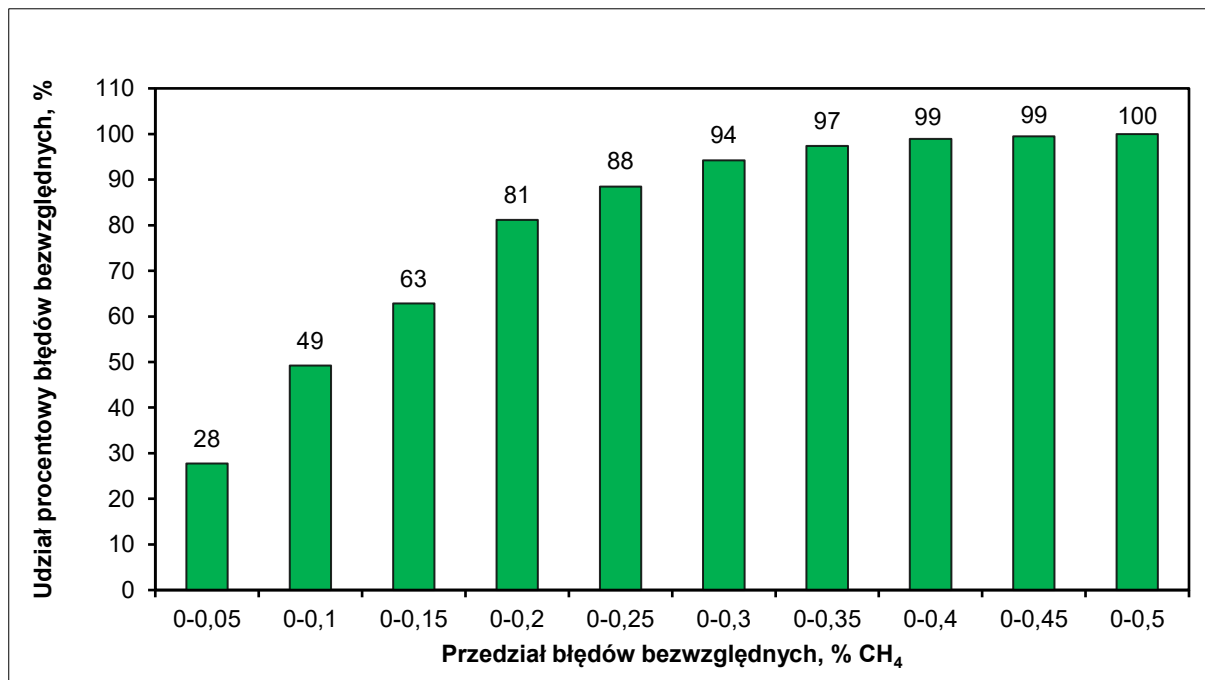
Rysunek 6.44 przedstawia udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 2.



Rys. 6.44. Udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 2 w przedziałach wartości błędów

Z wykresu (rys.6.44) wynika, że w 39% dni pomiarowych błąd bezwzględny prognoz nie przekraczał 0,05% stężenia CH₄ i jednocześnie w 100% dni pomiarowych błąd bezwzględny pomiaru nie przekraczał 0,2% stężenia CH₄.

Rysunek 6.45 przedstawia udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 2.



Rys. 6.45. Udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 2 w przedziałach wartości błędów

Wykres (rys.6.45) pokazuje, że w 28% dni pomiarowych błąd bezwzględny prognoz nie przekraczał 0,05% stężenia CH₄ i jednocześnie w 81% dni pomiarowych błąd bezwzględny prognoz nie przekraczał 0,2% stężenia CH₄.

6.5.3. Wartości pomiarowe oraz prognozowane średniego i maksymalnego stężenia metanu dla ściany 3

W tabeli 6.9 przedstawiono parametry statystyczne charakteryzujące średnie i maksymalne stężenia metanu w omawianym miejscu.

Tabela 6.9. Zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary i prognozy dla ściany 3

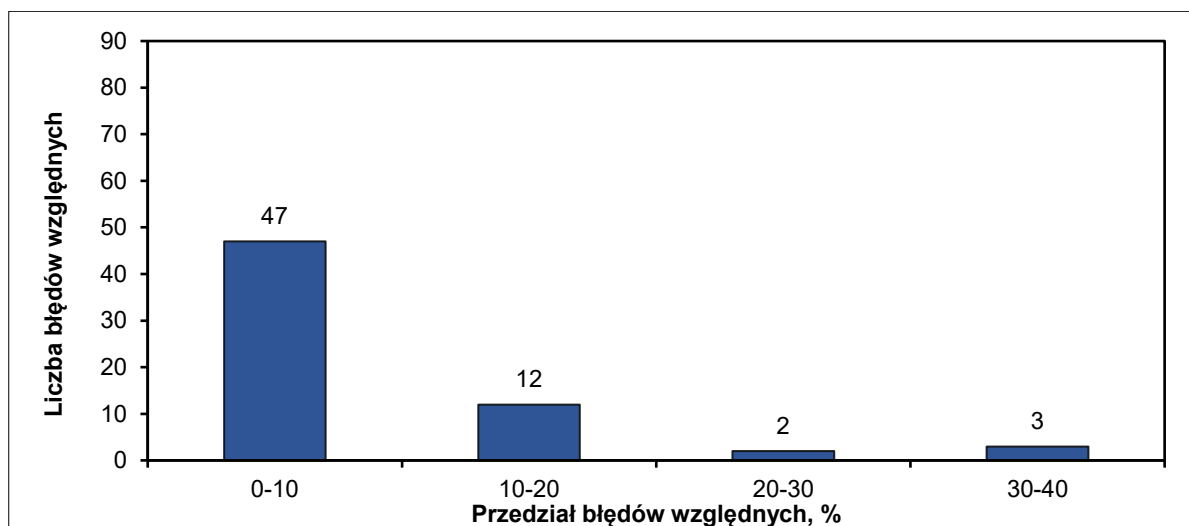
| Parametr statystyczny | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości | |
|--|--|----------|---|----------|
| | pomiary | prognoza | pomiary | prognoza |
| Średnia, % CH ₄ | 0,84 | 0,86 | 1,20 | 1,24 |
| Mediana, % CH ₄ | 0,74 | 0,89 | 1,05 | 1,26 |
| Percentyl 0,75, % CH ₄ | 1,14 | 1,13 | 1,80 | 1,66 |
| Percentyl 0,90, % CH ₄ | 1,39 | 1,34 | 2,00 | 1,90 |
| Minimum, % CH ₄ | 0,31 | 0,41 | 0,50 | 0,53 |
| Maksimum, % CH ₄ | 1,50 | 1,44 | 2,00 | 1,99 |
| Rozstęp (zakres), % CH ₄ | 1,19 | 1,03 | 1,50 | 1,46 |
| Odchylenie standardowe, % | 0,35 | 0,32 | 0,55 | 0,48 |
| Współczynnik zmienności, % | 41,33 | 37,73 | 45,96 | 38,60 |
| Suma stężeń dobowych, % CH ₄ | 52,97 | 54,20 | 77,00 | 79,16 |
| Suma błędów bezwzględnych, % CH ₄ | 3,86 | | 7,95 | |
| Suma błędów względnych, % | 514,75 | | 811,67 | |
| Suma <i>r</i> , % CH ₄ | 0,41 | | 1,72 | |
| Współczynnik <i>R</i> ² | 0,95 | | 0,92 | |
| Korelacja liniowa Pearsona | 0,98 | | 0,96 | |

W tabeli 6.10 przedstawiono rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 3.

Tabela 6.10. Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 3

| Przedział błędu, % | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości |
|--------------------|--|---|
| | Liczba błędów | Liczba błędów |
| 0 – 10 | 47 | 35 |
| 10 – 20 | 12 | 18 |
| 20 – 30 | 2 | 3 |
| 30 – 40 | 3 | 2 |
| 40 – 50 | 0 | 5 |
| 50 – 60 | 0 | 0 |
| 60 – 70 | 0 | 1 |
| | Σ64 | Σ64 |

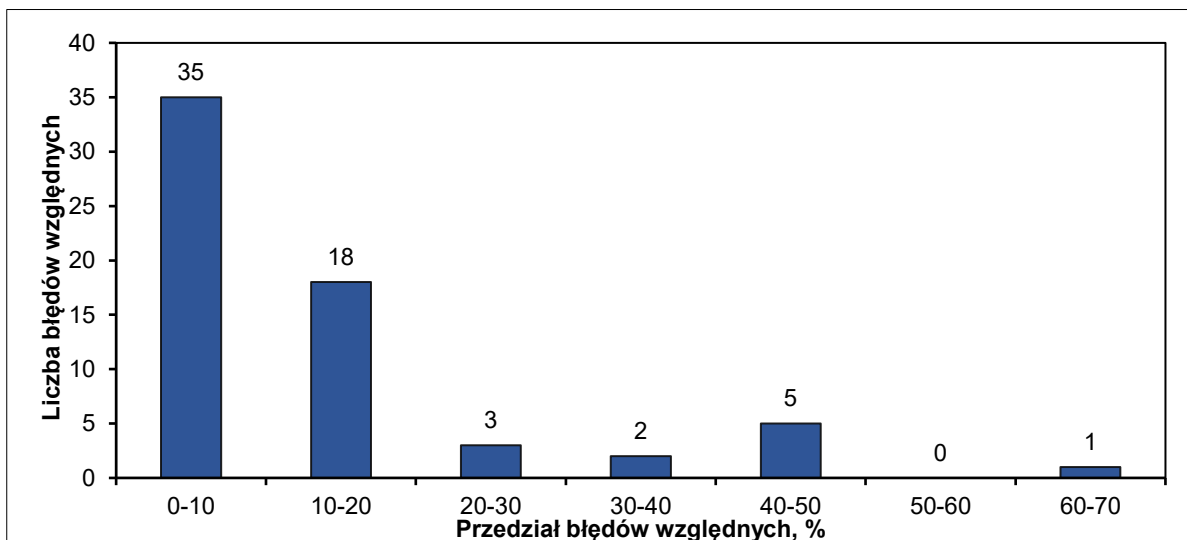
Rysunek 6.46 przedstawia rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 3.



Rys. 6.46. Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 3

Przez 47 dni pomiarowych obserwowano błąd względny w przedziale 0–10%, przez 12 dni w przedziale 10–20%, a przez dwa dni w przedziale 20–30%. W pozostałych badanych trzech dniach błąd względny przekraczał 30%.

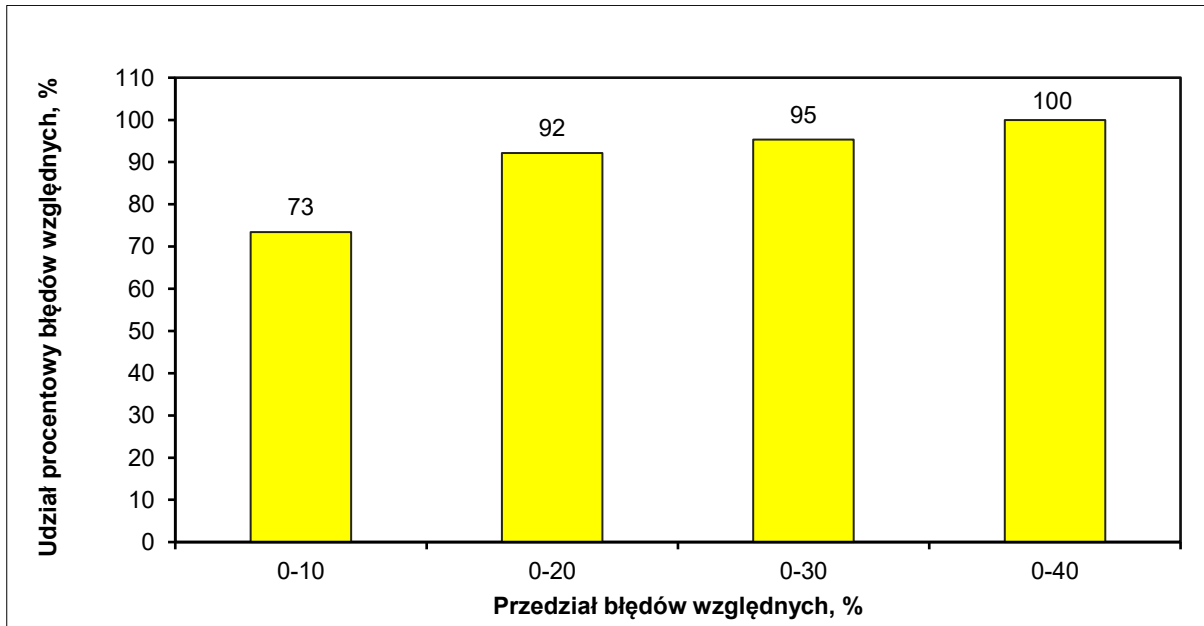
Rysunek 6.47 przedstawia rozkład liczby błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 3.



Rys. 6.47. Rozkład liczby błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 3

Przez 35 dni pomiarowych obserwowano błąd względny w przedziale 0–10%, przez 18 dni w przedziale 10–20%, a przez trzy dni w przedziale 20–30%. W pozostałych badanych ośmiu dniach błąd względny przekraczał 30%.

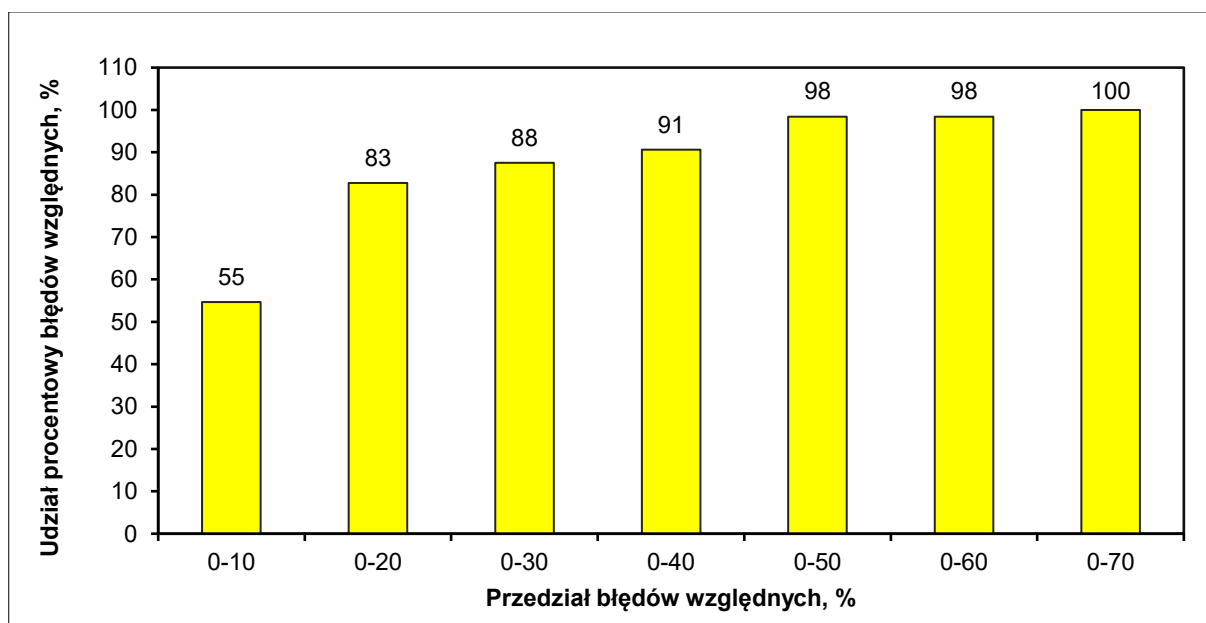
Rysunek 6.48 przedstawia udział procentowy błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 3.



Rys. 6.48. Udział procentowy błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 3 w przedziałach wartości błędów

Wykres (rys.6.48) pokazuje, że w przypadku 73% dni pomiarowych błąd względny prognoz nie przekraczał 10% i jednocześnie w przypadku 95% dni pomiarowych błąd względny prognoz nie przekraczał 30%.

Rysunek 6.49 przedstawia udział procentowy błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 3.



Rys. 6.49. Udział procentowy błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 3 w przedziałach wartości błędów

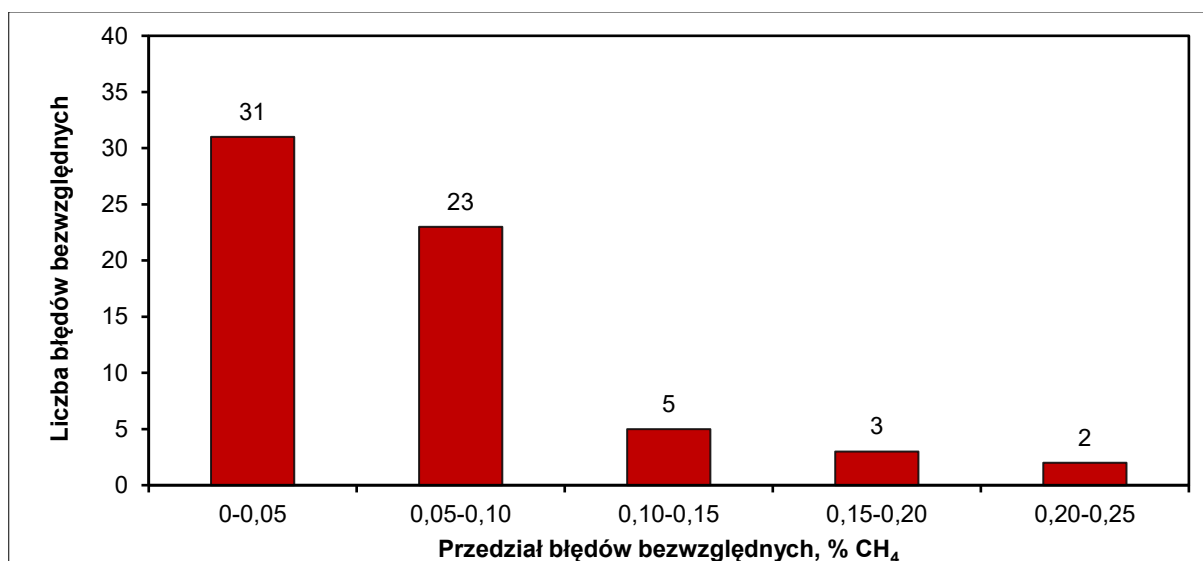
Wykres (rys.6.49) pokazuje, że w 55% dni pomiarowych błąd względny prognoz nie przekraczał 10% i jednocześnie w 88% dni pomiarowych błąd względny prognoz nie przekraczał 30%.

W tabeli 6.11 przedstawiono rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 3.

Tabela 6.11. Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 3

| Przedział błędu, % CH ₄ | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości |
|------------------------------------|--|---|
| | Liczba błędów | Liczba błędów |
| 0 – 0,05 | 31 | 19 |
| 0,05 – 0,10 | 23 | 14 |
| 0,10 – 0,15 | 5 | 9 |
| 0,15 – 0,20 | 3 | 7 |
| 0,20 – 0,25 | 2 | 7 |
| 0,25 – 0,30 | 0 | 3 |
| 0,30 – 0,35 | 0 | 2 |
| 0,35 – 0,40 | 0 | 2 |
| 0,40 – 0,45 | 0 | 1 |
| | Σ64 | Σ64 |

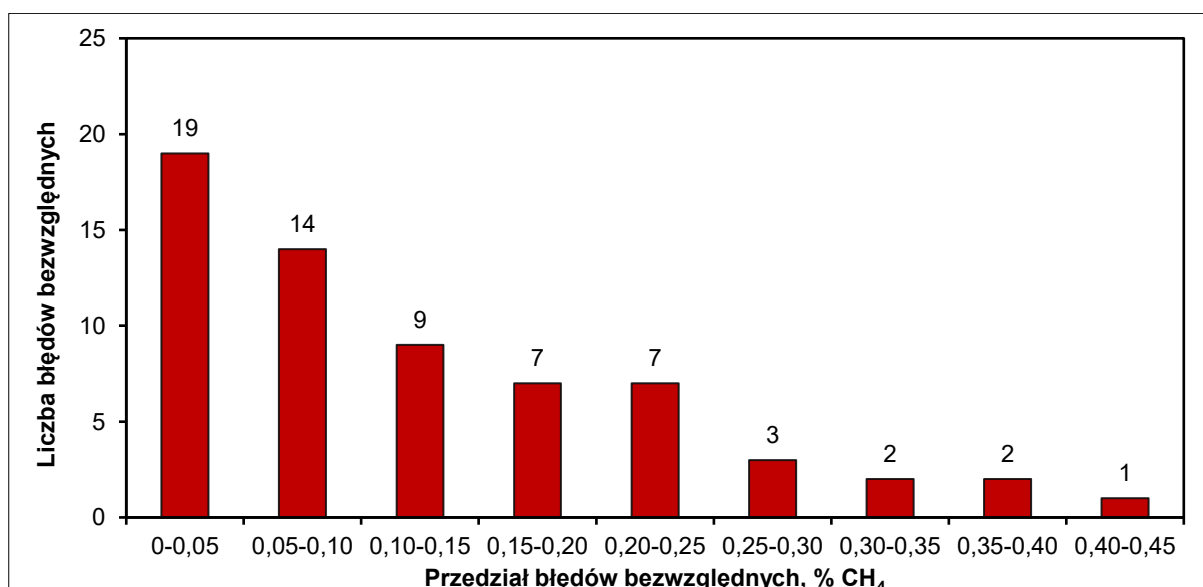
Rysunek 6.50 przedstawia rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średniego stężenia metanu dla ściany 3.



Rys. 6.50. Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 3

Przez 31 dni pomiarowych błąd bezwzględny znajdował się w przedziale 0–0,05%, przez 23 dni w przedziale 0,05–0,10%, przez pięć 5 dni w przedziale 0,10–0,15%, przez dwa dni w przedziale 0,15–0,20%. Tylko przez dwa dni pomiarowe poziom błęd przekraczał 0,20%.

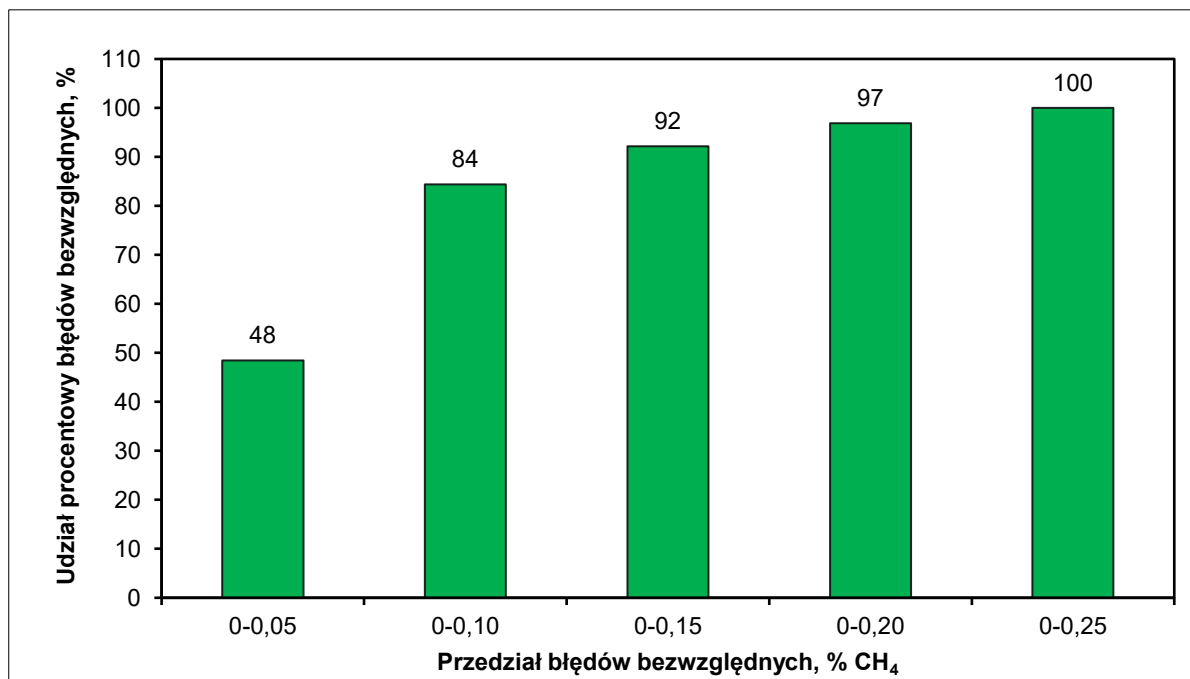
Rysunek 6.51 przedstawia rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz maksymalnego stężenia metanu dla ściany 3.



Rys. 6.51. Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 3

Przez 19 dni pomiarowych błąd bezwzględny znajdował się w przedziale 0–0,05%, przez 14 dni w przedziale 0,05–0,10%, przez dziewięć dni w przedziale 0,10–0,15%, przez siedem dni w przedziale 0,15–0,20%. Przez 15 dni pomiarowych poziom błędu przekraczał 0,2%.

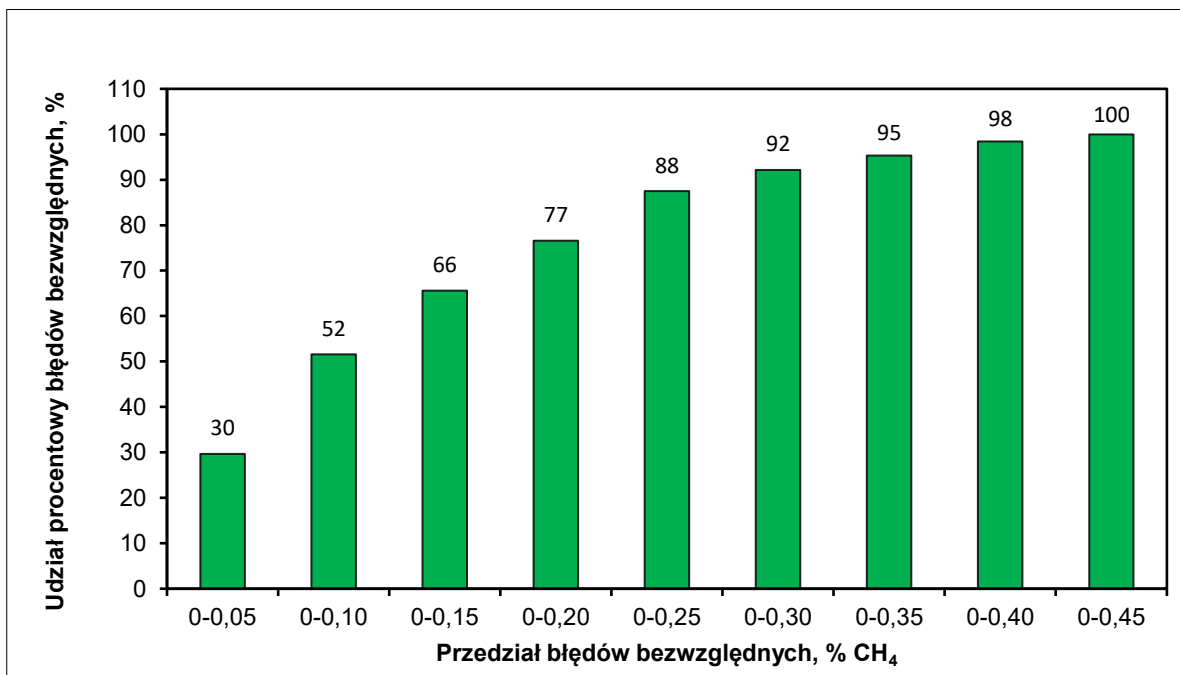
Rysunek 6.52 przedstawia udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 3.



Rys. 6.52. Udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 3 w przedziałach wartości błędów

Wykres (rys.6.52) pokazuje, że w przypadku 48% dni pomiarowych błąd bezwzględny prognoz nie przekraczał 0,05% stężenia CH₄ i jednocześnie w 97% dni pomiarowych błąd bezwzględny prognoz nie przekraczał 0,20% stężenia CH₄.

Rysunek 6.53 przedstawia udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 3.



Rys 6.53. Udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 3 w przedziałach wartości błędów

Wykres (rys.6.53) pokazuje, że w 30% dni pomiarowych błąd bezwzględny prognoz nie przekraczał 0,05% stężenia CH₄ i jednocześnie w 77% dni pomiarowych błąd bezwzględny prognoz nie przekraczał 0,20% stężenia CH₄.

6.5.4. Wartości pomiarowe oraz prognozowane średniego i maksymalnego stężenia metanu dla ściany 4

W tabeli 6.12 przedstawiono parametry statystyczne charakteryzujące średnie i maksymalne stężenia metanu w omawianym miejscu.

Tabela 6.12. Zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary i prognozy dla ściany 4

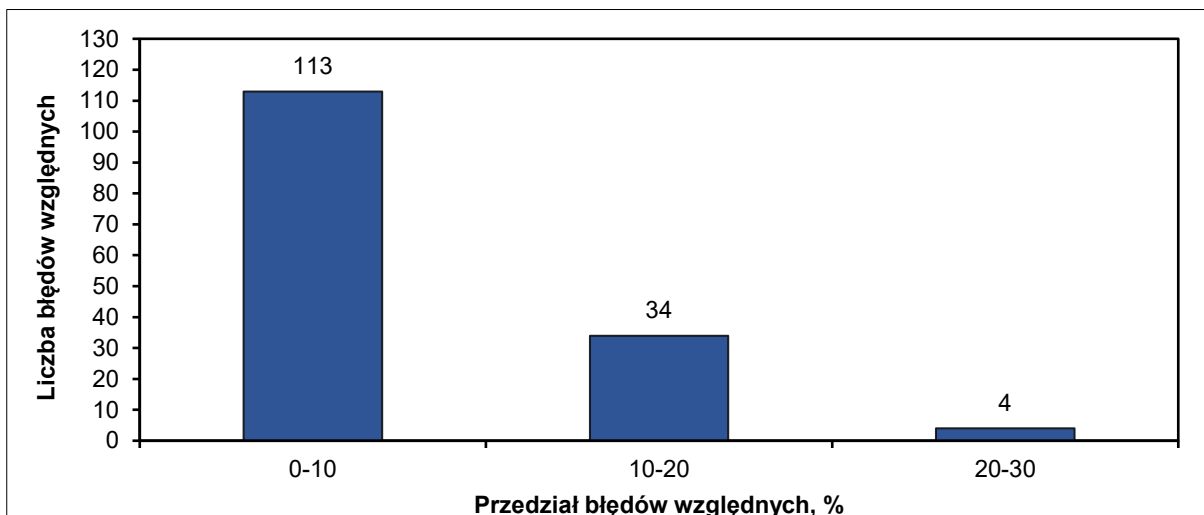
| Parametr statystyczny | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości | |
|--|--|----------|---|----------|
| | pomiary | prognoza | pomiary | prognoza |
| Średnia, % CH ₄ | 0,38 | 0,37 | 0,60 | 0,59 |
| Mediana, % CH ₄ | 0,38 | 0,38 | 0,60 | 0,58 |
| Percentyl 0,75, % CH ₄ | 0,46 | 0,44 | 0,70 | 0,68 |
| Percentyl 0,90, % CH ₄ | 0,52 | 0,49 | 0,90 | 0,83 |
| Minimum, % CH ₄ | 0,20 | 0,21 | 0,20 | 0,28 |
| Maksimum, % CH ₄ | 0,74 | 0,63 | 2,00 | 1,43 |
| Rozstęp (zakres), % CH ₄ | 0,54 | 0,42 | 1,80 | 1,15 |
| Odchylenie standardowe, % | 0,11 | 0,09 | 0,24 | 0,17 |
| Współczynnik zmienności, % | 28,62 | 24,03 | 39,32 | 29,17 |
| Suma stężeń dobowych, % CH ₄ | 57,21 | 56,19 | 91,20 | 88,89 |
| Suma błędów bezwzględnych, % CH ₄ | 3,79 | | 9,23 | |
| Suma błędów względnych, % | 998,37 | | 1 572,62 | |
| Suma <i>r</i> , % CH ₄ | 0,17 | | 1,22 | |
| Współczynnik <i>R</i> ² | 0,92 | | 0,91 | |
| Korelacja liniowa Pearsona | 0,96 | | 0,96 | |

W tabeli 6.13 przedstawiono rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 4.

Tabela 6.13. Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 4

| Przedział błędu, % | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości |
|--------------------|--|---|
| | Liczba błędów | Liczba błędów |
| 0 – 10 | 113 | 85 |
| 10 – 20 | 34 | 49 |
| 20 – 30 | 4 | 9 |
| 30 – 40 | 0 | 6 |
| 40 – 50 | 0 | 2 |
| | Σ151 | Σ151 |

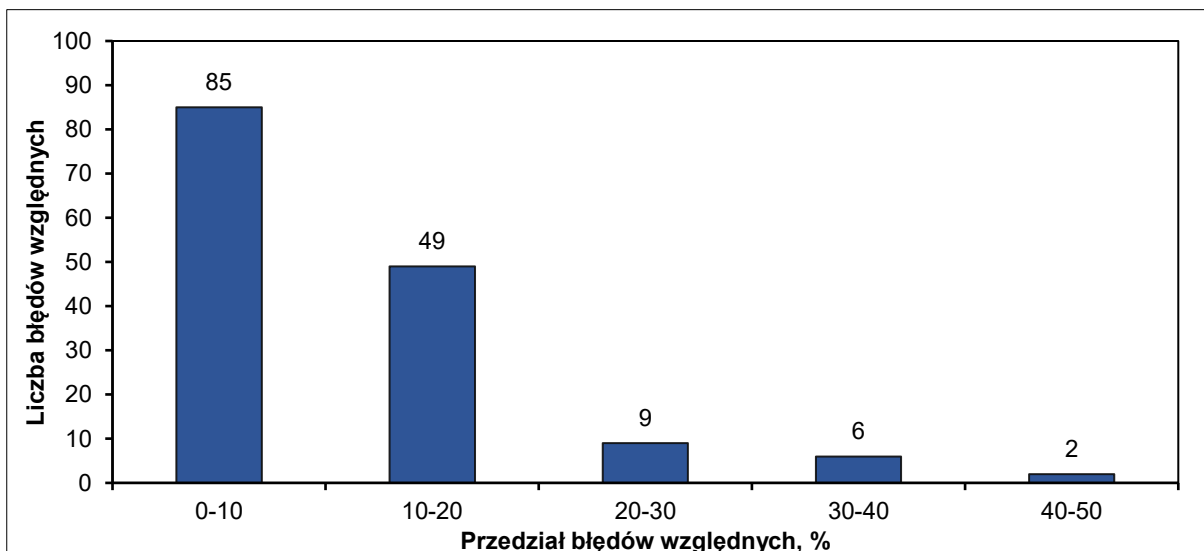
Rysunek 6.54 przedstawia rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 4.



Rys. 6.54. Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 4

Przez 113 dni pomiarowych obserwowano błąd względny w przedziale 0–10%, przez 34 dni w przedziale 10–20%, a przez cztery dni w przedziale 20–30%.

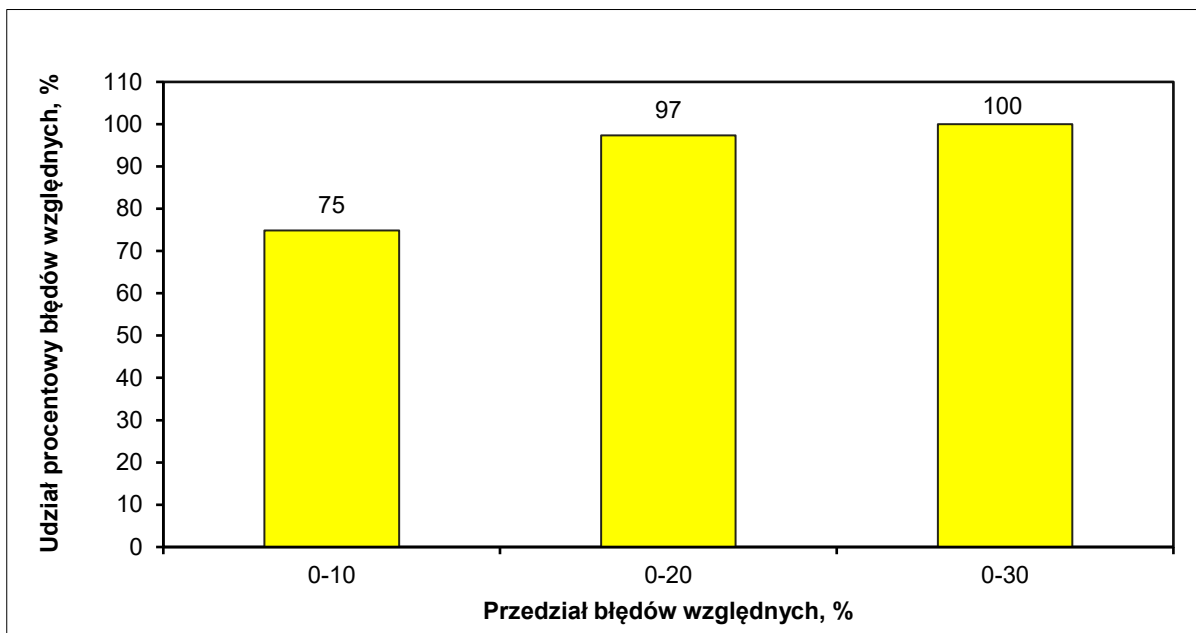
Rysunek 6.55 przedstawia rozkład liczby błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 4.



Rys. 6.55. Rozkład liczby błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 4

Przez 85 dni pomiarowych obserwowano błąd względny w przedziale 0–10%, przez 49 dni w przedziale 10–20%, a przez dziewięć dni w przedziale 20–30%. W pozostałych badanych ośmiu dniach błąd względny przekraczał 30%.

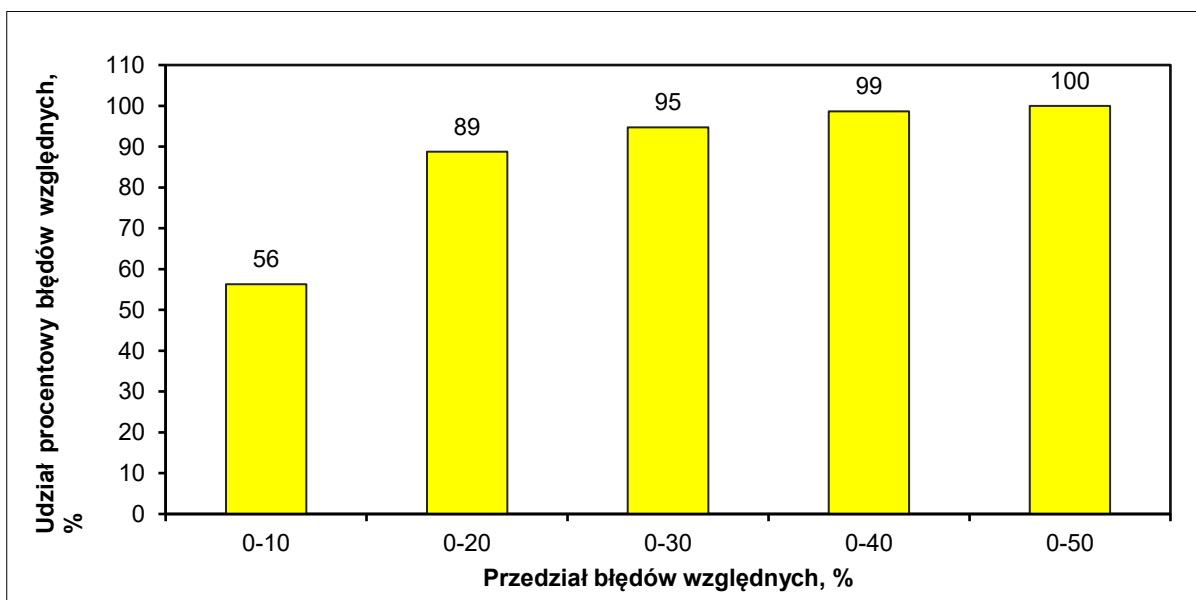
Rysunek 6.56 przedstawia udział procentowy błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 4.



Rys. 6.56. Udział procentowy błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 4 w przedziałach wartości błędów

Wykres (rys.6.56) pokazuje, że w 75% dni pomiarowych błąd względny prognoz nie przekraczał 10% i jednocześnie w 100% dni pomiarowych błąd względny prognoz nie przekraczał 30%.

Rysunek 6.57 przedstawia udział procentowy błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 4.



Rys. 6.57. Udział procentowy błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 4 w przedziałach wartości błędów

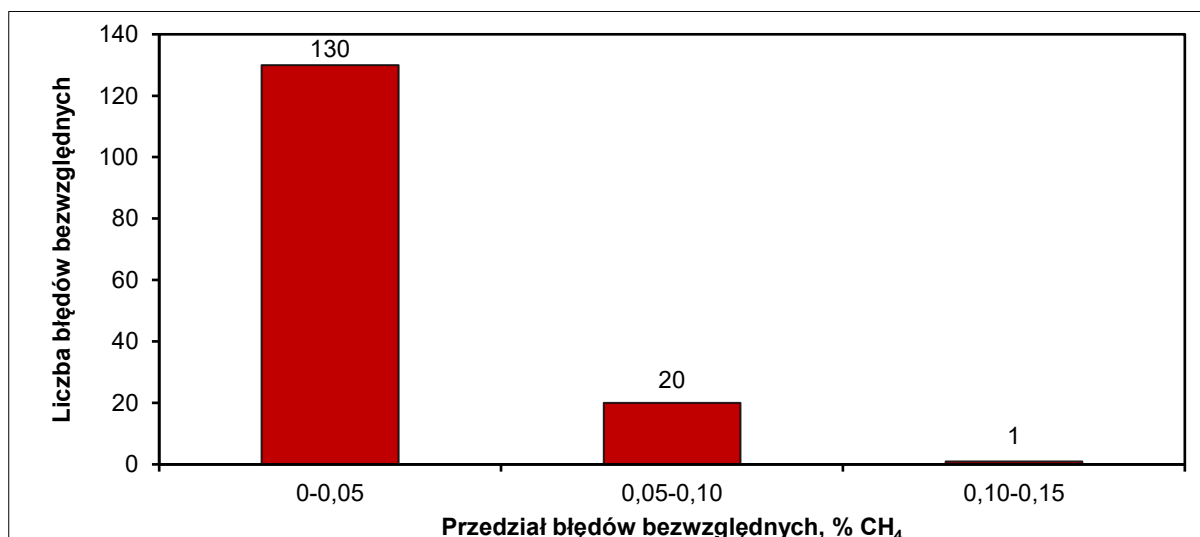
Wykres (rys.6.58) pokazuje, że w przypadku 56% dni pomiarowych błąd względny prognoz nie przekraczał 10% i jednocześnie w przypadku 95% dni pomiarowych błąd względny prognoz nie przekraczał 30%.

W tabeli 6.14 przedstawiono rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 4.

Tabela 6.14. Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 4

| Przedział błędu, % CH ₄ | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości |
|------------------------------------|--|---|
| | Liczba błędów | Liczba błędów |
| 0 – 0,05 | 130 | 82 |
| 0,05 – 0,10 | 20 | 45 |
| 0,10 – 0,15 | 1 | 12 |
| 0,15 – 0,20 | 0 | 8 |
| 0,20 – 0,25 | 0 | 1 |
| 0,25 – 0,30 | 0 | 2 |
| 0,30 – 0,35 | 0 | 0 |
| 0,35 – 0,40 | 0 | 0 |
| 0,40 – 0,45 | 0 | 0 |
| 0,45 – 0,50 | 0 | 0 |
| 0,50 – 0,55 | 0 | 0 |
| > 0,55 | 0 | 1 |
| | Σ151 | Σ151 |

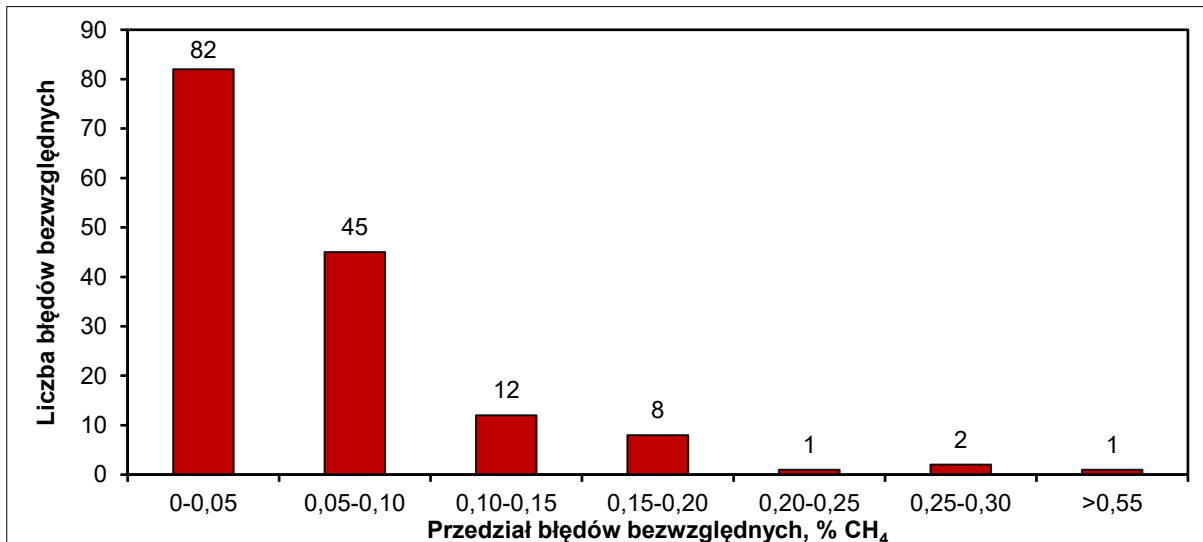
Rysunek 6.58 przedstawia rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średniego stężenia metanu dla ściany 4.



Rys. 6.58. Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 4

Przez 130 dni pomiarowych błąd bezwzględny znajdował się w przedziale 0–0,05%, przez 20 dni w przedziale 0,05–0,10%, przez jeden dzień pomiarowy w przedziale 0,10–0,15%.

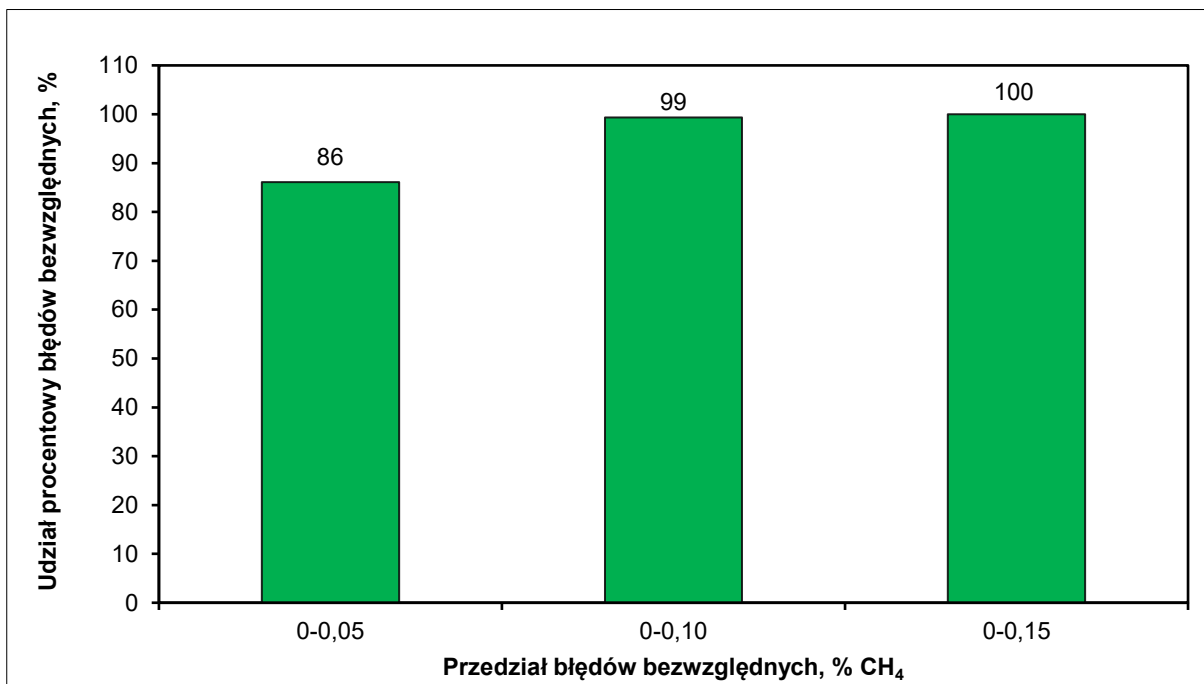
Rysunek 6.59 przedstawia rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz maksymalnego stężenia metanu dla ściany 4.



Rys. 6.59. Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 4

Przez 82 dni pomiarowe błąd bezwzględny znajdował się w przedziale 0–0,05%, przez 45 dni w przedziale 0,05–0,10%, przez 12 dni w przedziale 0,10–0,15%, przez osiem dni w przedziale 0,15–0,20%. Tylko przez cztery dni pomiarowe poziom błędu przekraczał 0,20%.

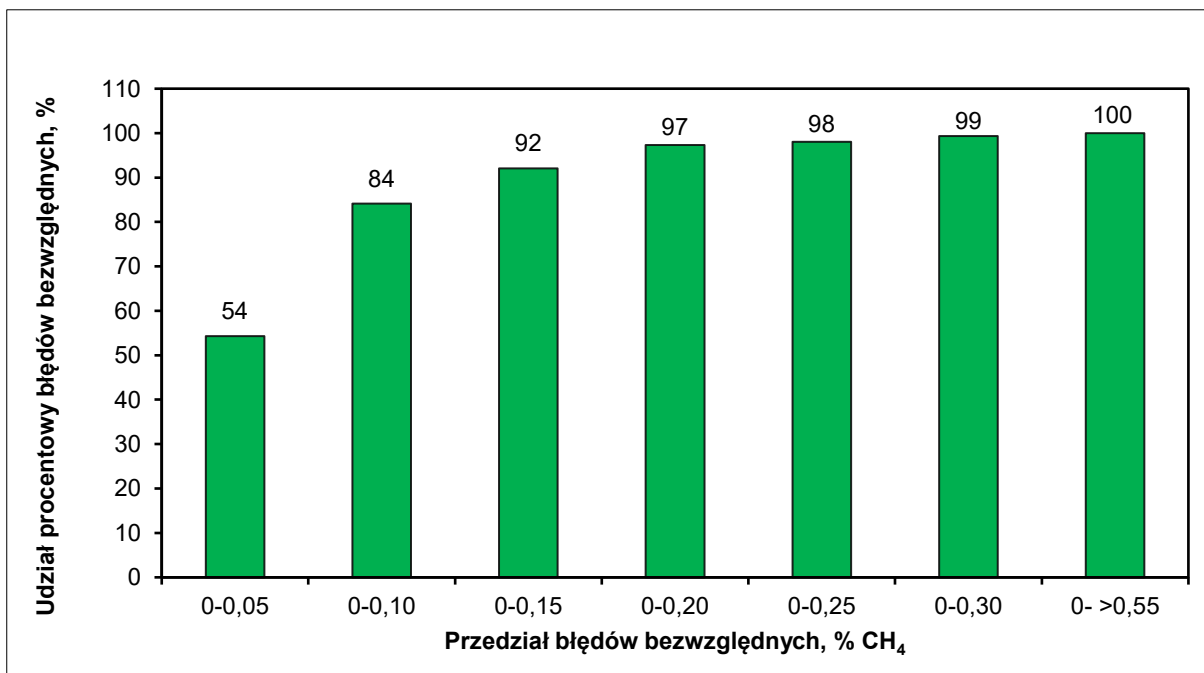
Rysunek 6.60 przedstawia udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 4.



Rys. 6.60. Udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 4 w przedziałach wartości błędów

Wykres (rys.6.60) pokazuje, że w 86% dni pomiarowych błąd bezwzględny prognoz nie przekraczał 0,05% stężenia CH₄ i jednocześnie w 100% dni pomiarowych błąd bezwzględny prognoz nie przekraczał 0,15% stężenia CH₄.

Rysunek 6.61 przedstawia udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 4.



Rys. 6.61. Udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 4 w przedziałach wartości błędów

Wykres (rys.6.61) pokazuje, że w 54% dni pomiarowych błąd bezwzględny prognoz nie przekraczał 0,05% stężenia CH₄ i jednocześnie w 97% dni pomiarowych błąd bezwzględny prognoz nie przekraczał 0,20% stężenia CH₄.

6.5.5. Wartości pomiarowe oraz prognozowane średniego i maksymalnego stężenia metanu dla ściany 5

W tabeli 6.15 przedstawiono dane statystyczne charakteryzujące średnie i maksymalne stężenia metanu w omawianym miejscu.

Tabela 6.15. Zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary i prognozy dla ściany 5

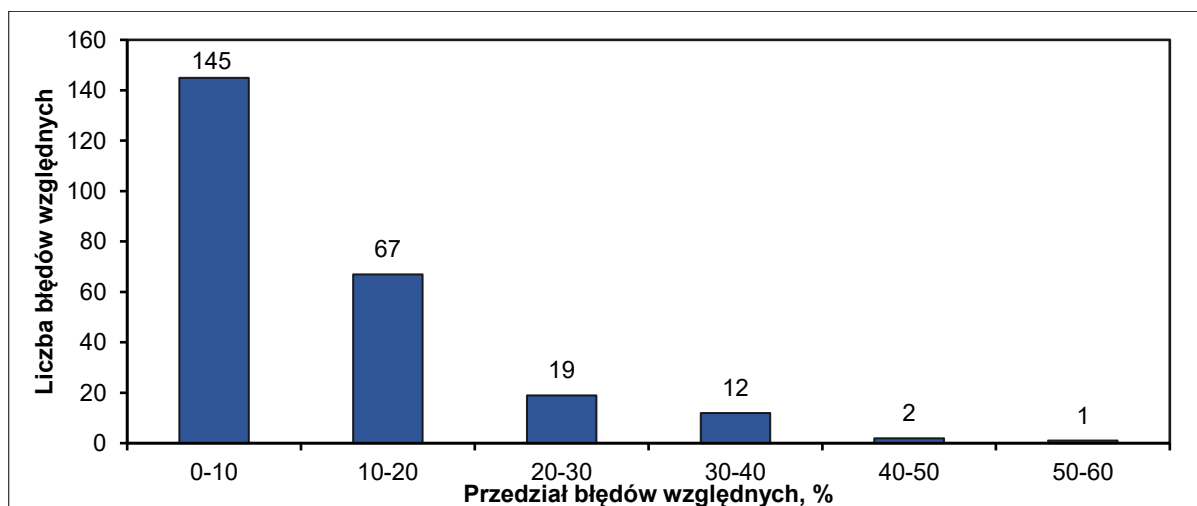
| Parametr statystyczny | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości | |
|--|--|----------|---|----------|
| | pomiary | prognoza | pomiary | prognoza |
| Średnia, % CH ₄ | 0,54 | 0,55 | 0,87 | 0,89 |
| Mediana, % CH ₄ | 0,50 | 0,53 | 0,80 | 0,86 |
| Percentyl 0,75, % CH ₄ | 0,67 | 0,64 | 1,10 | 1,03 |
| Percentyl 0,90, % CH ₄ | 0,80 | 0,72 | 1,30 | 1,19 |
| Minimum, % CH ₄ | 0,20 | 0,27 | 0,20 | 0,34 |
| Maksimum, % CH ₄ | 1,01 | 0,89 | 2,00 | 1,94 |
| Rozstęp (zakres), % CH ₄ | 0,81 | 0,61 | 1,80 | 1,60 |
| Odchylenie standardowe, % | 0,18 | 0,13 | 0,33 | 0,23 |
| Współczynnik zmienności, % | 32,63 | 23,69 | 38,19 | 25,98 |
| Suma średnich stężeń dobowych, % CH ₄ | 132,18 | 133,73 | 213,00 | 218,14 |
| Suma błędów bezwzględnych, % CH ₄ | 12,20 | | 25,26 | |
| Suma błędów względnych, % | 2 592,97 | | 3 802,22 | |
| Suma <i>r</i> , % CH ₄ | 0,92 | | 4,22 | |
| Współczynnik <i>R</i> ² | 0,93 | | 0,91 | |
| Korelacja liniowa Pearsona | 0,97 | | 0,96 | |

W tabeli 6.16 przedstawiono rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 5.

Tabela 6.16. Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 5

| Przedział błędu, % | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości |
|--------------------|--|---|
| | Liczba błędów | Liczba błędów |
| 0 – 10 | 145 | 129 |
| 10 – 20 | 67 | 64 |
| 20 – 30 | 19 | 18 |
| 30 – 40 | 12 | 11 |
| 40 – 50 | 2 | 11 |
| 50 – 60 | 1 | 3 |
| 60 – 70 | 0 | 5 |
| 70 – 80 | 0 | 1 |
| > 80 | 0 | 4 |
| | Σ246 | Σ246 |

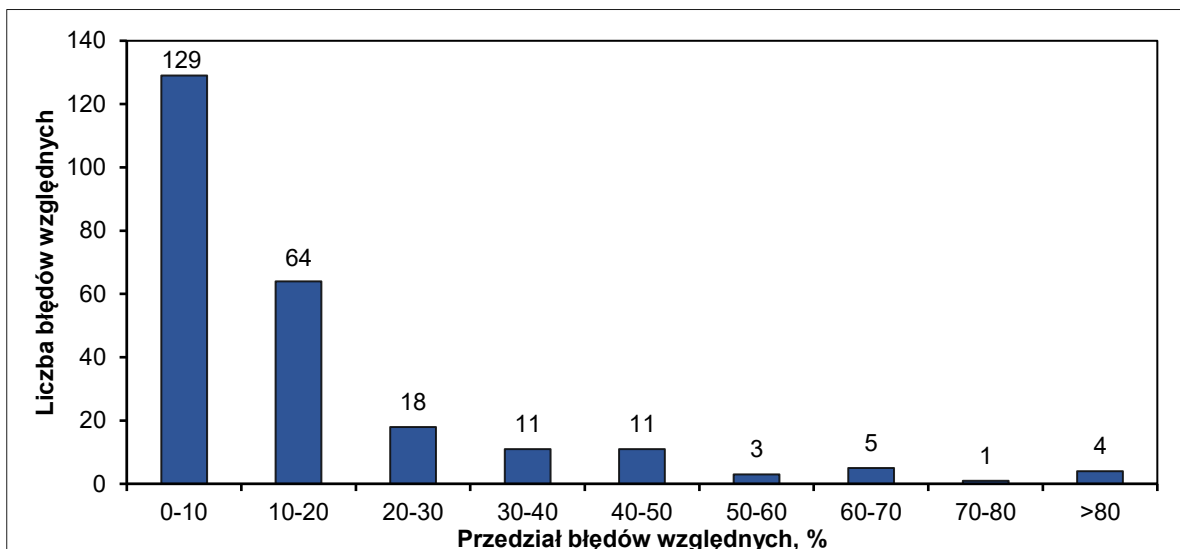
Rysunek 6.62 przedstawia rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 5.



Rys. 6.62. Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 5

Przez 145 dni pomiarowych obserwowano błąd względny w przedziale 0–10%, przez 67 dni w przedziale 10–20%, a przez 19 dni w przedziale 20–30%. W pozostałych badanych 15 dniach błąd względny przekraczał 30%.

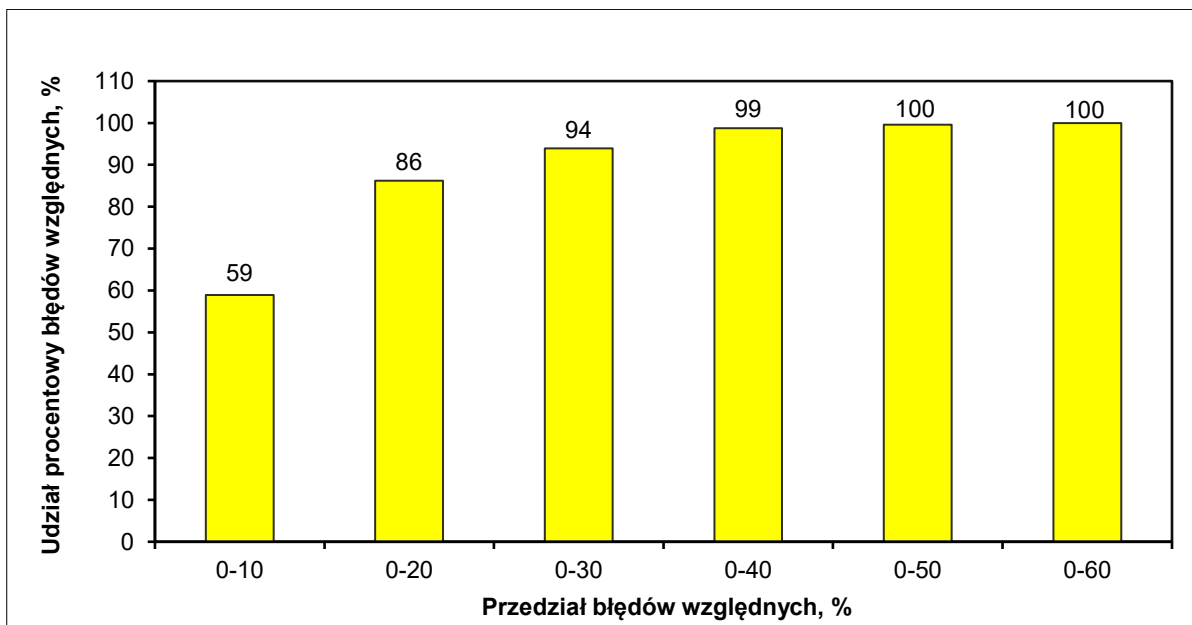
Rysunek 6.63 przedstawia rozkład liczby błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 5.



Rys. 6.63. Rozkład liczby błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 5

Przez 129 dni pomiarowe obserwowano błąd względny w przedziale 0–10%, przez 64 dni w przedziale 10–20%, a przez 18 dni w przedziale 20–30%. W pozostałych badanych 35 dniach błąd względny przekraczał 30%.

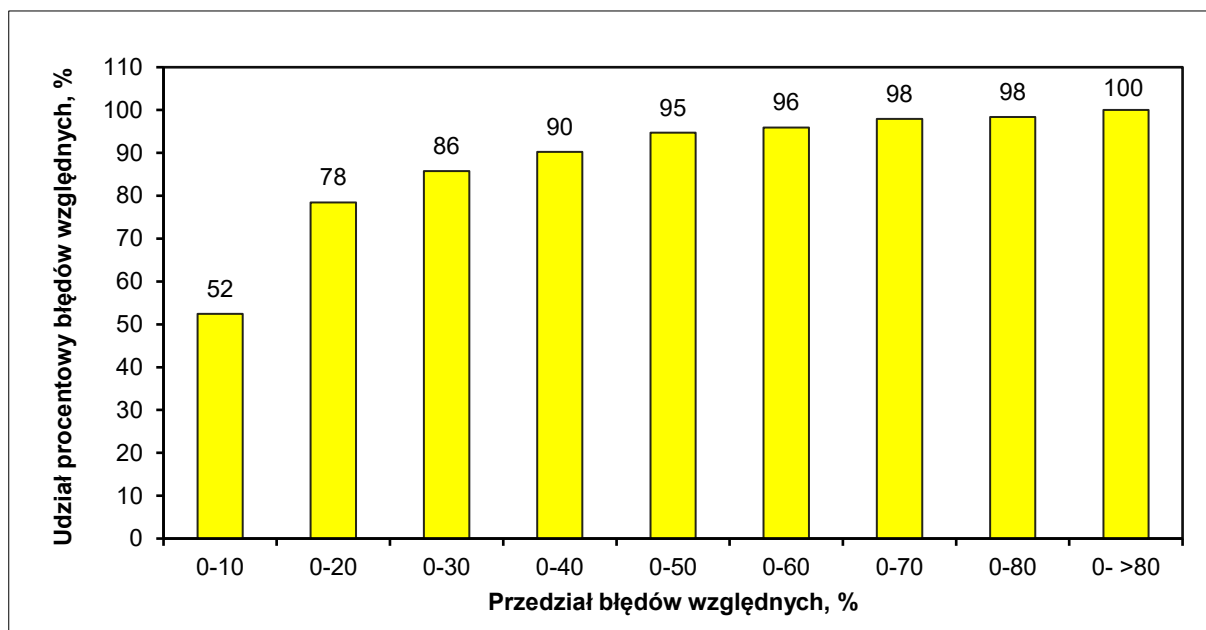
Rysunek 6.64 przedstawia udział procentowy błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 5.



Rys. 6.64. Udział procentowy błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 5 w przedziałach wartości błędów

Wykres (rys.6.64) pokazuje, że w przypadku 59% dni pomiarowych błąd względny prognoz nie przekraczał 10% i jednocześnie w przypadku 94% dni pomiarowych błąd względny prognoz nie przekraczał 30%.

Rysunek 6.65 przedstawia udział procentowy błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 5.



Rys. 6.65. Udział procentowy błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 5 w przedziałach wartości błędów

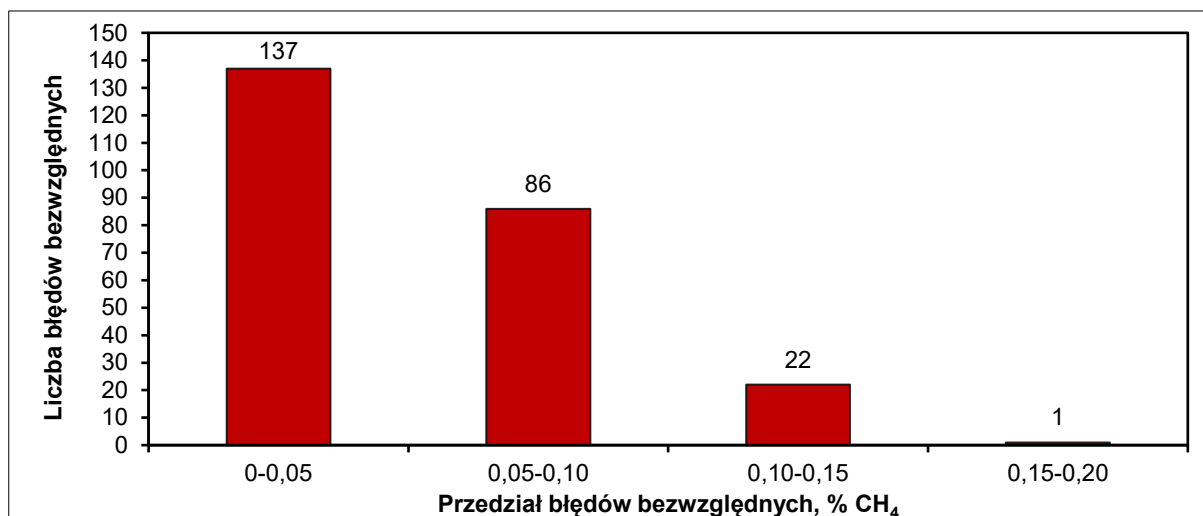
Wykres (rys.6.65) pokazuje, że w 52% dni pomiarowych błąd względny prognoz nie przekraczał 10% i jednocześnie w 86% dni pomiarowych błąd względny prognoz nie przekraczał 30%.

W tabeli 6.17 przedstawiono rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 5.

Tabela 6.17. Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 5

| Przedział błędu, % CH ₄ | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości |
|------------------------------------|--|---|
| | Liczba błędów | Liczba błędów |
| 0 – 0,05 | 137 | 75 |
| 0,05 – 0,10 | 86 | 73 |
| 0,10 – 0,15 | 22 | 41 |
| 0,15 – 0,20 | 1 | 30 |
| 0,20 – 0,25 | 0 | 16 |
| 0,25 – 0,30 | 0 | 5 |
| 0,30 – 0,35 | 0 | 2 |
| 0,35 – 0,40 | 0 | 1 |
| 0,40 – 0,45 | 0 | 1 |
| 0,45 – 0,50 | 0 | 2 |
| | Σ246 | Σ246 |

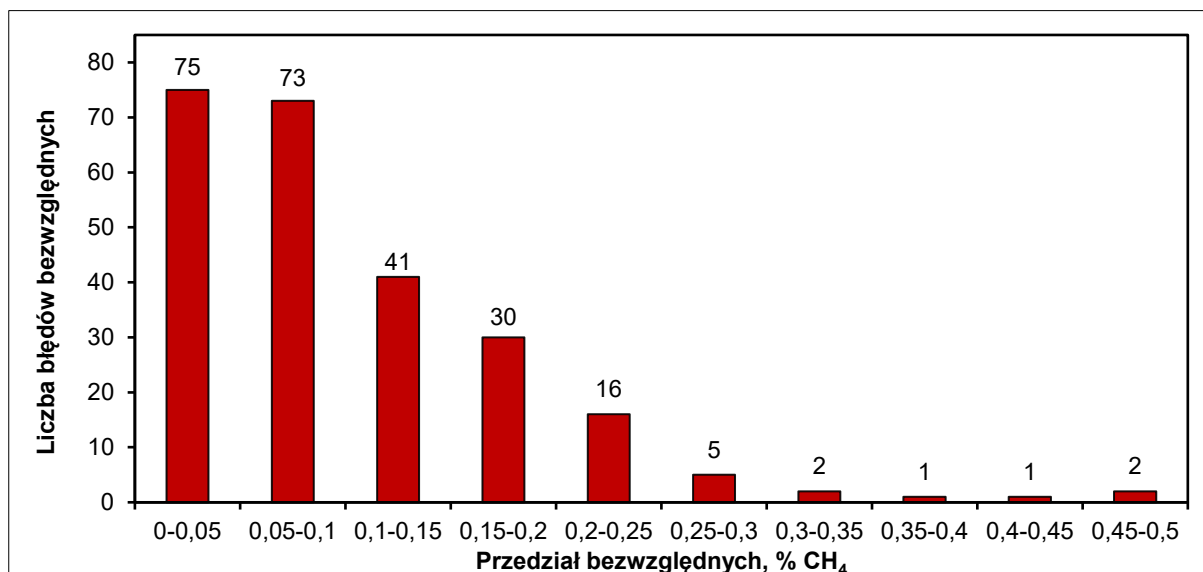
Rysunek 6.66 przedstawia rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średniego stężenia metanu dla ściany 5.



Rys. 6.66. Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 5

Przez 137 dni pomiarowych błąd bezwzględny znajdował się w przedziale 0–0,05% CH₄, przez 86 dni w przedziale 0,05–0,10% CH₄, przez 22 dni w przedziale 0,10–0,15%. Tylko przez jeden dzień pomiarowy znajdował się w przedziale 0,15–0,20% CH₄.

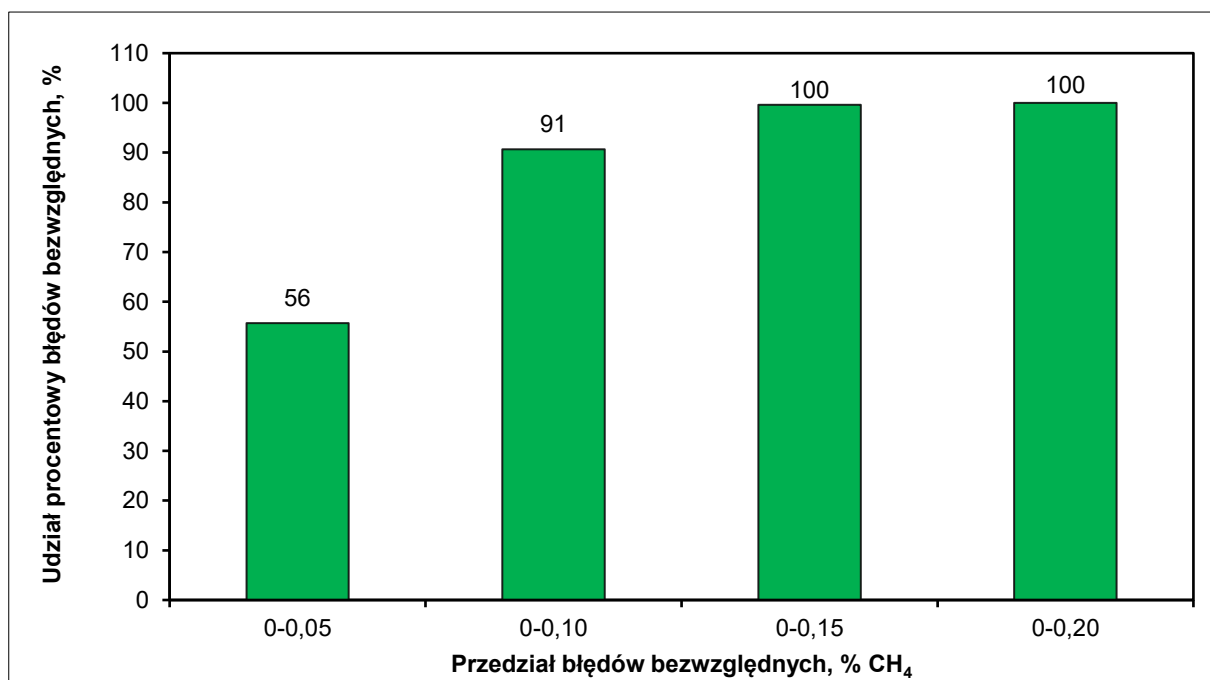
Rysunek 6.67 przedstawia rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz maksymalnego stężenia metanu dla ściany 5.



Rys. 6.67. Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 5

Przez 75 dni pomiarowe błąd bezwzględny znajdował się w przedziale 0–0,05% CH₄, przez 73 dni w przedziale 0,05–0,10% CH₄, przez 41 dni w przedziale 0,10–0,15% CH₄, przez 30 dni w przedziale 0,15–0,20% CH₄. Przez 27 dni pomiarowych poziom błędu przekraczał 0,20% CH₄.

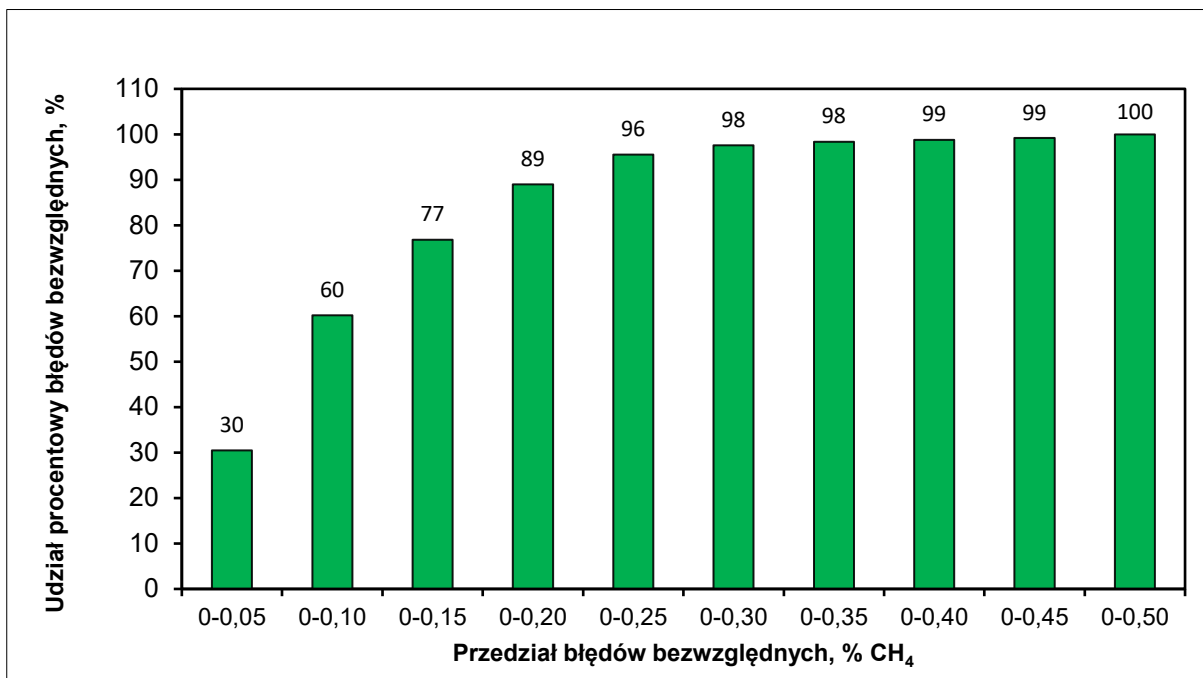
Rysunek 6.68 przedstawia udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 5.



Rys. 6.68. Udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 5 w przedziałach wartości błędów

Wykres (rys.6.68) pokazuje, że w przypadku 56% dni pomiarowych błąd bezwzględny prognoz nie przekraczał 0,05% stężenia CH₄ i jednocześnie w 100% dni pomiarowych błąd bezwzględny prognoz nie przekraczał 0,20% stężenia CH₄.

Rysunek 6.69 przedstawia udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 5.



Rys. 6.69. Udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 5 w przedziałach wartości błędów

Wykres (rys.6.69) pokazuje, że w przypadku 30% dni pomiarowych błąd bezwzględny prognoz nie przekraczał 0,05% stężenia CH₄ i jednocześnie w 89% dni pomiarowych błąd bezwzględny prognoz nie przekraczał 0,20% stężenia CH₄.

6.5.6. Wartości pomiarowe oraz prognozowane średniego i maksymalnego stężenia metanu dla ściany 6

W tabeli 6.18 przedstawiono dane statystyczne charakteryzujące średnie i maksymalne stężenia metanu w omawianym miejscu.

Tabela 6.18. Zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary i prognozy dla ściany 6

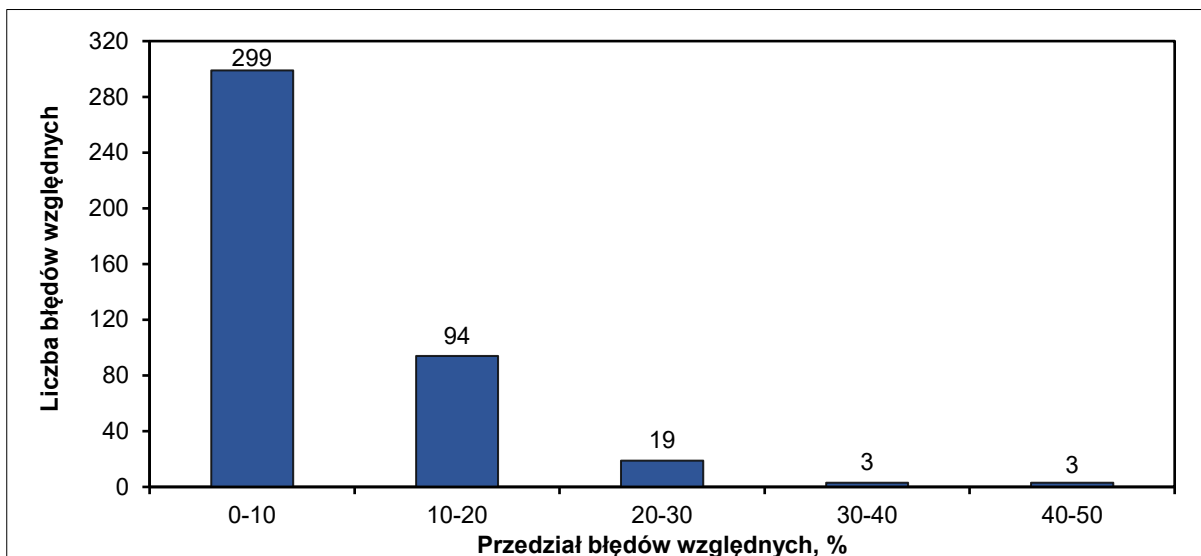
| Parametr statystyczny | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości | |
|--|--|----------|---|----------|
| | pomiary | prognoza | pomiary | prognoza |
| Średnia, % CH ₄ | 0,65 | 0,65 | 1,03 | 1,04 |
| Mediana, % CH ₄ | 0,62 | 0,64 | 1,00 | 1,03 |
| Percentyl 0,75, % CH ₄ | 0,78 | 0,76 | 1,30 | 1,25 |
| Percentyl 0,90, % CH ₄ | 0,94 | 0,88 | 1,60 | 1,45 |
| Minimum, % CH ₄ | 0,25 | 0,31 | 0,30 | 0,45 |
| Maksimum, % CH ₄ | 1,18 | 1,03 | 2,00 | 1,66 |
| Rozstęp (zakres), % CH ₄ | 0,93 | 0,72 | 1,70 | 1,21 |
| Odchylenie standardowe, % | 0,20 | 0,15 | 0,39 | 0,29 |
| Współczynnik zmienności, % | 31,22 | 23,65 | 38,08 | 27,69 |
| Suma stężeń dobowych, % CH ₄ | 270,92 | 272,15 | 432,80 | 434,22 |
| Suma błędów bezwzględnych, % CH ₄ | 20,43 | | 43,68 | |
| Suma błędów względnych, % | 3 410,29 | | 4 813,74 | |
| Suma <i>r</i> , % CH ₄ | 1,61 | | 8,19 | |
| Współczynnik <i>R</i> ² | 0,95 | | 0,93 | |
| Korelacja liniowa Pearsona | 0,98 | | 0,96 | |

W tabeli 6.19 przedstawiono rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 6.

Tabela 6.19 Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 6

| Przedział błędu, % | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości |
|--------------------|--|---|
| | Liczba błędów | Liczba błędów |
| 0 – 10 | 299 | 241 |
| 10 – 20 | 94 | 113 |
| 20 – 30 | 19 | 44 |
| 30 – 40 | 3 | 10 |
| 40 – 50 | 3 | 5 |
| 50 – 60 | 0 | 2 |
| 60 – 70 | 0 | 1 |
| 70 – 80 | 0 | 1 |
| > 80 | 0 | 2 |
| | Σ418 | Σ418 |

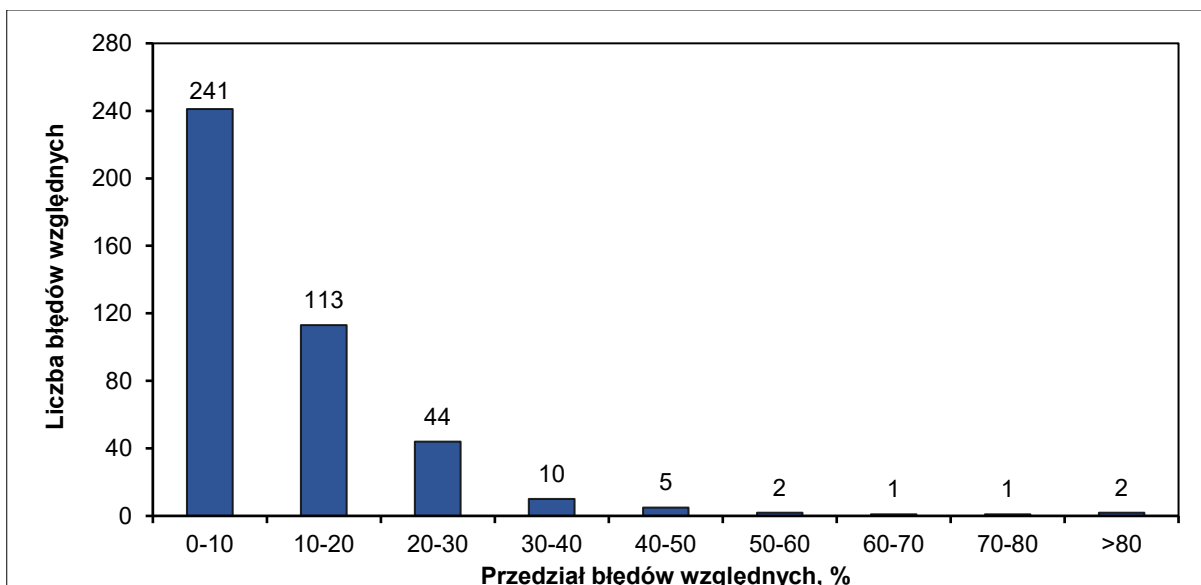
Rysunek 6.70 przedstawia rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 6.



Rys. 6.70. Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 6

Przez 299 dni pomiarowych obserwowano błąd względny w przedziale 0–10%, przez 94 dni w przedziale 10–20%, a przez 19 dni w przedziale 20–30%. W pozostałych badanych sześciu dniach błąd względny przekraczał 30%.

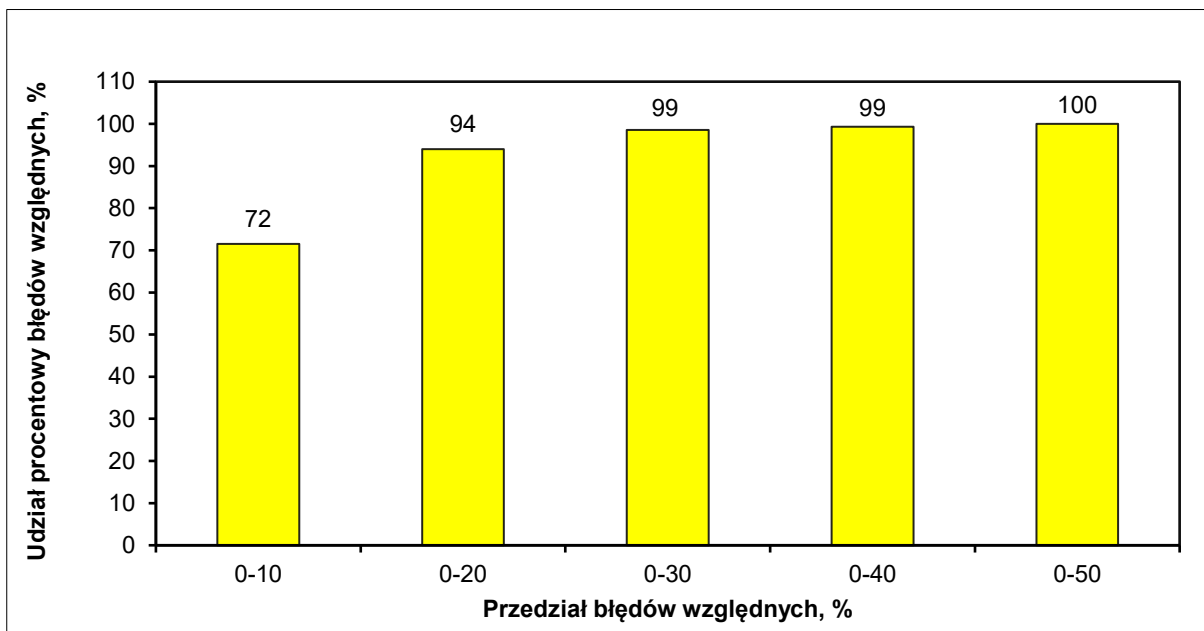
Rysunek 6.71 przedstawia rozkład liczby błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 6.



Rys. 6.71. Rozkład liczby błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 6

Przez 241 dni pomiarowych obserwowano błąd względny w przedziale 0–10%, przez 113 dni w przedziale 10–20%, a przez 44 dni w przedziale 20–30%. W pozostałych badanych 21 dniach błąd względny przekraczał 30%.

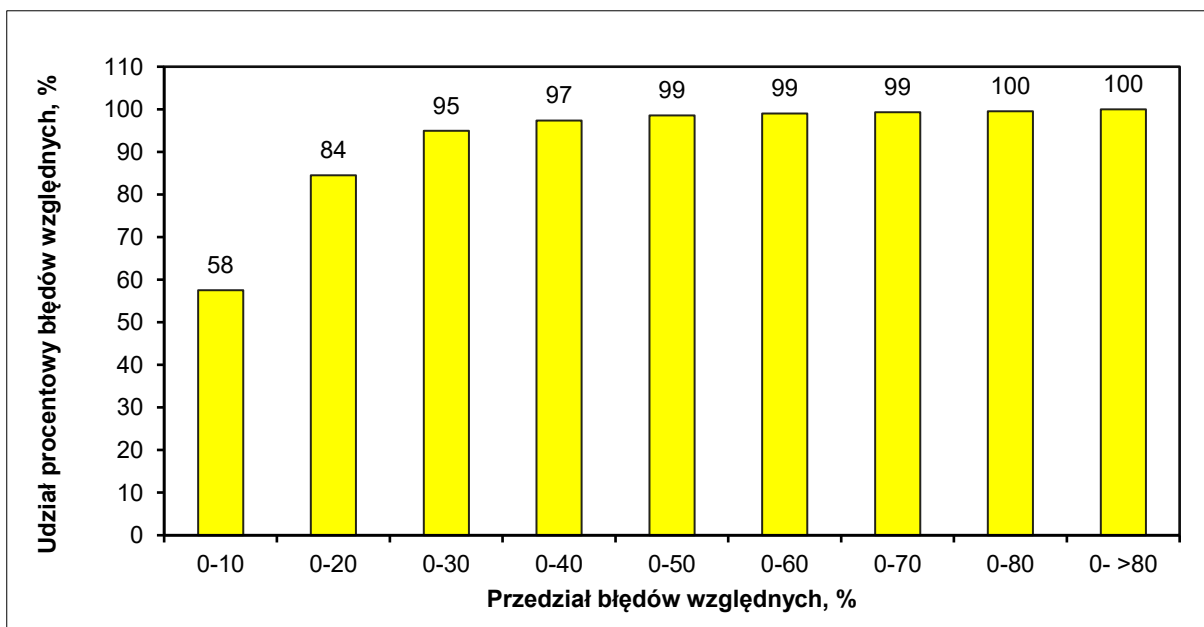
Rysunek 6.72 przedstawia udział procentowy błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 6.



Rys. 6.72. Udział procentowy błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 6 w przedziałach wartości błędów

Wykres (rys.6.72) pokazuje, że w 72% dni pomiarowych błąd względny prognoz nie przekraczał 10% i jednocześnie w 99% dni pomiarowych błąd względny prognoz nie przekraczał 30%.

Rysunek 6.73 przedstawia udział procentowy błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 6.



Rys. 6.73. Udział procentowy błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 6 w przedziałach wartości błędów

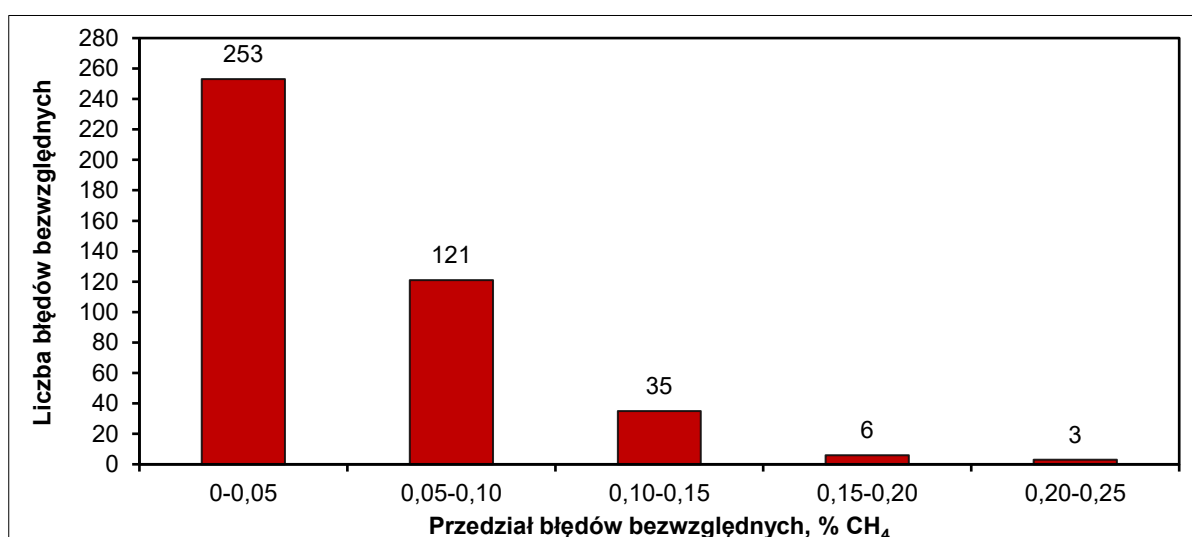
Wykres (rys.6.73) pokazuje, że w 58% dni pomiarowych błąd względny prognoz nie przekraczał 10% i jednocześnie w 95% dni pomiarowych błąd względny prognoz nie przekraczał 30%.

W tabeli 6.20 przedstawiono rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 6.

Tabela 6.20. Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz i średnich i maksymalnych wartości dla ściany 6

| Przedział błędu, % CH ₄ | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości |
|------------------------------------|--|---|
| | Liczba błędów | Liczba błędów |
| 0 – 0,05 | 253 | 135 |
| 0,05 – 0,10 | 121 | 117 |
| 0,10 – 0,15 | 35 | 77 |
| 0,15 – 0,20 | 6 | 37 |
| 0,20 – 0,25 | 3 | 21 |
| 0,25 – 0,30 | 0 | 14 |
| 0,30 – 0,35 | 0 | 5 |
| 0,35 – 0,40 | 0 | 6 |
| 0,40 – 0,45 | 0 | 3 |
| 0,45 – 0,50 | 0 | 1 |
| 0,50 – 0,55 | 0 | 1 |
| > 0,55 | 0 | 2 |
| | Σ418 | Σ418 |

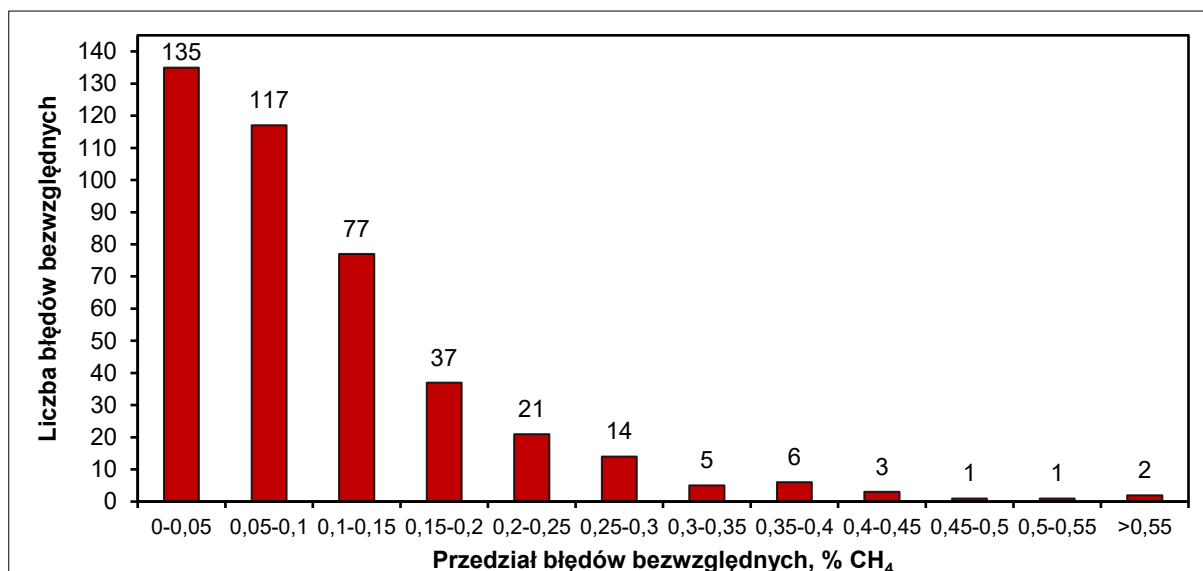
Rysunek 6.74 przedstawia rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średniego stężenia metanu dla ściany 6.



Rys. 6.74. Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 6

Przez 253 dni pomiarowe błąd bezwzględny znajdował się w przedziale 0–0,05% CH₄, przez 121 dni w przedziale 0,05–0,10% CH₄, przez 35 dni w przedziale 0,10–0,15%. Przez sześć dni pomiarowe znajdował się w przedziale 0,15–0,20% CH₄. Tylko przez trzy dni pomiarowe poziom błędu przekraczał 0,20% CH₄.

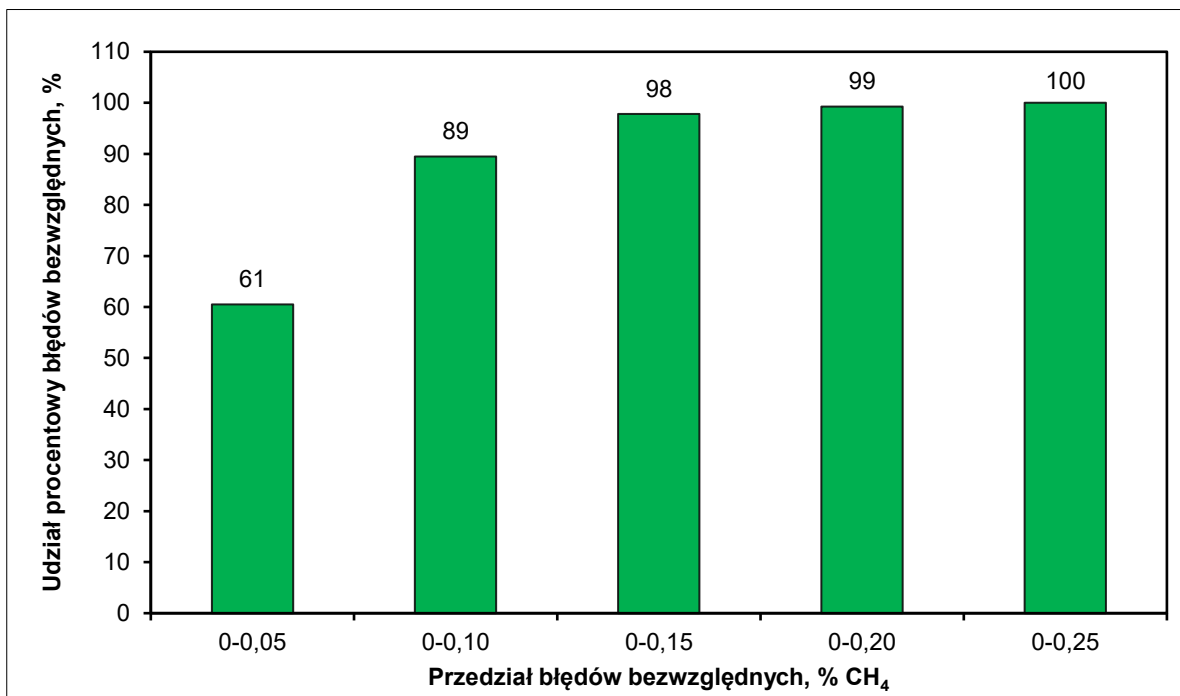
Rysunek 6.75 przedstawia rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz maksymalnego stężenia metanu dla ściany 6.



Rys. 6.75. Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 6

Przez 135 dni pomiarowych błąd bezwzględny znajdował się w przedziale 0–0,05% CH₄, przez 117 dni w przedziale 0,05–0,10% CH₄, przez 77 dni w przedziale 0,10–0,15%. Przez 37 dni w przedziale 0,15–0,20% CH₄. Przez 53 dni pomiarowe poziom błędu przekraczał 0,20% CH₄.

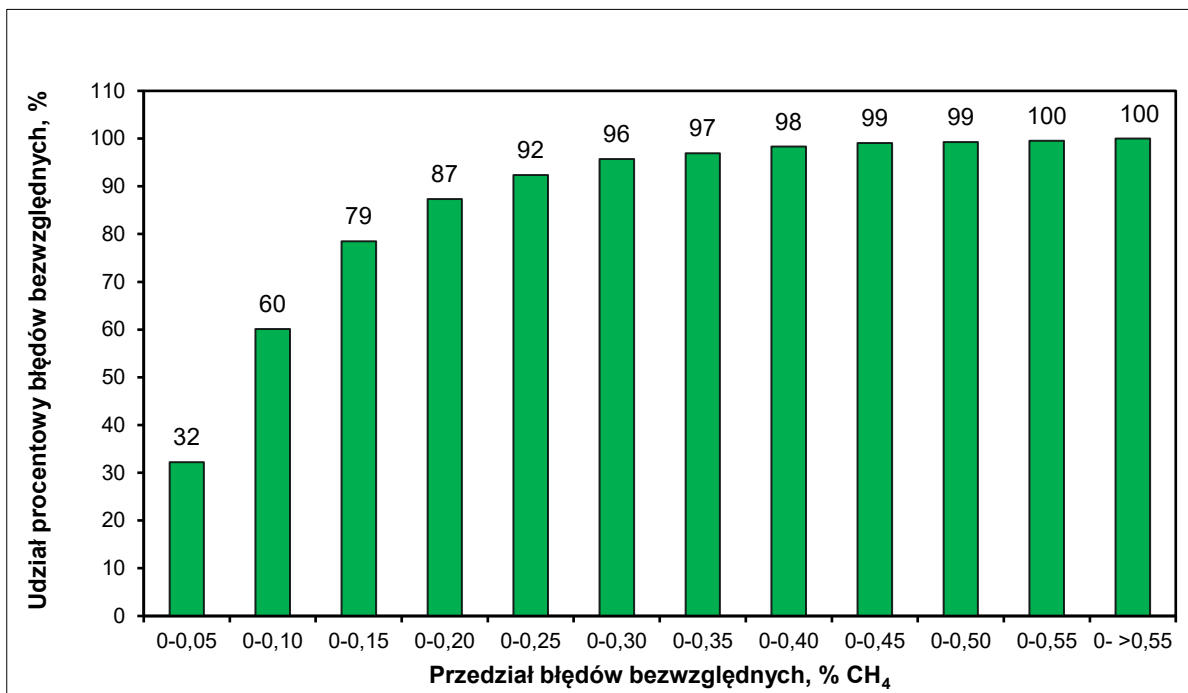
Rysunek 6.76 przedstawia udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu w przedziałach dla ściany 6.



Rys. 6.76. Udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 6 w przedziałach wartości błędów

Wykres (rys.6.76) pokazuje, że w 61% dni pomiarowych błąd bezwzględny prognoz nie przekraczał 0,05% stężenia CH₄ i jednocześnie w 99% dni pomiarowych błąd bezwzględny prognoz nie przekraczał 0,20% stężenia CH₄.

Rysunek 6.77 przedstawia udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 6.



Rys. 6.77. Udział procentowy udział bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 6 w przedziałach wartości błędów

Wykres (rys.6.77) pokazuje, że w 32% dni pomiarowych błąd bezwzględny prognoz nie przekraczał 0,05% stężenia CH₄ i jednocześnie w 87% dni pomiarowych błąd bezwzględny prognoz nie przekraczał 0,20% stężenia CH₄.

6.5.7. Wartości pomiarowe oraz prognozowane średniego i maksymalnego stężenia metanu dla ściany 7

W tabeli 6.21 przedstawiono dane statystyczne charakteryzujące średnie i maksymalne stężenia metanu w omawianym miejscu.

Tabela 6.21. Zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary i prognozy dla ściany 7

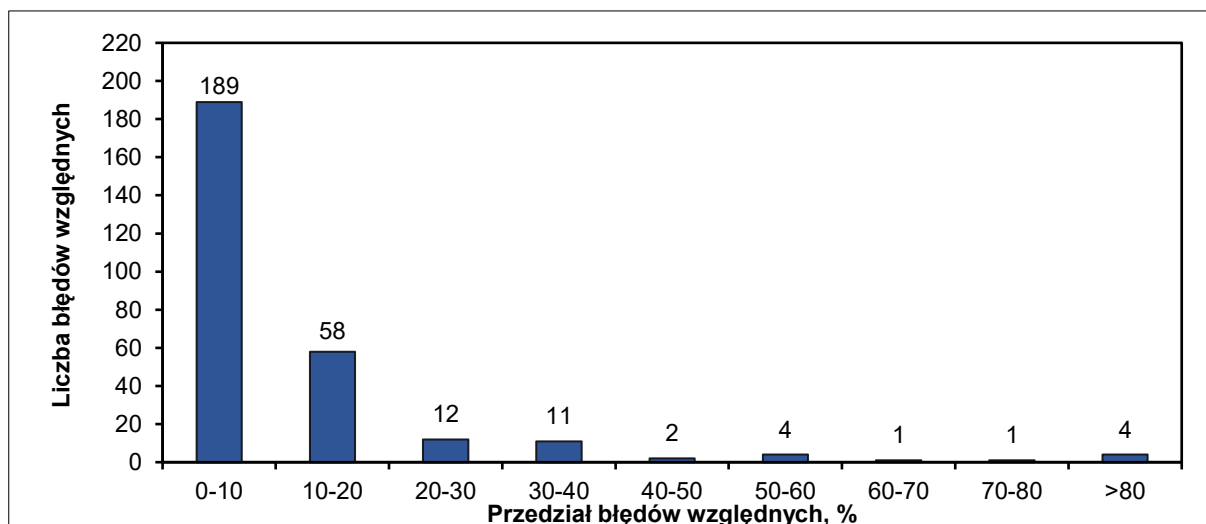
| Parametr statystyczny | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości | |
|--|--|----------|---|----------|
| | pomiary | prognoza | pomiary | prognoza |
| Średnia, % CH ₄ | 0,33 | 0,33 | 0,74 | 0,76 |
| Mediana, % CH ₄ | 0,27 | 0,27 | 0,50 | 0,61 |
| Percentyl 0,75, % CH ₄ | 0,37 | 0,38 | 0,90 | 1,02 |
| Percentyl 0,90, % CH ₄ | 0,63 | 0,65 | 1,70 | 1,38 |
| Minimum, % CH ₄ | 0,10 | 0,11 | 0,10 | 0,27 |
| Maksimum, % CH ₄ | 1,32 | 1,15 | 2,00 | 2,14 |
| Rozstęp (zakres), % CH ₄ | 1,22 | 1,04 | 1,90 | 1,87 |
| Odchylenie standardowe, % | 0,21 | 0,19 | 0,54 | 0,39 |
| Współczynnik zmienności, % | 64,16 | 58,24 | 73,68 | 51,55 |
| Suma średnich stężeń dobowych, % CH ₄ | 93,35 | 94,33 | 208,90 | 214,68 |
| Suma błędów bezwzględnych, % CH ₄ | 9,45 | | 47,15 | |
| Suma błędów względnych, % | 3 306,83 | | 8 839,54 | |
| Suma <i>r</i> , % CH ₄ | 0,86 | | 15,21 | |
| Współczynnik <i>R</i> ² | 0,93 | | 0,86 | |
| Korelacja liniowa Pearsona | 0,97 | | 0,93 | |

W tabeli 6.22 przedstawiono rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 7.

Tabela 6.22. Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 7

| Przedział błędu, % | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości |
|--------------------|--|---|
| | Liczba błędów | Liczba błędów |
| 0 – 10 | 189 | 99 |
| 10 – 20 | 58 | 46 |
| 20 – 30 | 12 | 33 |
| 30 – 40 | 11 | 38 |
| 40 – 50 | 2 | 14 |
| 50 – 60 | 4 | 13 |
| 60 – 70 | 1 | 10 |
| 70 – 80 | 1 | 6 |
| > 80 | 5 | 24 |
| | Σ282 | Σ282 |

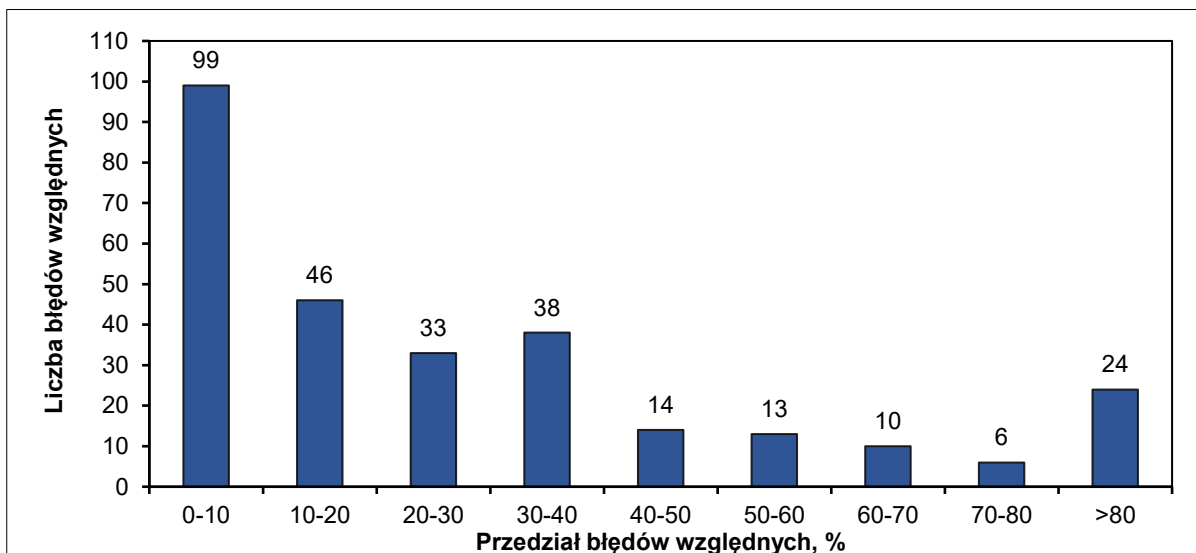
Rysunek 6.78 przedstawia rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 7.



Rys. 6.78. Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 7

Przez 189 dni pomiarowych obserwowano błąd względny w przedziale 0–10%, przez 58 dni w przedziale 10–20%, a przez 12 dni w przedziale 20–30%. W pozostałych badanych 23 dniach błąd względny przekraczał 30%.

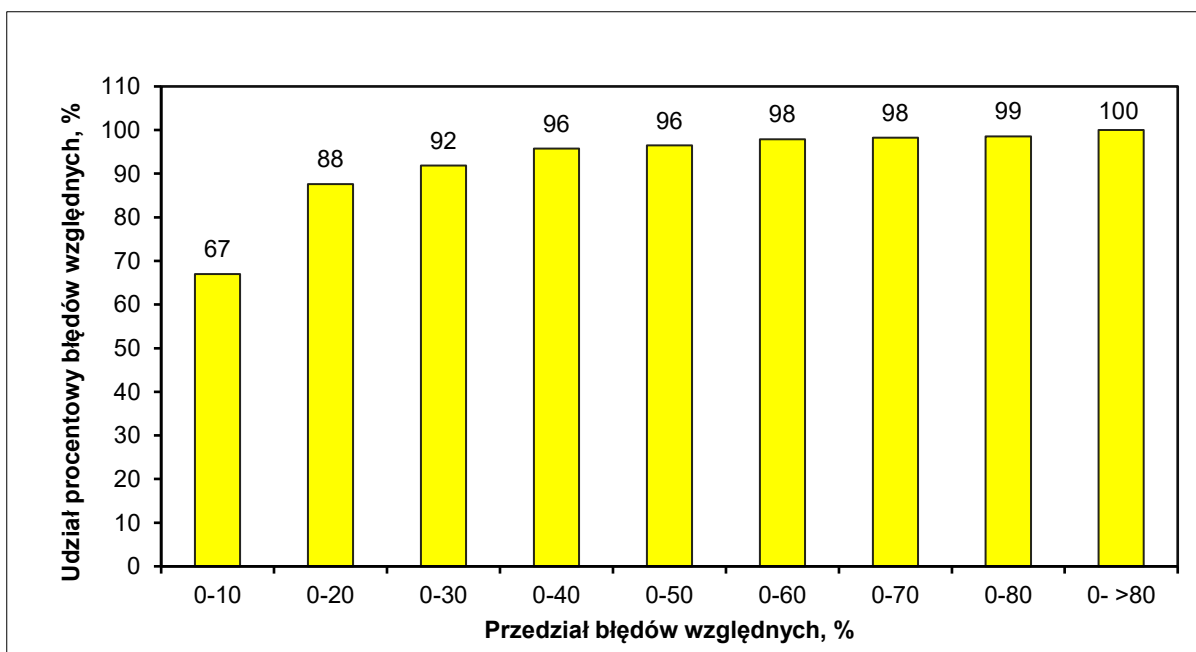
Rysunek 6.79 przedstawia rozkład liczby błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 7.



Rys. 6.79. Rozkład liczby błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 7

Przez 99 dni pomiarowych obserwowano błąd względny w przedziale 0–10%, przez 46 dni w przedziale 10–20%, a przez 33 dni w przedziale 20–30%. W pozostałych badanych 105 dniach błąd względny przekraczał 30%.

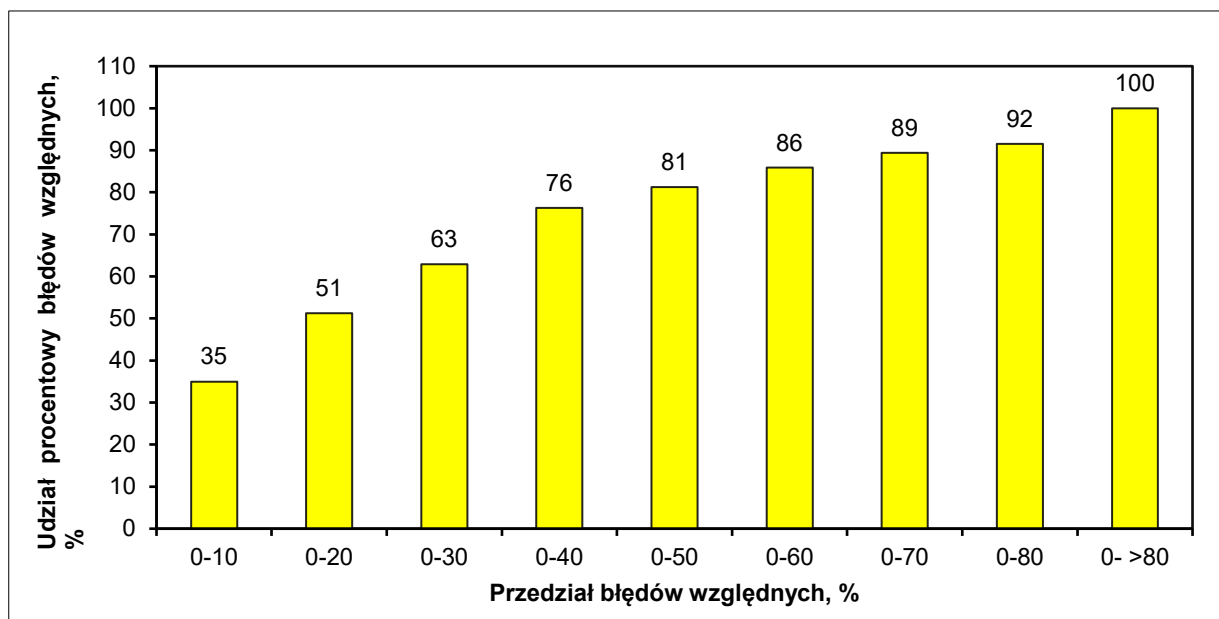
Rysunek 6.80 przedstawia udział procentowy błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 7.



Rys. 6.80. Udział procentowy błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 7 w przedziałach wartości błędów

Wykres (rys.6.80) pokazuje, że w 67% dni pomiarowych błąd względny prognoz nie przekraczał 10% i jednocześnie w 92% dni pomiarowych błąd względny prognoz nie przekraczał 30%.

Rysunek 6.81 przedstawia udział procentowy błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 7.



Rys. 6.81. Udział procentowy błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 7 w przedziałach wartości błędów

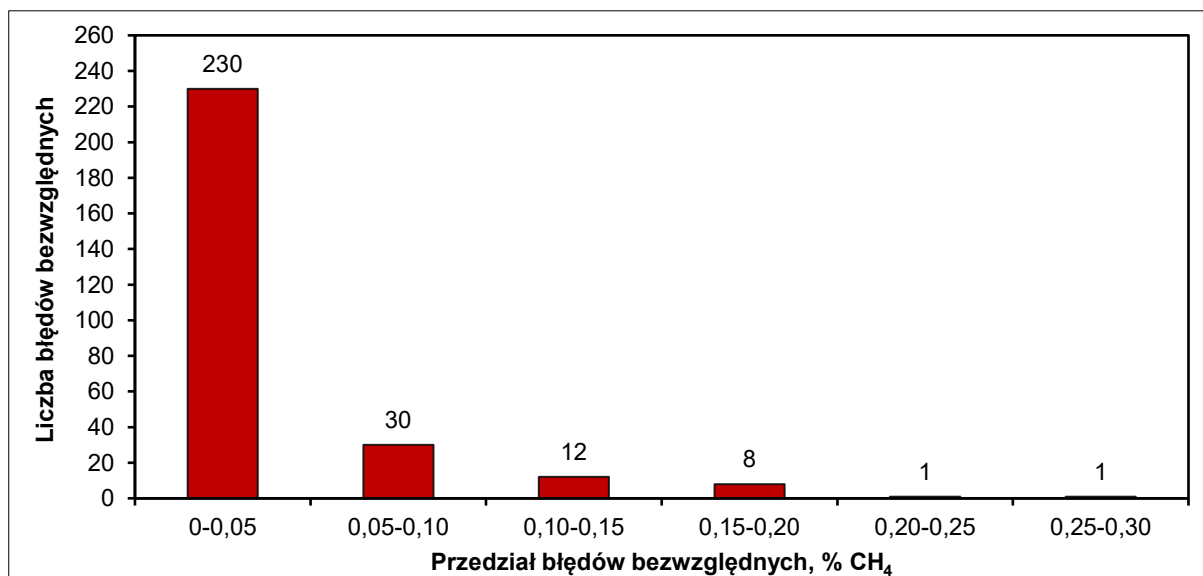
Wykres (rys.6.81) pokazuje, że w 35% dni pomiarowych błąd względny prognoz nie przekraczał 10% i jednocześnie w 63% dni pomiarowych błąd względny prognoz nie przekraczał 30%.

W tabeli 6.23 przedstawiono rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 6.

Tabela 6.23. Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 7

| Przedział błędu, % CH ₄ | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, średnie wartości | Chodnik wentylacyjny, do 10 m przed ścianą, maksymalne wartości |
|------------------------------------|--|---|
| | Liczba błędów | Liczba błędów |
| 0 – 0,05 | 230 | 85 |
| 0,05 – 0,10 | 30 | 42 |
| 0,10 – 0,15 | 12 | 32 |
| 0,15 – 0,20 | 8 | 31 |
| 0,20 – 0,25 | 1 | 29 |
| 0,25 – 0,30 | 1 | 15 |
| 0,30 – 0,35 | 0 | 10 |
| 0,35 – 0,40 | 0 | 9 |
| 0,40 – 0,45 | 0 | 7 |
| 0,45 – 0,50 | 0 | 3 |
| 0,50 – 0,55 | 0 | 7 |
| > 0,55 | 0 | 13 |
| | Σ282 | Σ282 |

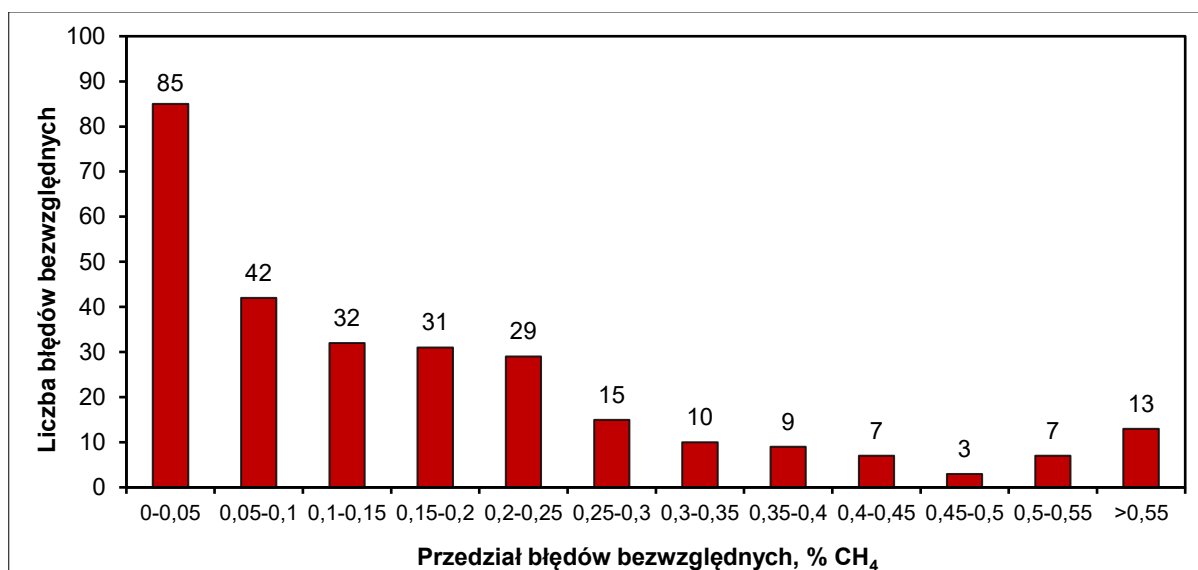
Rysunek 6.82 przedstawia rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średniego stężenia metanu dla ściany 7.



Rys. 6.82. Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 7

Przez 230 dni pomiarowych błąd bezwzględny znajdował się w przedziale 0–0,05% CH₄, przez 30 dni w przedziale 0,05–0,10% CH₄, przez 12 dni przedziale 0,10–0,15% CH₄. Przez osiem dni pomiarowych znajdował się w przedziale 0,15–0,20% CH₄. Tylko przez dwa dni pomiarowe poziom błędu przekraczał 0,20% CH₄.

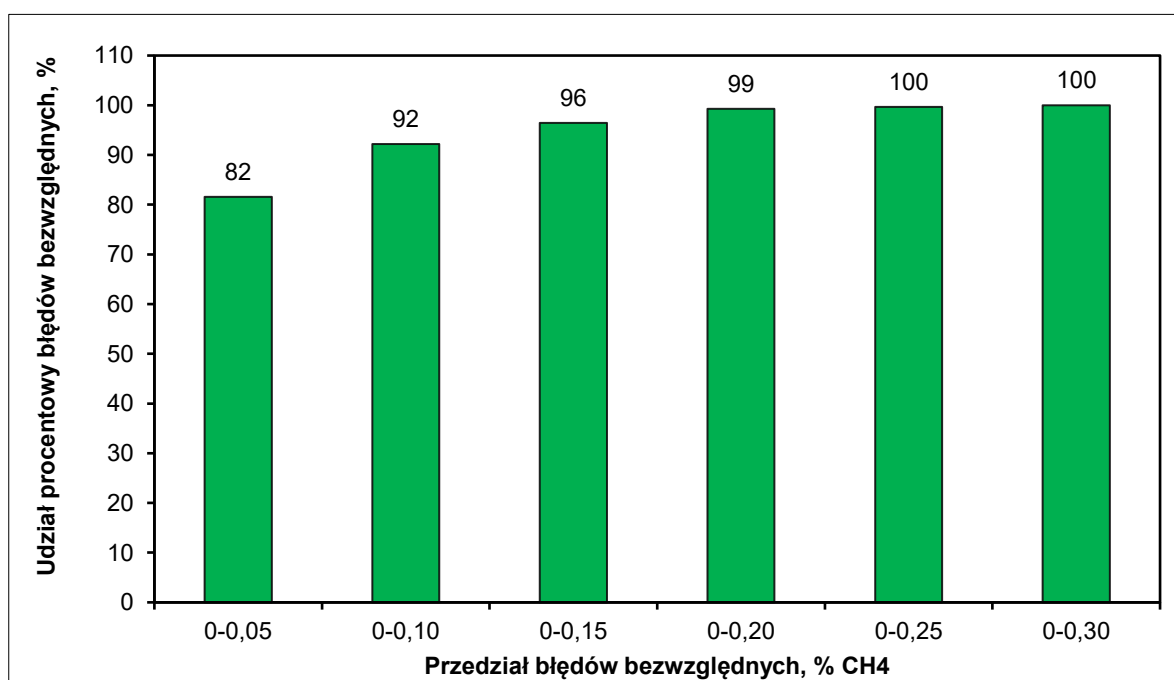
Rysunek 6.83 przedstawia rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz maksymalnego stężenia metanu dla ściany 7.



Rys. 6.83. Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 7

Przez 85 dni pomiarowych błąd bezwzględny znajdował się w przedziale 0–0,05% CH₄, przez 42 dni w przedziale 0,05–0,10% CH₄, przez 32 dni w przedziale 0,10–0,15% CH₄. Przez 31 dni w przedziale 0,15–0,20% CH₄. Przez 93 dni pomiarowe poziom błędu przekraczał 0,20% CH₄.

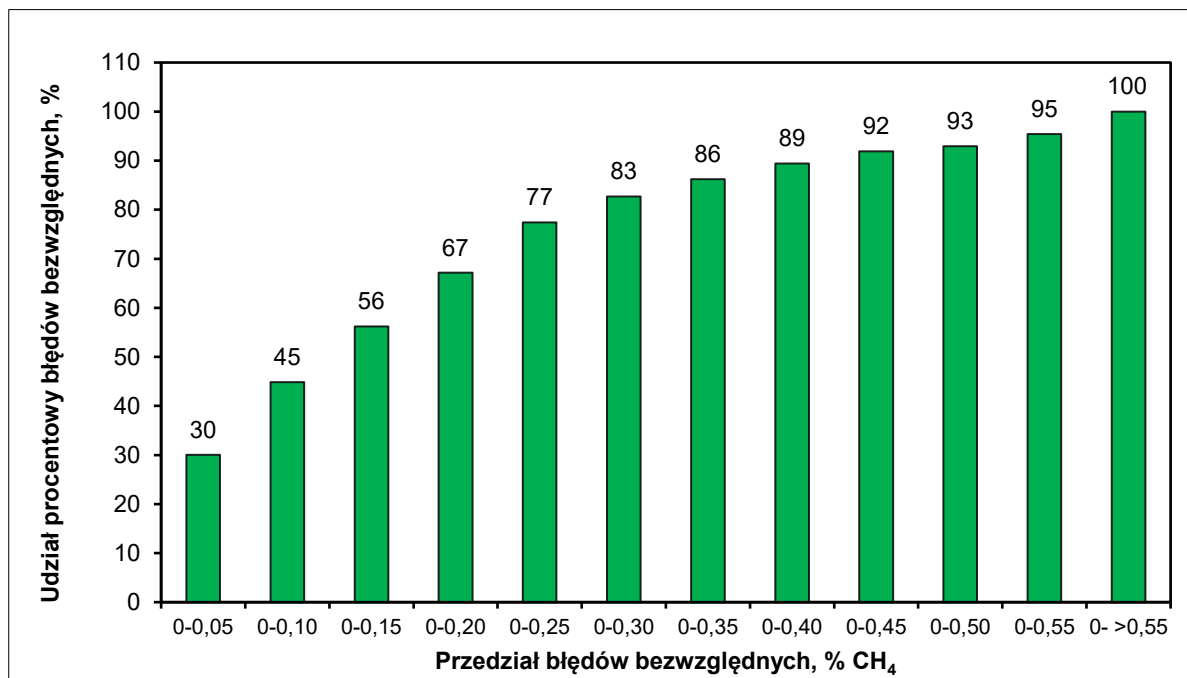
Rysunek 6.84 przedstawia udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 7.



Rys. 6.84. Udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 7 w przedziałach wartości błędów

Wykres (rys.6.84) pokazuje, że w 82% dni pomiarowych błąd bezwzględny prognoz nie przekraczał 0,05% stężenia CH₄ i jednocześnie w 99% dni pomiarowych błąd bezwzględny prognoz nie przekraczał 0,20% stężenia CH₄.

Rysunek 6.85 przedstawia udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 7.



Rys. 6.85. Udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 7 w przedziałach wartości błędów

Wykres (rys.6.85) pokazuje, że w 30% dni pomiarowych błąd bezwzględny prognoz nie przekraczał 0,05% stężenia CH₄ i jednocześnie w 67% dni pomiarowych błąd bezwzględny prognoz nie przekraczał 0,20% stężenia CH₄.

7. Porównanie prognoz stężenia metanu i ich błędów otrzymanych z wykorzystaniem metod bazowej i autorskiej

7.1. Szczegółowe wnioski

Szczegółowe wnioski odnoszą się do poszczególnych prognoz uzyskanych z wykorzystaniem zarówno metody autorskiej, jak i bazowej. Ponadto jako wprowadzenie do dyskusji dotyczącej poszczególnych etapów wnioskowania, przedstawiono analizę materiału źródłowego, czyli danych pomiarowych, na podstawie których prognozy były dokonywane. Podejście takie umożliwia wprowadzenie w realia analizowanego zjawiska zanim pojawią się wyniki prognoz, a następnie odpowiednie wnioski. Warto także zaznaczyć, że zwięzła analiza zbiorczych danych pomiarowych ma pozytywny wpływ na jakość i podniesienie poziomu przejrzystości pracy.

7.1.1. Analiza danych pomiarowych

Dane pochodzące z pomiarów, które przedstawiono we wcześniejszych rozdziałach, były zbierane z siedmiu ścian wydobywczych i dotyczyły zarówno średnich jak i maksymalnych wartości dla procentowych stężeń metanu. Ich ilość jednak różniła się w zależności od ściany, a różnice te były dość znaczące - od 67 (uwzględnionych 64) dla ściany 3 do 421 dla ściany 6. Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary z ich podsumowaniem zostało podzielone na części odpowiadające średnim wartościom i maksymalnym wartościom. Taki podział wynikał między innymi z odmienności sposobu wyznaczania wartości pomiarowych.

O ile sposób wyznaczania maksymalnych wartości nie powinien budzić wątpliwości, to średnie wartości wymagają pewnego komentarza. Średnia wartość jest mianowicie, arytmetyczną średnią ważoną uzyskaną z 86 400 pomiarów dokonywanych co sekundę w dobowym interwale pomiarowym. Innymi słowy mowa tu o „ważeniu czasem”, co ma istotny wpływ na końcową wartość. Tego typu podejście „wygładza” przebieg pomiarowy, a wartości „zachowują się” odmiennie od skrajnych wartości, jakimi są maksymalne poziomy. W związku z powyższym należało je rozróżnić i potraktować w odmienny sposób. Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących średnie wartości pomiarowe zostało przedstawione w tabeli 7.1.

Tabela 7.1. Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary średniego stężenia metanu cz.1

| Numer ściany | Parametry średnich wartości pomiarowych | | |
|--------------|--|-------------------------------|-----------------------------|
| | Suma stężeń dobowych, % CH ₄ | Współczynnik zmienności, % | Odchylenie standardowe,% |
| 1 | 84,10 | 31,01 | 0,15 |
| 2 | 143,77 | 32,78 | 0,25 |
| 3 | 52,97 | 41,33 | 0,35 |
| 4 | 57,21 | 28,62 | 0,11 |
| 5 | 132,18 | 32,63 | 0,18 |
| 6 | 270,92 | 31,22 | 0,20 |
| 7 | 93,35 | 64,16 | 0,21 |

Analizując sumy stężeń dobowych CH₄ można zauważyć, że najmniejsza wartość występowała dla ściany 3, dla której wykonano najmniejszą liczbę pomiarów, natomiast dla ściany 6, gdzie pomiarów było najwięcej wartość sumy była największa. Jest to dość istotne dla porównania wartości pomiarowych z wartościami uzyskiwanymi za pomocą dwóch metod prognozowania. Umożliwi to bowiem odniesienie się do skuteczności prognoz. Warto dodać, że odchylenie standardowe populacji, obliczone dla sumy stężeń, wynosiło 73,58% i wartość ta została wykorzystana przy porównywaniu z adekwatną wartością uzyskaną dla obydwu metod prognozowania, co przedstawiono w dalszej części rozdziału.

W przypadku współczynników zmienności, rozumianych jako iloraz odchylenia standardowego i średniej dla populacji, można zauważyć, że dane (wartości pomiarowe), które zostały wykorzystane do przeprowadzenia prognoz, były silnie zróżnicowane. Porównując wartości skrajne, tj. 28,62% dla ściany 4 i 64,16% dla ściany 7, jest widoczna, ponad dwukrotna różnica. Ma to przełożenie na „warunki pracy” metod prognozowania. Innymi słowy, od metody prognozowania oczekuje się, że otrzymane wyniki będą obarczone jak najmniejszym błędem, z drugiej strony dane są silnie zróżnicowane, co w sposób dość oczywisty przekłada się na „trudne” warunki predykcji względem danych wejściowych. Na silne zróżnicowanie danych pomiarowych można jednak patrzeć zarówno w kategorii wad, jak i zalet. Wadą są wspomniane trudne warunki prognozy, z drugiej strony jest to zaleta, ponieważ umożliwia lepsze rozróżnienie jakości wyników otrzymanych z wykorzystaniem metody bazowej i autorskiej.

Odchylenia standardowe można potraktować natomiast jako swoiste uzupełnienie współczynnika zmienności oraz jako składową niezbędną do jego obliczenia. Najmniejsza wartość współczynnika zmienności uzyskana dla ściany 4

odpowiada najmniejszej wartości odchylenia standardowego. Dla maksymalnej wartości, czyli ściany 7, dla której wspomniany współczynnik wynosił 64,16%, odchylenie standardowe wynoszące 0,21%, nie było jednak maksymalne. Maksimum wynosiło 0,35% i zostało uzyskane dla ściany 3. Wskazywało to ponownie na duże zróżnicowanie danych pomiarowych dla poszczególnych ścian wydobywczych. W dalszej części rozprawy zostały przedstawione wnioski dotyczące wartości skrajnych, czyli minimum i maksimum oraz mediany i średniej. Wartości te zostały zbiorczo przedstawione w tabeli 7.2.

Tabela 7.2. Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary średniego stężenia metanu cz. 2

| Numer ściany | Parametry średnich wartości pomiarowych | | | |
|--------------|---|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | Maksimum, % CH ₄ | Minimum, % CH ₄ | Mediana, % CH ₄ | Średnia, % CH ₄ |
| 1 | 1,01 | 0,19 | 0,46 | 0,48 |
| 2 | 1,31 | 0,29 | 0,75 | 0,75 |
| 3 | 1,50 | 0,31 | 0,74 | 0,84 |
| 4 | 0,74 | 0,20 | 0,38 | 0,38 |
| 5 | 1,01 | 0,20 | 0,50 | 0,54 |
| 6 | 1,18 | 0,25 | 0,62 | 0,65 |
| 7 | 1,32 | 0,10 | 0,27 | 0,33 |

W przypadku maksymalnych wartości różnica między największą i najmniejszą z nich wynosiła 0,76% CH₄, jednak iloraz tych wartości przekraczał dwa, co wskazywało, że różnice danych pomiarowych dla poszczególnych ścian były znaczne. Podobną sytuację zaobserwowano dla minimalnych wartości. Wnioski dotyczące mediany i średniej wartości były dość oczywiste mediana nie przekraczała średniej wartości, a tylko w jednym przypadku (ściana 4) zrównywała się z nią. Oznacza to, że w większości przypadków średnia była większa od mediany, co było następstwem stosunkowo małej liczby grupy pomiarów wysokich (znacznie przekraczających średnią) stężeń metanu. Można to zinterpretować także jako stosunkowo rzadkie występowanie znacznych pików (skokowego wzrostu) stężenia metanu, co ma istotny wpływ na opracowanie prognozy. Wartości parametrów statystycznych przedstawione w tabeli 7.3 są niejako konsekwencją wcześniej opisanych spostrzeżeń.

Tabela 7.3. Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary średniego stężenia metanu cz. 3

| Numer ściany | Parametry średnich wartości pomiarowych | | |
|--------------|---|-----------------------------------|-------------------------------------|
| | Percentyl 0,75, % CH ₄ | Percentyl 0,90, % CH ₄ | Rozstęp (zakres), % CH ₄ |
| 1 | 0,57 | 0,68 | 0,82 |
| 2 | 0,92 | 1,12 | 1,02 |
| 3 | 1,14 | 1,39 | 1,19 |
| 4 | 0,46 | 0,52 | 0,54 |
| 5 | 0,67 | 0,80 | 0,81 |
| 6 | 0,78 | 0,94 | 0,93 |
| 7 | 0,37 | 0,63 | 1,22 |

W przypadku poszczególnych percentyli, czyli 0,75% i 90% ponownie było widoczne duże zróżnicowanie wartości pomiarowych dla poszczególnych ścian wydobywczych. Dla przykładu, dla ściany 1 wartość percentyla 90% wynosiła 0,68% CH₄, a maksymalna wartość 1,01% CH₄. Oznacza to, że w 90% pomiarów stężenie metanu nie przekroczyło około dwóch trzecich maksymalnej wartości. Podobna sytuacja występowała w ściany 7, gdzie jeszcze wyraźniej było widoczne, że w 90% pomiarów nie została przekroczona nawet połowa maksymalnej wartości ($1,32/2 > 0,63$). Wskazywało to na występowanie wysokich pików (skoków) wartości pomiarowych, lecz były one rzadkie. Całkiem odmienna sytuacja występowała, np. w ścianie 6, gdzie percentyl 90% wynosił 0,94% CH₄, a maksymalna wartość 1,18% CH₄, czy w ściany 3, dla której percentyl 90% wynosił 1,39% CH₄, a maksymalna wartość 1,50% CH₄. Wniosek ponownie jest dość oczywisty - dane pomiarowe wykazywały znaczne zróżnicowanie dla poszczególnych ścian wydobywczych. Rozstęp przedstawiony w tabeli 7.3 wskazuje natomiast na występowanie różnic między maksymalnymi i minimalnymi wartościami. Warto zauważyć, że jest on dość duży (procentowo). Potwierdza to również stosunek uśrednionego rozstępu do uśrednionej maksymalnej wartości, który wynosił 0,81 (czyli 81%). Współczynnik korelacji między minimalnymi i maksymalnymi wartościami wynosił poniżej 0,36, co jest uznawane za słabą korelację, której konsekwencją jest dość znaczna zmienność rozstępu.

W przypadku maksymalnych wartości warto podkreślić, że to właśnie one stanowiły największe zagrożenie dla bezpieczeństwa pracy i to one powinny podlegać szczególnemu nadzorowi oraz kontroli.

Tabela 7.4. Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary maksymalnego stężenia metanu cz. 1

| Numer ściany | Parametry maksymalnych wartości pomiarowych | | |
|--------------|---|-------------------------------|-----------------------------|
| | Suma stężeń dobowych, % CH ₄ | Współczynnik zmienności, % | Odchylenie standardowe,% |
| 1 | 146,10 | 37,92 | 0,32 |
| 2 | 217,80 | 33,88 | 0,39 |
| 3 | 77,00 | 45,96 | 0,55 |
| 4 | 91,22 | 39,32 | 0,24 |
| 5 | 213,00 | 38,19 | 0,33 |
| 6 | 432,80 | 38,08 | 0,39 |
| 7 | 208,90 | 73,68 | 0,54 |

Wzrost sumy stężeń dla maksymalnych wartości (tabela 7.4) w stosunku do sumy średnich wartości (tabela 7.1) jest oczywisty i wynika z natury samej statystyki. Mniej oczywiste i bardziej interesujące wnioski można natomiast wyciągnąć, porównując współczynniki zmienności dla średnich i maksymalnych wartości oraz adekwatne odchylenia standardowe. Średnia wartość współczynnika zmienności dla średnich wartości (tabela 7.1) wynosiła niespełna 37,4%, analogiczna średnia dla maksymalnych wartości to prawie 43,9%, co stanowi wzrost o ponad 17%. Jeszcze większy wzrost można zaobserwować dla odchyłeń standardowych, tj. średnie odchylenie dla średnich wartości wynosiło prawie 0,21%, natomiast dla maksymalnych wartości ponad 0,39%. W tym przypadku występował wzrost wartości średniego odchylenia standardowego o ponad 90%. Mając na uwadze powyższe można stwierdzić, że maksymalne wartości charakteryzowały się większą zmiennością, a przede wszystkim znacznie większym odchyleniem standardowym. Warto wspomnieć, że odchylenie standardowe mierzy średniokwadratowy rozrzut wokół średniej czyli maksymalne stężenia metanu mierzone na poszczególnych ścianach różniły się znacznie i to zarówno między sobą, jak i w przypadku do średnich wartości. Taki rozkład danych pomiarowych dość mocno utrudnia prognozowanie i można stwierdzić, że zastosowanie jednej (jednoczynnikowej) metody prognozowania, jak ma to miejsce w przypadku metody bazowej, nie będzie się dobrze sprawdzało w odniesieniu do wartości zarówno średnich, jak i maksymalnych. Dane przedstawione w tabeli 7.5 wskazują na stałe i zbliżone do siebie maksymalne wartości pomiarowe.

Tabela 7.5. Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary maksymalnego stężenia metanu cz. 2

| Numer ściany | Parametry maksymalnych wartości pomiarowych | | | |
|--------------|---|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | Maksimum, % CH ₄ | Minimum, % CH ₄ | Mediana, % CH ₄ | Średnia, % CH ₄ |
| 1 | 1,80 | 0,20 | 0,80 | 0,83 |
| 2 | 2,00 | 0,40 | 1,10 | 1,14 |
| 3 | 2,00 | 0,50 | 1,05 | 1,20 |
| 4 | 2,00 | 0,20 | 0,60 | 0,60 |
| 5 | 2,00 | 0,20 | 0,80 | 0,87 |
| 6 | 2,00 | 0,30 | 1,00 | 1,03 |
| 7 | 2,00 | 0,10 | 0,50 | 0,74 |

W tabeli 7.5 widoczne jest także znaczne zróżnicowanie minimalnych wartości, - najmniejsza z nich wynosiła 0,10% CH₄ dla ściany 7, a największa 0,50% CH₄ dla ściany 3, jest to pięciokrotnie więcej. Dla średnich wartości występowała natomiast prawidłowość, polegająca na jej przewadze nad medianą, co stwierdzono dla analogicznych wartości parametrów zamieszczonych w tabeli 7.2. W związku z powyższym wniosek jest analogiczny jak dla poprzedniej sytuacji. W przypadku wartości przedstawionych w tabeli 7.6 można ponownie stwierdzić, że dla ściany 3 wartość percentyla 90% była równa maksymalnej wartości (tabela 7.5), co pokazuje, że 10% próbek pomiarowych było równych maksymalnej wartości.

Tabela 7.6. Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary maksymalnego stężenia metanu cz. 3

| Numer ściany | Parametry maksymalnych wartości pomiarowych | | |
|--------------|---|-----------------------------------|-------------------------------------|
| | Percentyl 0,75, % CH ₄ | Percentyl 0,90, % CH ₄ | Rozstęp (zakres), % CH ₄ |
| 1 | 1,00 | 1,30 | 1,60 |
| 2 | 1,40 | 1,68 | 1,60 |
| 3 | 1,80 | 2,00 | 1,50 |
| 4 | 0,70 | 0,90 | 1,80 |
| 5 | 1,10 | 1,30 | 1,80 |
| 6 | 1,30 | 1,60 | 1,70 |
| 7 | 0,90 | 1,70 | 1,90 |

Warto także zwrócić uwagę na rozstęp, który był znaczący, a dokładniej chodzi o stosunek średniej wartości rozstępu wynoszącej 1,7% CH₄ (tabela 7.6) do uśrednionej maksymalnej wartości stężenia CH₄ wynoszącej 1,97% CH₄ (tabela 7.5). Iloraz ten wynosi ponad 0,86 (czyli 86%), dla porównania, dla średnich wartości pomiarowych wyniósł on 0,81% CH₄. Wartość ta wskazuje na większe

zróżnicowane maksymalnych wartości pomiarowych niż średnich wartości pomiarowych. Potwierdza to także fakt, że uśrednione odchylenie standardowe dla maksymalnych wartości (tabela 7.4) wynosiło ponad 0,39%, a dla średnich wartości (tabela 7.1) było nieco większe niż 0,20%. W konsekwencji tego maksymalne wartości stężenia metanu charakteryzowały się znacznie większą zmiennością niż średnie wartości, co utrudniało wykonanie prognozy.

7.1.2 Analiza prognozy średnich wartości i płynące z niej wnioski

Podrozdział ten i następny stanowi materiał źródłowy do oceny skuteczności działania zaproponowanej metody autorskiej oraz porównania jej z metodą bazową. Zawarto w nim informacje dotyczące prognoz średnich wartości stężenia metanu oraz przedstawiono zbiory parametrów statycznych uwzględniających wyniki uzyskane z wykorzystaniem metody zarówno bazowej, jak i autorskiej. Warto podkreślić, że wyniki otrzymane z wykorzystaniem metody bazowej stanowią punkt odniesienia do oceny jakości wyników metody autorskiej, co jest niezwykle istotne dla realizacji celu rozprawy i weryfikacji słuszności postawionej tezy badawczej.

Tabela 7.7. Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących prognozy średnich stężeń metanu cz. 1

| Prognoza średnich stężeń metanu | | | | | | |
|---------------------------------|--|---------------------------|---------------------------|--|---------------------------|---------------------------|
| Numer ściany | Metoda bazowa | | | Metoda autorska | | |
| | Suma błędów bezwzględnych, % CH ₄ | Suma błędów względnych, % | Suma r, % CH ₄ | Suma błędów bezwzględnych, % CH ₄ | Suma błędów względnych, % | Suma r, % CH ₄ |
| 1 | 13,94 | 3247,67 | 1,81 | 7,87 | 1870,31 | 0,59 |
| 2 | 20,49 | 2976,87 | 3,75 | 13,16 | 2074,04 | 1,40 |
| 3 | 5,65 | 750,78 | 0,82 | 3,86 | 514,75 | 0,41 |
| 4 | 9,60 | 2941,08 | 0,96 | 3,79 | 998,37 | 0,17 |
| 5 | 20,64 | 4217,80 | 3,00 | 12,20 | 2592,97 | 0,92 |
| 6 | 33,56 | 5325,30 | 4,73 | 20,43 | 3410,29 | 1,61 |
| 7 | 26,07 | 10 443,34 | 3,98 | 9,45 | 3 306,83 | 0,85 |
| Suma | 116,01 | 29 902,84 | 19,05 | 70,76 | 14 767,56 | 5,95 |

Na wstępie omawiania powyższych wartości, warto zaznaczyć, że wszystkie błędy były obliczane dla wartości prognozy odnoszonej do adekwatnej wartości pomiarowej (w praktyce uzyskiwanej na koniec okresu pomiarowego, np. doby). Przechodząc do meritum, istotne jest, że dla metody bazowej suma błędów

bezwzględnych, obliczona jako zsumowana wartość błędów wszystkich prognoz dla każdej z analizowanych ścian wydobywczych, wynosiła 116,01% CH₄, natomiast adekwatna suma dla metody autorskiej wynosiła 70,76% CH₄. Jest to znacząca poprawa, ponieważ suma błędów bezwzględnych dla metody autorskiej była o ponad 39% mniejsza. Sytuacja wygląda podobnie, biorąc pod uwagę błędy względne dla metody bazowej było to 29 902,84%, natomiast dla metody autorskiej 14 767,56%. W tym przypadku suma błędów względnych dla metody autorskiej była mniejsza o ponad 50%. Są to dość oczywiste dowody wysokiej skuteczności stosowania metody autorskiej. Pewnego rodzaju zaskoczeniem jest natomiast suma wartości współczynnika r czyli suma kwadratów różnic (co jest także wykorzystywane w programie MetPred jako składowa funkcji błędu), dla których odnotowano spadek z 19,05% CH₄ do 5,95% CH₄ czyli o ponad 68%. Spadek ten można uznać za niespodziewanie duży i oczywiście należy go ocenić pozytywnie. Sytuacja wygląda podobnie, dla współczynnika R^2 oraz korelacji liniowej Pearsona.

Tabela 7.8 Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących prognozy średnich stężeń metanu cz. 2

| Prognoza średnich stężeń metanu | | | | |
|---------------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|
| Numer ściany | Metoda bazowa | | Metoda autorska | |
| | Współczynnik R^2 | Korelacja liniowa Pearsona | Współczynnik R^2 | Korelacja liniowa Pearsona |
| 1 | 0,58 | 0,76 | 0,93 | 0,97 |
| 2 | 0,68 | 0,83 | 0,94 | 0,97 |
| 3 | 0,89 | 0,95 | 0,95 | 0,98 |
| 4 | 0,64 | 0,80 | 0,92 | 0,96 |
| 5 | 0,63 | 0,79 | 0,93 | 0,97 |
| 6 | 0,73 | 0,85 | 0,95 | 0,98 |
| 7 | 0,76 | 0,87 | 0,93 | 0,97 |
| Średnia | 0,70 | 0,84 | 0,94 | 0,97 |

Porównanie średniej wartości współczynnika R^2 określającego stopień dopasowania prognoz względem rzeczywistych wyników pomiarowych, co można nazwać dokładnością dopasowania, wyraźnie wskazuje na przewagę metody autorskiej nad metodą bazową. Średnia wartość R^2 dla metody bazowej wynosiła 0,7, a dla metody autorskiej 0,94, co stanowiło ponad 34-procentowy wzrost. Dla formalności należy wspomnieć, że maksymalna wartość R^2 może wynosić 1, a w metodzie autorskiej uzyskano średnio wynik 0,94. Ponadto, co nie

mniej istotne, wartości tego współczynnika dla metody autorskiej były niemalże stałe dla poszczególnych ścian, a dla metody bazowej wahały się od 0,58 (ściana 1) do 0,89 (ściana 3). Przechodząc do współczynnika korelacji liniowej Pearsona trzeba jedynie nadmienić, że jest on pierwiastkiem kwadratowym z R^2 , w związku z powyższym głębsza analiza jego wartości byłaby powieleniem poprzedniej, co uznano za zbędne z punktu widzenia celu i zakresu pracy.

W kolejnym etapie porównywania wyników uzyskanych z wykorzystaniem obydwu metod prognozowania, zostały uwzględnione dodatkowe parametry statystyczne, takie jak: suma stężeń dobowych, współczynnik zmienności i odchylenie standardowe.

Tabela 7.9. Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących prognozy średnich stężeń metanu cz. 3

| Prognoza średnich stężeń metanu | | | | | | |
|---------------------------------|---|----------------------------|---------------------------|---|----------------------------|---------------------------|
| Numer ściany | Metoda bazowa | | | Metoda autorska | | |
| | Suma stężeń dobowych, % CH ₄ | Współczynnik zmienności, % | Odchylenie standardowe, % | Suma stężeń dobowych, % CH ₄ | Współczynnik zmienności, % | Odchylenie standardowe, % |
| 1 | 89,62 | 24,61 | 0,13 | 84,60 | 20,82 | 0,10 |
| 2 | 142,45 | 29,37 | 0,22 | 144,65 | 23,68 | 0,18 |
| 3 | 53,40 | 36,81 | 0,31 | 54,20 | 37,73 | 0,32 |
| 4 | 64,22 | 21,75 | 0,09 | 56,19 | 24,03 | 0,09 |
| 5 | 138,18 | 27,66 | 0,16 | 133,73 | 23,69 | 0,13 |
| 6 | 273,77 | 27,99 | 0,18 | 272,15 | 23,65 | 0,15 |
| 7 | 109,16 | 47,26 | 0,18 | 94,33 | 58,24 | 0,19 |
| Średnia | 124,40 | 30,78 | 0,18 | 119,98 | 30,26 | 0,17 |
| Suma | 870,8 | 215,45 | 1,27 | 839,85 | 211,84 | 1,16 |

Na podstawie danych liczbowych zawartych w tabeli 7.9 można wyliczyć sumę prognozowanych stężeń dobowych dla wszystkich ścian łącznie. Suma ta dla metody bazowej wynosiła 870,8% CH₄, a dla metody autorskiej 839,85% CH₄. Warto zauważyć, że z wykorzystaniem metody bazowej dokonuje się prognoz z pewnym nadmiarem względem autorskiej. Nie jest to ani wadą, ani zaletą, metody bazowej a jedynie obserwacją, która, w dalszej części rozdziału, została odniesiona do maksymalnych wartości. Średnie wartości zarówno współczynników zmienności, jak i odchyień standardowych, dla obydwu metod, są do siebie zbliżone. Należy jednak wyraźnie zaznaczyć, że wartości parametrów statystycznych przedstawione

w tabelach 7.9, 7.10 i 7.11 nie służą do bezpośredniego porównania obydwu metod, tylko pokazują różnice między prognozami średniego i maksymalnego stężenia metanu.

Tabela 7.10. Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących prognozy średnich stężeń metanu cz. 4

| Prognoza średnich stężeń metanu | | | | | | | | |
|---------------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Numer ściany | Metoda bazowa | | | | Metoda autorska | | | |
| | Maksimum, % CH ₄ | Minimum, % CH ₄ | Mediana, % CH ₄ | Średnia, % CH ₄ | Maksimum, % CH ₄ | Minimum, % CH ₄ | Mediana, % CH ₄ | Średnia, % CH ₄ |
| 1 | 1,00 | 0,26 | 0,50 | 0,51 | 0,76 | 0,23 | 0,48 | 0,48 |
| 2 | 1,28 | 0,28 | 0,73 | 0,75 | 1,18 | 0,34 | 0,78 | 0,76 |
| 3 | 1,46 | 0,34 | 0,82 | 0,85 | 1,44 | 0,41 | 0,89 | 0,86 |
| 4 | 0,66 | 0,23 | 0,44 | 0,43 | 0,63 | 0,21 | 0,38 | 0,37 |
| 5 | 1,00 | 0,23 | 0,55 | 0,56 | 0,89 | 0,27 | 0,53 | 0,55 |
| 6 | 1,17 | 0,31 | 0,63 | 0,65 | 1,03 | 0,31 | 0,64 | 0,65 |
| 7 | 1,29 | 0,13 | 0,34 | 0,39 | 1,15 | 0,11 | 0,27 | 0,33 |

Na podstawie maksymalnych wartości podanych w (tabeli 7.10) można stwierdzić, że prognozy wykonane metodą bazową charakteryzuje nadmiar względem metody autorskiej. Dla każdej ze ścian wartość maksimum według metody bazowej jest większa od maksimum według metody autorskiej. Minimalne wartości są natomiast zróżnicowane, bez wskazania na którąkolwiek z metod, podobnie jest w przypadku mediany i średnich wartości. Większy rozrzut (a dokładniej rozstęp) wartości prognozowanych występuje dla metody bazowej, co przedstawiono w tabeli 7.11. Poszczególne percentyle (75% i 90%) nie stanowią istotnych danych z punktu widzenia celu pracy, jednak zostały zamieszczone w celu zachowania kompletności przedstawianych wyników oraz porównywalności prognoz dla średniego i maksymalnego stężenia metanu.

Tabela 7.11. Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących prognozy średnich stężeń metanu cz. 5

| Prognoza średnich stężeń metanu | | | | | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Numer ściany | Metoda bazowa | | | Metoda autorska | | |
| | Percentyl 0,75, % CH ₄ | Percentyl 0,90, % CH ₄ | Rozstęp (zakres), % CH ₄ | Percentyl 0,75, % CH ₄ | Percentyl 0,90, % CH ₄ | Rozstęp (zakres), % CH ₄ |
| 1 | 0,60 | 0,65 | 0,78 | 0,55 | 0,62 | 0,53 |
| 2 | 0,90 | 1,05 | 1,00 | 0,87 | 1,00 | 0,84 |
| 3 | 1,12 | 1,30 | 1,12 | 1,13 | 1,34 | 1,03 |
| 4 | 0,49 | 0,54 | 0,43 | 0,44 | 0,49 | 0,42 |
| 5 | 0,67 | 0,78 | 0,77 | 0,64 | 0,72 | 0,61 |
| 6 | 0,78 | 0,91 | 0,86 | 0,76 | 0,88 | 0,72 |
| 7 | 0,43 | 0,65 | 1,16 | 0,38 | 0,65 | 1,04 |

7.1.3 Analiza prognozy maksymalnych wartości i płynące z niej wnioski

Na wstępie, po raz kolejny warto zwrócić uwagę na istotną, a może najważniejszą kwestię, jaką jest bezpieczeństwo pracy górników. Po pierwsze cała idea monitoringu i śledzenia poziomu stężenia metanu ma na celu zapobieganie występowaniu wybuchów tego gazu będących konsekwencją jego wysokiego stężenia, po drugie to właśnie maksymalne wartości są najistotniejsze i to im właśnie należy poświęcić szczególną uwagę. Nie sposób umniejszać zasadności mierzenia i prognozowania średniego stężenia, jednak skuteczność zaproponowanej metody prognozowania powinna być oceniana głównie w odniesieniu do prognoz maksymalnego stężenia. Przyczyny takiego stanu rzeczy są dość oczywiste i były już kilkakrotnie przedstawiane w niniejszej pracy. Przechodząc do porównania obydwu metod w odniesieniu do maksymalnych wartości można stwierdzić, że przedstawiona w ostatnim wierszu tabeli 7.12 suma błędów bezwzględnych dla metody bazowej, wynosząca 307,72% CH₄, jest o prawie 1,75 razy większa niż dla metody autorskiej. Różnica ta jest duża i ewidentna, co przekłada się na prawie 43% spadek w porównaniu do metody autorskiej.

Tabela 7.12. Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących prognozy maksymalnych stężeń metanu cz. 1

| Prognoza maksymalnych stężeń metanu | | | | | | |
|-------------------------------------|--|---------------------------|-----------------------------------|--|---------------------------|-----------------------------------|
| Numer ściany | Metoda bazowa | | | Metoda autorska | | |
| | Suma błędów bezwzględnych, % CH ₄ | Suma błędów względnych, % | Suma <i>r</i> , % CH ₄ | Suma błędów bezwzględnych, % CH ₄ | Suma błędów względnych, % | Suma <i>r</i> , % CH ₄ |
| 1 | 38,96 | 5 041,27 | 17,09 | 19,37 | 2 838,47 | 3,59 |
| 2 | 40,92 | 3 962,91 | 16,33 | 23,80 | 2 613,39 | 4,74 |
| 3 | 14,53 | 1 270,52 | 6,37 | 7,95 | 811,67 | 1,72 |
| 4 | 20,12 | 3 681,65 | 5,47 | 9,23 | 1 572,62 | 1,22 |
| 5 | 51,28 | 6 690,55 | 22,72 | 25,26 | 3 802,22 | 4,22 |
| 6 | 82,26 | 8 167,98 | 33,32 | 43,68 | 4 813,74 | 8,19 |
| 7 | 98,61 | 16 473,90 | 77,24 | 47,15 | 8 839,54 | 15,21 |
| Suma | 307,72 | 45 288,78 | 178,54 | 176,44 | 252 91,65 | 38,89 |

Suma błędów względnych dla metody bazowej i autorskiej wynosi odpowiednio 45 288,78% i 25 291,65% co pokazuje spadek o ponad 44%. Nie są to wartości małe i ewidentnie pokazują, że zaproponowana metoda „działa” i to „działa” skutecznie, co potwierdziła także analiza błędów prognoz średniego stężenia metanu. Kolejnym dowodem wykazującym słuszność powyższych wniosków jest porównanie średniego błędu kwadratowego (suma *r*), gdzie wyraźnie widać różnicę w precyzji prognozowania obydwu metod. Dla metody bazowej suma *r* wynosiła 178,54% CH₄, natomiast dla metody autorskiej 38,89% CH₄, czyli 4,6 razy mniej.

W przypadku współczynnika R^2 warto przypomnieć, że dla prognoz średnich stężeń jego średnia wartość wynosiła dla metody bazowej 0,70, a dla metody autorskiej 0,94, natomiast dla prognoz maksymalnych stężeń odpowiednio 0,39 i 0,91 (tabela 7.13).

Tabela 7.13. Zbiornicze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących prognozy maksymalnych stężeń metanu cz. 2

| Prognoza maksymalnych stężeń metanu | | | | |
|-------------------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|
| Numer ściany | Metoda bazowa | | Metoda autorska | |
| | Współczynnik R^2 | Korelacja liniowa Pearsona | Współczynnik R^2 | Korelacja liniowa Pearsona |
| 1 | 0,19 | 0,43 | 0,90 | 0,95 |
| 2 | 0,46 | 0,68 | 0,91 | 0,96 |
| 3 | 0,67 | 0,82 | 0,92 | 0,96 |
| 4 | 0,44 | 0,66 | 0,91 | 0,96 |
| 5 | 0,24 | 0,49 | 0,91 | 0,96 |
| 6 | 0,51 | 0,71 | 0,93 | 0,96 |
| 7 | 0,21 | 0,46 | 0,86 | 0,93 |
| Średnia | 0,39 | 0,61 | 0,91 | 0,95 |

O ile dla średnich stężeń metanu różnica między średnimi wartościami współczynnika R^2 wynosiła 0,24 (0,94–0,7) – tabela 7.8, to dla maksymalnych stężeń różnica ta wynosiła już 0,52 (0,91–0,39). Warto także zwrócić uwagę na poszczególne ściany wydobywcze, dla których „dominacja” metody autorskiej jest dość oczywista i przejawia się w wynikach dla każdej z nich. Tak jak wspomniano w poprzednim podrozdziale współczynnik korelacji Pearsona jest pierwiastkiem kwadratowym z R^2 , w związku z powyższym jego analiza nie wnosi specjalnie wiele do całości rozważań i z tego powodu została mocno ograniczona. Można jedynie wspomnieć, że dla wszystkich ścian jego wartość była niemal stała i zarazem bardzo wysoka – wynosiła bowiem od 0,93, do 0,96. To właśnie między innymi „stałość” współczynnika korelacji Pearsona świadczy o stabilności i uniwersalności zaproponowanego rozwiązania.

Przechodząc do pozostałych parametrów statystycznych przedstawionych w tabelach 7.14, 7.15 i 7.16 warto wspomnieć, że tak jak zostało to stwierdzone wcześniej, nie służą one do bezpośredniego porównywania obydwu metod, tylko dają możliwość odniesienia się do różnic między prognozami uzyskiwanymi dla średniego stężenia metanu, a prognozami maksymalnego jego stężenia.

Tabela 7.14 Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących prognozy maksymalnych stężeń metanu cz. 3

| Prognoza maksymalnych stężeń metanu | | | | | | |
|-------------------------------------|--|----------------------------|---------------------------|--|----------------------------|---------------------------|
| Numer ściany | Metoda bazowa | | | Metoda autorska | | |
| | Suma stężeń dobowych % CH ₄ | Współczynnik zmienności, % | Odchylenie standardowe, % | Suma stężeń dobowych % CH ₄ | Współczynnik zmienności, % | Odchylenie standardowe, % |
| 1 | 149,93 | 30,86 | 0,26 | 148,40 | 19,76 | 0,20 |
| 2 | 209,39 | 29,69 | 0,33 | 219,16 | 22,69 | 0,26 |
| 3 | 74,85 | 39,24 | 0,46 | 79,16 | 38,60 | 0,48 |
| 4 | 100,47 | 28,71 | 0,19 | 88,89 | 29,17 | 0,17 |
| 5 | 208,35 | 30,38 | 0,26 | 218,14 | 25,98 | 0,23 |
| 6 | 419,86 | 32,78 | 0,33 | 434,22 | 27,69 | 0,29 |
| 7 | 222,16 | 56,66 | 0,44 | 214,68 | 51,55 | 0,39 |
| Średnia | 197,86 | 35,47 | 0,32 | 200,38 | 30,78 | 0,29 |
| Suma | 1 385,01 | 248,32 | 2,27 | 1 402,65 | 215,44 | 2,02 |

Porównywanie sumy prognozowanych stężeń metanu dla średnich i maksymalnych wartości nie jest specjalnie uzasadnione, warto jednak zwrócić uwagę na współczynniki zmienności oraz odchylenia standardowe. Średnia wartość współczynnika zmienności dla prognozy średniego stężenia metanu wynosiła dla metody bazowej 30,78%, a dla autorskiej 30,26%, natomiast dla adekwatnych maksymalnych wartości było to odpowiednio 35,47% i 30,78%. Na tej podstawie można wyciągnąć przynajmniej dwa wnioski – po pierwsze dla prognoz dotyczących maksymalnych wartości obie średnie były mniejsze, po drugie zarówno dla średnich wartości jak i maksymalnych współczynniki zmienności dla metody autorskiej przyjmowały mniejsze wartości niż dla metody bazowej. Sytuacja wyglądała niemal identycznie dla odchyleń standardowych. Ponadto, mając na uwadze dane na jakich są oparte obydwie metody, można stwierdzić, że prognozy wykazywały się mniejszą zmiennościami niż same dane. Sytuacja wygląda podobnie dla odchylenia standardowe. Średnia wartość odchylenia standardowego dla pomiarów średnich stężeń wynosiła 0,20% (tabela 7.1), natomiast dla maksymalnych stężeń było to 0,39% (tabela 7.4). Innymi słowy, można uznać, że prognozy były „stabilniejsze” niż dane, na podstawie których były one przeprowadzane, czyli występowało tu zjawisko „wygładzania”.

Tabela 7.15 Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących prognozy maksymalnych stężeń metanu cz. 4

| Prognoza maksymalnych stężeń metanu | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Numer ściany | Metoda bazowa | | | | Metoda autorska | | | |
| | Maksimum, % CH ₄ | Minimum, % CH ₄ | Mediana, % CH ₄ | Średnia, % CH ₄ | Maksimum, % CH ₄ | Minimum, % CH ₄ | Mediana, % CH ₄ | Średnia, % CH ₄ |
| 1 | 1,66 | 0,38 | 0,82 | 0,86 | 1,43 | 0,32 | 0,85 | 0,85 |
| 2 | 1,93 | 0,41 | 1,08 | 1,10 | 1,79 | 0,49 | 1,17 | 1,15 |
| 3 | 1,93 | 0,49 | 1,09 | 1,17 | 1,99 | 0,53 | 1,26 | 1,24 |
| 4 | 1,84 | 0,38 | 0,65 | 0,67 | 1,43 | 0,28 | 0,58 | 0,59 |
| 5 | 1,93 | 0,26 | 0,82 | 0,85 | 1,94 | 0,34 | 0,86 | 0,89 |
| 6 | 1,93 | 0,43 | 0,97 | 1,00 | 1,66 | 0,45 | 1,03 | 1,04 |
| 7 | 1,93 | 0,26 | 0,58 | 0,79 | 2,14 | 0,27 | 0,61 | 0,76 |

Tabele 7.15 i 7.16 zawierają wartości pozostałych parametrów statystycznych charakteryzujących obydwie metody prognozowania. Warto zwrócić uwagę na średni rozstęp dla prognoz wyznaczanych przez obydwie metody. Dla metody bazowej wynosił on 1,51%, a dla autorskiej 1,39%. Metodę autorską charakteryzował więc mniejszym „rozrzut” niż metodę bazową, co wykazała także analiza odchylenia standardowego.

Tabela 7.16. Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących prognozy maksymalnych stężeń metanu cz. 5

| Prognoza maksymalnych stężeń metanu | | | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Numer ściany | Metoda bazowa | | | Metoda autorska | | |
| | Percentyl 0,75, % CH ₄ | Percentyl 0,90, % CH ₄ | Rozstęp (zakres), % CH ₄ | Percentyl 0,75, % CH ₄ | Percentyl 0,90, % CH ₄ | Rozstęp (zakres), % CH ₄ |
| 1 | 0,99 | 1,24 | 1,28 | 0,97 | 1,11 | 1,11 |
| 2 | 1,33 | 1,50 | 1,55 | 1,30 | 1,49 | 1,30 |
| 3 | 1,62 | 1,83 | 1,44 | 1,66 | 1,90 | 1,46 |
| 4 | 0,74 | 0,90 | 1,46 | 0,68 | 0,83 | 1,15 |
| 5 | 0,99 | 1,16 | 1,67 | 1,03 | 1,19 | 1,60 |
| 6 | 1,23 | 1,49 | 1,50 | 1,25 | 1,45 | 1,21 |
| 7 | 0,97 | 1,59 | 1,67 | 1,02 | 1,38 | 1,87 |
| Średnia | 1,12 | 1,39 | 1,51 | 1,13 | 1,34 | 1,39 |

Po dokonaniu analizy uzyskanych wyników oraz ich omówieniu, można przejść do etapu formułowaniu ogólnych wniosków.

7.2 Ogólne wnioski

Ogólne wnioski można podzielić na dwie części. W pierwszej odniesiono się do uzyskanych wyników, w drugiej natomiast wskazano aspekty praktyczne zastosowania zaproponowanego rozwiązania. Przechodząc do uzyskanych wyników i pomijając już wartości liczbowe, które zostały omówione we wcześniejszych podrozdziałach, należy podkreślić, że:

1. Metoda autorska, w porównaniu do bazowej, charakteryzuje się znacznie mniejszymi błędami prognoz i to zarówno biorąc pod uwagę błędy względne jak i bezwzględne, zarówno wartości prognoz dla średnich, jak i wartości prognoz dla maksymalnych stężeń metanu. Na poparcie tego wniosku można przedstawić konkretne obliczenia wartości wspomnianych błędów, które zawarto w tabelach 7.17 i 7.18.

Tabela 7.17. Uśrednione błędy prognoz średnich stężeń metanu

| Numer ściany | Uśrednione błędy prognoz średnich stężeń metanu | | | |
|--------------|---|---------------|-------------------------------------|---------------|
| | Błąd względny, % | | Błąd bezwzględny, % CH ₄ | |
| | Metoda autorska | Metoda bazowa | Metoda autorska | Metoda bazowa |
| 1 | 10,69 | 18,56 | 0,04 | 0,08 |
| 2 | 10,86 | 15,59 | 0,07 | 0,11 |
| 3 | 8,17 | 11,92 | 0,06 | 0,09 |
| 4 | 6,61 | 19,48 | 0,03 | 0,06 |
| 5 | 10,58 | 17,22 | 0,05 | 0,08 |
| 6 | 8,16 | 12,74 | 0,05 | 0,08 |
| 7 | 11,73 | 37,03 | 0,03 | 0,09 |
| Suma | 66,80 | 132,53 | 0,33 | 0,60 |

Tabela 7.18. Uśrednione błędy prognoz maksymalnych stężeń metanu

| Numer ściany | Uśrednione błędy prognoz maksymalnych stężeń metanu | | | |
|--------------|---|---------------|-------------------------------------|---------------|
| | Błąd względny, % | | Błąd bezwzględny, % CH ₄ | |
| | Metoda autorska | Metoda bazowa | Metoda autorska | Metoda bazowa |
| 1 | 16,22 | 28,81 | 0,11 | 0,22 |
| 2 | 13,68 | 20,75 | 0,12 | 0,21 |
| 3 | 12,68 | 19,85 | 0,12 | 0,23 |
| 4 | 10,41 | 24,38 | 0,06 | 0,13 |
| 5 | 15,46 | 27,20 | 0,10 | 0,21 |
| 6 | 11,49 | 19,49 | 0,10 | 0,20 |
| 7 | 31,24 | 58,21 | 0,17 | 0,35 |
| Suma | 111,18 | 198,69 | 0,79 | 1,55 |

2. Średniokwadratowy błąd prognozy (suma r), wykorzystany jako miernik jakości prognozy w MetPred, był znacznie mniejszy dla metody autorskiej.
3. Porównanie wyników obydwu metod wykazało dla metody autorskiej znacznie lepsze dopasowanie (w oparciu o współczynnik R^2 , jak i współczynnik korelacji Pearsona) prognoz do rzeczywistych wartości.
4. Odchylenie standardowe, w szczególności współczynnik zmienności były mniejsze dla prognoz uzyskiwanych z wykorzystaniem metody autorskiej, co potwierdziły także wartości parametru rozstęp.
5. Nie zauważono żadnego poddanego badaniu parametru statystycznego, dla którego metoda bazowa permanentnie wykazywałaby lepsze wartości.

Kwestia praktycznego zastosowania opracowanego rozwiązania wymaga zwrócenia uwagi na bezpieczeństwo pracy górników, gdzie najważniejszym parametrem jest maksymalne stężenie metanu, a nie jego średnia wartość określona dla całej doby. W tym kontekście jakość wyników uzyskiwanych dzięki zastosowaniu metody autorskiej stanowi jej niewątpliwą zaletę i daje przewagę nad metodą bazową. Ponadto dość duże zróżnicowanie dostępnych danych pomiarowych dla poszczególnych ścian wydobywczych, zarówno pod względem liczby pomiarów, jak i ich wartości nie wpłynęło znacząco na jakość uzyskiwanych prognoz. Fakt ten świadczy o dużej „elastyczności” opracowanej metody, co jest kolejną jej zaletą. Naturalną praktyczną tego konsekwencją jest możliwość jej zastosowania jeden ściany na drugą z jednej kopalni na drugą, bez żadnego dostraja czy rekonfiguracji. Niezwykle ważna kwestia bezpieczeństwa pracy ludzi, wykonywanej w ciężkich i nieprzyjaznych warunkach wymaga narzędzia „czuwającego”, które umożliwi minimalizację ryzyka wystąpienia zagrożenia, sprawia, że opracowane rozwiązanie może stać się takim narzędziem.

7.3 Konkluzja

W oparciu o przedstawione wcześniej dane, w szczególności wyniki obliczeń matematycznych, należy stwierdzić, że proponowana metoda daje dokładniejsze prognozy niż metoda bazowa. Wniosek ten jest niezwykle istotny z punktu widzenia celu pracy.

Opracowanie metody autorskiej zostało oparte na wykorzystaniu „kompozytu” kilku funkcji statystycznych, czyli na hybrydowym podejściu do problemu i zagadnienia z obszaru uczenia maszynowego oraz tzw. statistical learning. Algorytm prognozowanie „uczy się” na bieżąco, uwzględniając historyczne dane zarówno prognoz, jak i pomiarów, co jest metodą uczenia nadzorowanego, a dokładniej tzw. nauczaniem przez przykład. Takie podejście daje znacznie lepsze wyniki, niż prosta regresja liniowa, wykorzystująca jedynie klasyczną metodę najmniejszych kwadratów. Uzasadnienie tego stwierdzenia można znaleźć w wynikach przedstawionych w niniejszym rozdziale. Warto zauważyć, że w trakcie standardowej pracy w ścianie wydobywczej pomiary stężeń metanu nie powinny wykazywać charakterystyki trendu. Wyjątkiem może być „zbliżanie się”, w miarę postępu prac, do dużego podziemnego nagromadzenia metanu, jednak taka sytuacja wymaga diametralnie innego podejścia do problemu i nie stanowi obszaru badawczego niniejszej pracy. Warto także zwrócić uwagę na szybkość, działania metody autorskiej, a w konsekwencji programu MetPred.

Z oczywistych przyczyn, takich jak złożoność budowy i wykorzystanie procesu nadzorowanego uczenia, jest to metoda wolniejsza od bazowej. Istotny jest jednak nie sam czas generowania prognoz, który de facto nie przekracza jednej minuty, a odniesienie tego czasu do rzeczywistych warunków. W praktycznych zastosowaniach, gdzie prognozy są generowane z interwałem dobowym, czas zbliżony do jednej minuty nie stanowi żadnego ograniczenia.

8. Podsumowanie

W podsumowaniu przeprowadzonych prac podkreślono osiągnięte rezultaty i wskazano ewentualne następstwa. Było to zarazem odniesienie się do wszystkich celów pracy i wskazanie ich korelacji z otrzymanymi wynikami, a także wyciągnięcie końcowych, podsumowujących wniosków. Wskazano problemy, z jakimi była związana realizacja pracy, zarówno te techniczne, jak i pozatechniczne, te istotne i te na pozór błahe. Jednakże, mając na uwadze istotność poruszanej w pracy tematyki także te na pozór błahe problemy nie koniecznie muszą takie być, a ich występowanie, w szczególności zaniedbanie, może prowadzić do poważnych konsekwencji, co rozwinięto w dalszej części rozdziału. Zostały w nim wyodrębnione następujące części:

- opis wykonanych prac,
- skrótowe przedstawienie otrzymanych wyników z nawiązaniem do celów pracy,
- przedstawienie napotkanych problemów i utrudnień w trakcie realizacji pracy, a także sposobów ich rozwiązania,
- naświetlenie możliwości dalszego rozwoju pracy.

Opis wykonanych prac – zawiera zestawienie najważniejszych prac, jakie wykonano dla realizacji postawionych celów i osiągnięcia zamierzonych wyników. Dla zachowania porządku warto chronologicznie omówić wszystkie najważniejsze „kamienie milowe” niniejszej pracy.

- a) Wybór tematyki pracy, określenie jej celów, a także zakresu prac – był to pierwszy etap mający wpływ na dalsze działania oraz ścieżkę realizacji pracy. Na tym etapie dokonano precyzyjnego wyboru zagadnień, które będą stanowiły główny obszar badawczy pracy. Ponadto naturalną konsekwencją wyboru tematyki było zdefiniowanie celów pracy i to zarówno celu naukowego jak i użytecznego. Nie mniej istotną kwestią było określenie zakresu pracy, jasne zdefiniowanie zakresu jest bowiem niezbędne dla prawidłowej realizacji pracy, trzymania się wyznaczonej ścieżki w realizacji przyjętej koncepcji i unikania zbędnych dywagacji na tematy poboczne.
- b) Przegląd literatury – kolejnym krokiem było dokonanie przeglądu literatury fachowej dotyczącej analizowanej tematyki. Przegląd ten umożliwił zapoznanie się z obecnym etapem rozwoju prac w obszarze rozprawy

- i pogłębienie wiedzy na temat zarówno samego zagadnienia badawczego, jak i narzędzi, w tym statystycznych wykorzystywanych do jego analizy. Ponadto dokonanie przeglądu literatury ukierunkowało rozwój pracy i umożliwiło zapoznanie się z istniejącą metodą wykorzystywaną do prognozowania stężenia metanu, która została określona mianem „metody bazowej” i stanowi część obszaru badawczego niniejszej pracy.
- c) Zaznajomienie się z metodą bazową – metoda bazowa stanowiła „punkt odniesienia” dla oceny jakości proponowanej metody autorskiej. W związku z powyższym należało dokładnie zgłębić jej sposób działania, określić mocne i słabe strony, a także poddać analizie dane, na których jest oparta.
- d) Opracowanie koncepcji poprawy metody bazowej. Przez poprawę należy rozumieć modyfikacje współczynników równań liniowych, wykorzystanych w tej metodzie i ich optymalizację dla danych pomiarowych używanych w niniejszej pracy. Nowe wartości prostych regresji były wyznaczane z wykorzystaniem klasycznej metody najmniejszych kwadratów (KMNK) i przy użyciu arkusza kalkulacyjnego MS Excel.
- e) Posiadając nowe parametry dla równań i ponownie wykorzystując KMNK przeprowadzono wyznaczanie prognoz dla wszystkich danych pomiarowych wykorzystywanych w niniejszej pracy tj. dla pomiarów dotyczących zarówno średnich stężeń metanu, jak i maksymalnych. Uzyskane wyniki posłużyły do dwóch celów. Po pierwsze, co jest najbardziej istotne, jako wyniki odniesienia dla porównywania z wynikami uzyskanymi z wykorzystaniem metody autorskiej. Po drugie, do porównywania jakości prognoz uzyskiwanych z wykorzystaniem oryginalnej metody bazowej z analogicznymi prognozami otrzymanymi z użyciem zoptymalizowanej metody bazowej. W tym miejscu należy podkreślić, że porównanie to zostało przeprowadzone jedynie dla celów poglądowych i nie było istotne dla dalszych prac.
- f) Wykazanie niedoskonałości metody bazowej i podjęcie próby jej eliminacji – analiza statystyczna wyników prognoz uzyskanych z wykorzystaniem metody bazowej umożliwiła identyfikację niedoskonałości tej metody. Zostały one wykazane w trakcie analizy zarówno błędów, jak i współczynnika korelacji. Wartości parametrów statystycznych są dość dalekie od ideału. Ponadto w KMNK wykorzystywana jest funkcja liniowa, która wykazuje istnienie trendu (poza pojedynczym przypadkiem, kiedy jest stała). Trend ten wynika

- z wartości współczynnika kierunkowego, czyli funkcja jest permanentnie albo rosnąca, albo malejąca, co jest niezgodne z naturą analizowanego zjawiska i zostało szczegółowo opisane we poprzednich rozdziałach niniejszej pracy.
- g) Opracowanie koncepcji działania metody autorskiej i jej zaimplementowanie w programie MetPred – ponownie jak poprzednio, wiedza uzyskana, między innymi dzięki realizacji poprzednich etapów pracy, zaowocowała opracowaniem koncepcji innej, nowej metody przeprowadzania prognoz. Nowa metoda, nazwana autorską, została szczegółowo opisana we wcześniejszej części pracy, w tym miejscu warto jednak zaznaczyć, że wykorzystano w niej podejście hybrydowe i wiele różnych funkcji statystycznych. Ponadto implementuje ona rozwiązania z obszaru sztucznej inteligencji, a dokładniej sieci neuronowych. W szczególności mowa tu o uczeniu nadzorowanym i metodzie nauczania przez przykład. Po opracowaniu koncepcji należało wdrożyć ją w życie, czyli utworzyć program komputerowy realizujący wszystkie zaplanowane obliczenia. Dokonano tego wykorzystując język programowania Python. Konsekwencją a także owocem tych prac było powstanie programu MetPred wykorzystywanego do realizacji pozostałych celów pracy.
- h) Przeprowadzenie serii testów porównawczych oraz analizy otrzymanych wyników – naturalnym następstwem było wykorzystanie MetPred do opracowania nowego zestawu prognoz dla wszystkich danych pomiarowych, czyli odnoszących się zarówno do średnich wartości pomiarowych, jak i maksymalnych. Posiadając nowe wyniki prognoz przeprowadzono ich porównanie z prognozami uzyskanymi z wykorzystaniem zoptymalizowanej metody bazowej. To porównanie, wzbogacone o analizę statystyczną otrzymanych wyników, stanowiło jeden z najistotniejszych etapów realizacji pracy. Opracowane wyniki, wyraźnie pokazują, że metoda autorska daje lepsze (bardziej dokładne w sensie statystycznym) prognozy w porównaniu do zoptymalizowanej metody bazowej. Ta obserwacja jest jedną z najważniejszych i potwierdza w sposób jednoznaczny przewagę metody autorskiej nad metodą bazową co stanowi podstawę realizacji obydwu postawionych celów. Dokonując oceny jakości działania obydwu metod starano się możliwie zachować pełną obiektywność, co umożliwiły i potwierdziły zastosowane parametry statystyczne.

- i) Wyciągnięcie wniosków ze zrealizowanych prac i pokazanie ich matematycznych podstaw – obszarowi wnioskowania został poświęcony osobny rozdział pracy częściowo zostały one omówione w poprzednim punkcie. Jednak dla kompletności niniejszego podsumowania należy zaznaczyć, że wnioskowanie jest i było znacznie bardziej rozbudowane aniżeli sama analiza wyników. Wnioskowanie zostało podzielone na dwa etapy – szczegółowy i ogólny. Etapy te silnie się „zazębiają” jednak pierwszy jest oparty na wykorzystywaniu statystyki, drugi natomiast na jakościowej, i po części opisowej, ocenie otrzymanych wyników i płynących z nich wniosków. Takie podejście umożliwiło dość kompletne spojrzenie na uzyskane wyniki i sformułowanie rzetelnych wniosków przedstawionych na ich bazie.
- j) Odniesienie całości przeprowadzonych działań do celów pracy. W tym miejscu warto jedynie podkreślić, że obydwa cele pracy zostały zrealizowane. Samo potwierdzenie poparto natomiast statystyką i oceną merytoryczną.

Skrótowe przedstawienie otrzymanych wyników i nawiązanie do celów pracy

– w tej części dokonano uszczegółowienia i skonkretyzowania informacji przedstawionych powyżej. Tabela 8.1 zawiera zbiorcze zestawienie najbardziej charakterystycznych wartości parametrów statystycznych niezbędnych do porównania jakości wyników otrzymanych z wykorzystaniem obydwu metod. Liczby zawarte w tabeli w sposób jednoznaczny pokazują „przewagę” metody autorskiej nad bazową w niemalże wszystkich wykorzystanych parametrach statystycznych.

Tabela 8.1. Podsumowanie uzyskanych wyników prognoz – wybrane parametry.

| | | Średnie wartości | |
|------------------------------------|-----------------|------------------|--------------------|
| | | Suma błędów r | Współczynnik R^2 |
| Prognozy dla średnich wartości | Metoda bazowa | 2,72 | 0,70 |
| | Metoda autorska | 0,85 | 0,94 |
| Prognozy dla maksymalnych wartości | Metoda bazowa | 25,5 | 0,39 |
| | Metoda autorska | 5,55 | 0,91 |

Mając na uwadze wartości przedstawione w tabeli 8.1, „przewaga” metody autorskiej nie powinna budzić wątpliwości, dalszy komentarz z przyczyn oczywistych został więc pominięty. Warto jednak odnieść się do wniosku, że stosowanie metody autorskiej jest bardziej wydajne. W tym miejscu warto zaznaczyć, że metoda autorska wykorzystuje wiele funkcji i metod statystycznych, a nie jedynie KMNK, jak w metodzie bazowej. Po drugie działa ona z uwzględnieniem procesu „uczenia się”, który z powodów oczywistych nie odbywa się w czasie zero i ma istotny wpływ na całkowity czas jej działania. Żeby rzetelnie przedstawić całość zagadnienia, należy zaznaczyć, że dla danych wykorzystywanych w niniejszej pracy z użyciem komputera z procesorem klasy I3 oraz zaledwie 8 GB pamięci operacyjnej, czas wyznaczania prognoz nawet dla ściany ze zbiorem ponad czterystu pomiarów, nie przekroczył jednej minuty. Ponadto, mając na uwadze interwał generowanych prognoz, czyli jedną dobę, czas jednej minuty można uznać za pomijalnie krótki i w konsekwencji należy uznać, że przedstawiona metoda działała w czasie rzeczywistym, rozumianym z punktu widzenia informatycznego.

Przedstawienie napotkanych problemów i utrudnień w trakcie realizacji pracy, a także sposoby ich rozwiązania – ta część podsumowania została poświęcona opisowi problemów, jakie napotkano oraz sposobom ich rozwiązania. Na wstępie należy zaznaczyć, że w trakcie realizacji pracy nie napotkano żadnych większych problemów uniemożliwiających osiągnięcie zdefiniowanych celów, czy któregośkolwiek ważnych etapów pracy. Nie oznacza to jednak, że nie wystąpiły inne mniejszej wagi (choć częstokroć znaczące) problemy czy utrudnienia, związane z:

- dostępnością danych pomiarowych,
- oczyszczaniem danych i ich grupowaniem,
- zróżnicowaną liczebnością próbek pomiarowych,
- znacznymi odchyleniami wartości dla próbek pomiarowych,
- możliwością dalszego rozwoju pracy.

Dostępność danych pomiarowych – najistotniejszym problemem było pozyskanie odpowiednich danych pomiarowych dotyczących stężenia metanu w kopalniach. Mimo znacznych starań udało się pozyskać dane tylko dla siedmiu ścian wydobywczych, co, mając na uwadze realia w jakich działano, można uznać za wynik zadowalający. Zadowalający, tym bardziej że dane te, jak wiadomo z wcześniejszych rozdziałów, dotyczą zarówno średnich jak i maksymalnych stężeń

metanu. Przeszkodą pozyskiwania większej ilości danych jest brak centralne repozytorium historycznych danych pomiarowych dla długich okresów, o czym wspomniano w dalszej części rozdziału. Jednak, pomimo dość „skromnego” materiału badawczego okazał się on wystarczający do wykonania zaplanowanych prognoz, porównania obydwu metod, a tym samym zrealizowania założeń i celów pracy.

Oczyszczanie danych i ich grupowanie – pozyskane dane nie były wolne od błędów, w związku z tym należało przeprowadzić ich oczyszczenie (ang. sanitization). Proces ten polegał na eliminacji zapisów wynikających z błędów urządzeń pomiarowych. Warto wspomnieć o sposobie tworzenia danych jakie były wykorzystane w trakcie realizacji pracy. Mianowicie, urządzenia pomiarowe jeżeli wygenerują błąd, to zapisują go (w rozróżnialny i ściśle zdefiniowany sposób) do zbioru danych. Tu ujawnia się niedoskonałość logiki działania takiego urządzenia. Patrząc z informatycznego punktu widzenia, do zapisu błędów pomiarowych (a dokładniej ich kodów) lub innych wyjątków powinien służyć osobny plik. Plik ten najczęściej jest nazywany dziennikiem błędów (ang. error_log), a nie plikiem przeznaczonym na wyniki pomiarów. Innym dość istotnym utrudnieniem było dostosowanie danych uzyskanych z urządzeń pomiarowych do formatu akceptowanego przez program MetPred. Mimo, że program ten akceptuje dane w powszechnie przyjętym standardzie jakim jest CSV (ang. comma-separated values), to ze względu na dużą licznosc danych (wolumen danych), ich konwersja była dość czasochłonna, choć nie specjalnie skomplikowana. Utrudnieniem podobnym do wspomnianego było grupowanie danych w przedziałach dobowych rozpoczynających się o godzinie 6:00. Innymi słowy podział typu 0.00–23.59 należało „przebudować” na podział 6.00–5.59. Zastosowanie takiego grupowania było konieczne ze względu na wymogi organizacyjne, a dokładniej organizację cyklu i zmian pracy w kopalni. Jest to kolejny przykład stosunkowo prostej, choć czasochłonnej pracy. Pocięszające jest, że „w skali przemysłowej” problem ten jest rozwiązywany przez tzw. parowanie danych realizowane z wykorzystaniem dedykowanych skryptów działających na urządzeniach informatycznych (serwerach, urządzeniach monitorujących, kolektorach dzienników lub centralnym systemie przetwarzania).

Zróznicowana liczebność próbek pomiarowych – utrudnienie to odnosi się do różnych (znacząco) liczb próbek pomiarowych dla poszczególnych ścian

wydobywczych. Taka różnorodność utrudnia obliczanie średnich wartości i powoduje niejednoznaczność ich interpretacji. Rozwinięciem tego może być, polegająca na wykorzystaniu i policzeniu arytmetycznej średniej ważonej (mowa tu o samej statystyce, a nie o konkretnych typach wartości pomiarowych). Wagę stają się wówczas liczba próbek pomiarowych (lub prognoz) uzyskana dla poszczególnych ścian, co jest jak najbardziej zasadne.

Znaczące odchylenia wartości dla próbek pomiarowych – dość duży rozrzut wartości pomiarowych mierzony z wykorzystaniem rozstępu czy odchylenia standardowego (względnie wariancji), wynika z natury samego zjawiska. Jednak na gruncie obliczeniowym nie ułatwia on pracy. Należy podkreślić, że najprawdopodobniej żadna deterministycznie działająca metoda nie dokona prawidłowej prognozy, przykładowo dla ciągu wartości 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 1,0. Mając jako dane pierwsze cztery liczby tworzące ciąg malejący, nie sposób jest przewidzieć w piątym dniu skoku wartości do poziomu 1,0 czyli maksymalnego w całym przedziale pomiarowym. Ten prosty przykład pokazuje wpływ dużej zmienności danych pomiarowych na jakość prognoz, co jest istotnym utrudnieniem dla twórcy koncepcji stosowania każdej racjonalnej metody prognozowania. Ponadto nie jest żadnym „pocieszeniem”, że metoda konkurencyjna ma takie same warunki stosowania. Nie chodzi tu o „wyścig” czy konkurowanie różnych metod, tylko o stworzenia narzędzia, które zapewni bezpieczną pracę ludzi narażających w zakładach wydobywczych swoje zdrowie, a nawet życie.

Możliwości dalszego rozwoju pracy – przedstawiono wizje, które mogą się zrealizować, choć na razie są jedynie w fazie koncepcyjnej. Innymi słowy połączono zarówno racjonalne spojrzenie na rozwój prac nad zagadnieniem stanowiącym tematykę rozprawy, jak i własne wizje i „życzenia” autora. Ponieważ poruszana tematyka jest niezwykle istotna z punktu widzenia chociażby bezpieczeństwa pracy człowieka, zaproponowaną metodę prognozowania warto rozwijać i udoskonalać. Rozwój ten może iść w kierunku zastosowania zaawansowanych rozwiązań z obszaru sztucznej inteligencji opartych na sieciach neuronowych. Zaplanowana odpowiednio wielowarstwowa sieć neuronowa mogłaby trafnie przewidywać, może nie tyle same wartości prognoz, co występowanie niespodziewanych i znaczących skoków stężenia. Najprawdopodobniej do realizacji takiej koncepcji wymagany byłby bardziej rozbudowany zestaw czujników pomiarowych oraz korelacja wskazywanych przez nie wyników pomiarów na poziomie całej kopalni. W tym

momencie wygląda to jak futurystyczna wizja dalszego rozwoju pracy oraz samej metody i całej techniki dokonywania pomiarów i prognoz. Zlokalizowana w wielu ścianach wydobywczych sieć czujników stężenia metanu mogłaby być podłączona do wspólnego centrum monitorowania i prognozowania. Program MetPred można by rozbudować tak, aby funkcjonował w sposób umożliwiający dokonywanie skorelowanych prognoz jednocześnie dla wielu ścian wydobywczych oraz był oparty na danych ze wspomnianej sieci czujników, a nie tylko jednego dla jednej ściany. Można także cały system „wzbogacić” o bazę danych historycznych. Zasadność utworzenia takiej bazy wydaje się być bardzo racjonalna ponieważ wiele procesów zachodzących w przyrodzie jest powtarzalnych i to właśnie tę powtarzalność można wykorzystać do przeprowadzania dokładniejszych prognoz. Oczywiście jest, że wdrożenie takiego kompleksowego centrum monitoringu wiąże się z pewnymi i to raczej nie małymi kosztami. Niezbędne byłoby zabezpieczenie odpowiedniej mocy obliczeniowej i zasobów systemowych dla „centralnej stacji prognozującej”. Konieczne byłoby rozbudowanie programu MetPred, wzbogacenie go o nowe funkcjonalności oraz szczegółowe przetestowanie rozwiązania jako całości. Ponadto konieczne byłoby przeszkolenie odpowiedniej grupy osób obsługujących takie centrum monitorowania. Wszystko to według autora jest możliwe, choć na pewno wymaga wysiłku zarówno na gruncie technicznym, jak i organizacyjnym. Nie jest to natomiast przedsięwzięcie dla jednej osoby, a sama akceptacja takiej wizji (oraz kosztów związanych z jej realizacją) musiałaby pochodzić od wyższej kadry zarządzającej. Jednakże, mając na uwadze konieczność rozwoju i zachowanie konkurencyjności oraz przede wszystkim wysokiego poziomu bezpieczeństwa pracy człowieka, jest to wizja warta rozważenia.

SPIS LITERATURY

1. Badura H., Kołodziejczyk P.: Zastępcze układy przewietrzania w pokładach tąpjących z zagrożeniem metanowym. *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie* nr 12, 1999
2. Badura H.: Zastosowanie teorii szeregów czasowych do prognoz krótkoterminowych metanowości. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo*, z. 250, Gliwice, 2001
3. Badura H.: Podstawy krótkoterminowej prognozy metanowości w oparciu o teorię szeregów czasowych. *Materiały XVII Sympozjum NOT SITG na temat „Zwalczanie zagrożenia metanowego w kopalniach – teoria i praktyka”*, Rybnik 2001.
4. Badura H.: Analiza metanowości ściany 24 w kopalni "Jas-Mos". *Międzynarodowa Konferencja "Aerodynamika v honictvi"*, Ostrava, grudzień 2003
5. Badura H.: Wpływ wydobywania na wydzielanie się metanu do rejonu ściany. *Materiały 3 Szkoły Aerologii Górniczej, Zakopane, 12-15 październik 2004*
6. Badura H.: Simulación de la emisión de metano en un tajo de carbón mediante un modelo matemático. *Ingeopres*, 2004 NOV; (132)
7. Badura H.: Badanie własności szeregów czasowych średniej metanowości dobowej ścian. *Zeszyty Nauk. Pol. Śl., Seria Górnictwo*, z.270, 2005.
8. Badura Henryk, Niewiadomski Adam, Trzaskalik P.: Study of the possibility of forecasting methane concentration in a ventilation roadway up to 10 m from the longwall face - case study, Vol. 1, 2020, Saint-Petersburg, Saint-Petersburg Mining University, s.279-280.
9. Badura H.: Analiza wpływu niektórych czynników na metanowość rejonu ściany D-2 w pokładzie 409/4 w KWK „R”. *Przegląd Górniczy* nr 4, 2007.
10. Badura H.: Analiza średnich stężeń metanu na wylocie z rejonu ściany P-4 w KWK „R”. *Kwartalnik Górnictwo i Geologia*, t. 2, z.2, 2007
11. Badura H., Jakubów A.: Wdrożenie krótkookresowej prognozy metanowości rejonów ścian w kopalniach Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A.. *Polski Kongres Górniczy, sesja 6 – Wentylacja i Klimatyzacja Kopalń. Kwartalnik. Prace Naukowe GIG, Wydanie specjalne nr II, Katowice 2007.*
12. Badura H., Jakubów A., Klamecki A.: Application of statistic predictions for evaluation of methane inflow. *New Challengers and Visions for Mining. Methane Treatment. Issued by The Foundation for the AGH – University of Science & Technology, Kraków, 2008*
13. Badura H.: Wykorzystanie uogólnionej metody najmniejszych kwadratów Aitkena do estymacji parametrów modelu metanowości rejonu ściany. *Asociace Technických Diagnostiku Ceske Republiky o.s. Technicka Diagnostika*, z1, rocznik XX, 2011.
14. Badura H., Zawadzki J., Fabiańczyk P.: Kriging blokowy oraz metody GIS w geostatystycznym oszacowaniu metanonośności w kopalniach węgla kamiennego. *Roczniki Geomatyki 2012*, t. X, z. 3(53). *Polskie Towarzystwo Informacji Przestrzennej*. Warszawa, 2012.
15. Badura H.: Metody prognoz krótkoterminowych stężenia metanu na wylotach z rejonów ścian zawałowych w kopalniach węgla kamiennego. *Monografia. Wyd. Politechniki Śląskiej. Gliwice, 2013*
16. Badura H., Stabla H., Plewa F.: Dyspozytorski program do bieżącej oceny i prognozy zagrożenia metanowego jako narzędzie do wspomaganie doboru środków profilaktyki metanowej. *Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej 2013. Inst. Gospod. Surowcami Mineraln. i Energią PAN, Katedra Górn. Podz. AGH. Kraków 18-22 lutego 2013.*

17. Badura H., Zmarzły M., Trzaskalik P., Korshunov A.I.: Study of the Accuracy of Methane Concentration Forecasts in KWK „Borynia-Zofiówka” Ruch Zofiówka. New Trends in Production Engineering. Monograph. Engineering and Technology. Part 1. Sciendo. Warszawa, 2020
18. Borowski J.: Zależność gazowości ścian od wydobywania. Prace GIG, Katowice 1969.
19. Bielińska E.: Metody prognozowania. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice, 2003.
20. Borowski M., Szlązak N.: Prognozowanie wydzielania metanu do wyrobisk ścianowych w kopalniach węgla kamiennego z wykorzystaniem sieci neuronowych. Materiały 4 Szkoły Aerologii Górniczej, Kraków, 10-13.10.2006.
21. Borowski M., Szlązak N., Obracaj D.: Prognozowanie zagrożenia metanowego w rejonie ścian eksploatacyjnych prowadzonych w kopalniach węgla kamiennego. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Szczyrk, 2007.
22. Cierpisz S., Miśkiewicz K., Musioł K., Wojacek A.: Systemy gazometryczne w górnictwie. Monografia. Wyd. Pol. Śl, Gliwice 2007.
23. Cybulski W., Myszor H.: Próba określenia zależności wydzielania metanu od wielkości wydobywania. Archiwum Górnictwa, t. 27, z. 2, 1974.
24. Czapliński A.: Węgiel kamienny. Wyd. Naukowe AGH, Kraków, 1994.
25. Czyczuła L.: Rozkład czasoprzestrzenny stężenia metanu w wyrobisku kopalnianym przy zmiennych warunkach przewietrzania. Zesz. Probl. Górn. t. 17, z. 2, 1973.
26. Dhar B.B., Singh A.K., Singh H., Kispotta J.: Prediction of methane emission in longwall workings. 27th International Confer. Of Safety in Mines Research Institute. New Delhi, 1997.
27. Dixon D.W., Longson I.: A statistical method for methane prediction and improved environmental control. Proceedings of the 6th US Mine Ventilation Symposium. 1993.
28. Dubiński J. i inni: Koncentracja wydobywania a zagrożenia górnicze. Katowice, 1999.
29. <https://haso.pl/?product=csm-3>
30. Dziurzyński W., Nawrat S.: Wpływ przewietrzania na odmetanowanie w ścianie eksploatacyjnej. Archiwum Górn. t. 38, z. 2, 1993.
31. Dziurzyński W.: Niestacjonarne rozkłady stężenia metanu w sieci wentylacyjnej po zaistniałym wstrząsie lub tąpnięciu. Przegląd Górn. nr 3, 2001.
32. Dziurzyński W., Krach A., Pałka T.: Metoda wyznaczania rozkładu stężenia metanu w sieci wentylacyjnej z uwzględnieniem systemu monitoringu. Materiały 2 Szkoły Aerologii Górniczej, Zakopane, 2002.
33. Dziurzyński W., Niezgodna F.: Badania eksperymentalne rozkładu stężenia metanu w rejonach eksploatacji w czasie okresowego zatrzymania wentylatora głównego przewietrzania. Materiały 3 Szkoły Aerologii Górniczej, Zakopane, 12-15 październik 2004.
34. Flüge G.: Die Anwendung der Trogtheorie auf den Raum der Zusatzausgasung. Glückauf Forschungshefte, No. 32, 1971.
35. Frączek R.: Zwalczanie zagrożenia metanowego w kopalniach węgla kamiennego. Gliwice, 2005.
36. Frycz A., Szlązak J.: Wpływ rozcinki złoża w pokładach metanowych na występowanie metanu w rejonie ścian. Przegl. Górn., nr 2, 1977.
37. Frycz A., Szlązak J.: Wentylacyjne sposoby zwalczania zagrożenia metanowego. Bezpieczeństwo i Higiena Pracy nr 1, 1978.
38. Grzegorowski M., Ślęzak D., Janusz A., Kozielski M., Nguyen S., Sikora M., Stawicki S., Wróbel Ł.: A framework for learning and embedding multi-sensor forecasting models into a decision support system: A case study of methane concentration in coal mines. Information Sciences, vol. 451–452, 2018, s. 112–133.
39. Grubengasbekaempfung im Hohleleistungsstreb. Praca zbiorowa pod redakcją K. Noacka. Steinkohlenbergbauverein, Essen 1977.

40. Demirkan D.C., Sebnem H., Juganda A., Brune J., Bogin G.: Real-Time Methane Prediction in Underground Longwall Coal Mining Using AI. *Energies* 2022, 15 (17), 6486;
41. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J.: *The Elements of Statistical Learning, Data Mining, Inference, and Prediction*. Springer Sierpień 2008.
42. Kalisz J., Kozłowski B., Niesobski W.: Maksymalne wydzielanie się metanu w chodnikach i ścianach oraz metody jego prognozowania. Komunikat GIG nr 515. Katowice, 1971.
43. Kataro Ohega, Sohei Shimada: Gas emission prediction and control in deep coal mines. *Mineral Resources Engineering*. Vol. 9 No. 2, 2000.
44. Konopko W., Kabiesz J., Cygankiewicz J.: Wstrząsy i tąpnięcia jako inicjatory zagrożenia metanowego. *Przegląd Górniczy* nr 3, 1992.
45. Kozłowski B.: Nowa metoda prognozowania zagrożenia metanowego. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej*, Gliwice, 1969.
46. Kozłowski B., Grębski Z.: *Odmetanowanie górotworu w kopalniach*. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice, 1982.
47. Kozłowski B.: *Prognozowanie zagrożeń metanowych w kopalniach głębinowych*. Politechnika Śląska. Skrypt, Gliwice, 1986.
48. Krach A.: Wpływ zmian ciśnienia barometrycznego na stężenie metanu w prądzie powietrza wypływającym z rejonu ściany z przyległymi zrobami – model matematyczny i algorytm obliczeniowy. *Archives of Mining Sciences* 49, 2004.
49. Krach A., Trutwin W.: Układ automatycznej regulacji stężenia metanu w bocznicy wentylacyjnej. *Zeszyty Probl. Górń.* t. 11, z. 2, 1973.
50. Krause E., Cybulski K., Łukowicz K.: Wpływ koncentracji wydobywania na kształtowanie się zagrożenia metanowego w wyrobiskach środowiska ściany. *Materiały 1 Szkoły Aerologii Górniczej*, Zakopane, 1999.
51. Krause E., Łukowicz K., Gruszka A.: *Zasady przewietrzania wyrobisk górniczych w warunkach zagrożenia metanowego wraz z doбором urządzeń wentylacyjnych dla jego zwalczania*. Wydawnictwo GIG Katowice-Mikołów, 2000.
52. Krause E., Łukowicz K.: *Dynamiczna prognoza metanowości bezwzględnej ścian (poradnik techniczny)*. GIG, KD "Barbara", Katowice – Mikołów, 2000.
53. Krause E.: Czynniki kształtujące wydzielanie metanu ze zrobów do wyrobisk górniczych w warunkach zmian ciśnienia barometrycznego. *Materiały 5 Szkoły Aerologii Górniczej*, Wrocław, 13-16 październik 2009.
54. Krause E., *Zagrożenie metanowe w kopalniach węgla kamiennego*. Wydawnictwo GIG Katowice, 2019.
55. Kubaczka Cz.: Wpływ wielkości wydobywania na stan zagrożenia metanowego w rejonie ściany eksploatacyjnej. *Praca doktorska*, AGH, Kraków, 2009. Kufel T.: *Ekonometria. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem programu GRETL*. Wyd. Naukowe PWN, 2011.
56. Krenicky T., Tutak M., Pirník R., Brodny J., Grebski W., *Predicting Methane Concentrations in Underground Coal Mining Using a Multi-Layer Perceptron Neural Network Based on Mine Gas Monitoring Data.*, 2024.
57. Lunarzewski L.W.: Gas prediction, recovery, control and utilization applicable to the mining industry. Presented at The Symposium on recovery and use of coalbed methane. Katowice, 1992.
58. Lunarzewski L.W., Lunarzewski A.L., Pilcher R.C.: A new approach to predicting underground gassiness for design of gas capture and ventilation system. *Proceedings of The 7th US Mine Ventilation Symposium*, 1995.
59. Łukaszczyk Z., Badura H.: Metan z kopalń węgla kamiennego jako zagrożenie górnicze i źródło energii. *Rynek Energii* nr 2 (159). Kwiecień 2022. ISSN 1425-5960
60. Lunarzewski L.W.: Gas emission prediction and recovery in underground coal mines. *International Journal of Coal Geology* 79.

61. Łukaszczyk Z., Badura H.: "Metan z kopalń węgla kamiennego jako zagrożenie górnicze i źródło energii", 2022. Warszawa, STE Group, s.1-11, ISBN 978-83-952420-4-5
62. Matuszewski K.: Możliwości przeciwdziałania zapłonom metanu w polskich kopalniach węgla kamiennego. Mat. XIX Seminarium „Zagrożenie wybuchem metanu i pyłu węglowego w kopalniach – teoria i praktyka” Rybnik, 2002.
63. Matuszewski K.: Kryteria zagrożenia wybuchami metanu i pyłu węglowego w następstwie gwałtownych przemieszczeń górotworu. Prace GIG, Katowice, 1979.
64. Mirek A., Katan D.: Zagrożenie metanowe w polskim górnictwie węgla kamiennego w ostatnim dwudziestolecu i perspektywy kształtowania się poziomu tego zagrożenia w najbliższych latach. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej, 2013.
65. Myszor H.: Wpływ ciśnienia barometrycznego na wydzielanie metanu ze ściany. Przeg. Górn. nr 10, 1969.
66. Myszor H.: Badanie wpływu natężenia przepływu powietrza w prądzie przewietrzającym ścianę na wydzielanie się metanu. Zeszyty Probl. PAN t. 11, z. 2, 1973..
67. Myszor H.: Możliwość intensyfikacji wydobywania z uwagi na zagrożenia metanowe. Prace GIG. Seria dodatkowa. Katowice, 1976.
68. Myszor H., Gruszka A.: O zależności wydzielania metanu do kopalń od ciśnienia atmosferycznego. Arch. Górn. t. 41, z. 2, 1996.
69. Nawrat S., Kuczera Z., Napieraj S.: Badania modelowe zwalczania zagrożenia metanowego na wylocie ściany przewietrzanej systemem „U”. Materiały 4 Szkoły Aerologii Górniczej, Kraków, 10-13.10.2006.
70. Nawrat S., Kuczera Z., Napieraj S., Syty J.: Badania eksperymentalne procesu przemieszczania gazów w zrobach kopalni węgla kamiennego. Wiadomości Górnicze, nr 4, 2006.
71. Nawrat S., Napieraj S.: Analiza możliwości utylizacji metanu z powietrza wentylacyjnego z szybów polskich kopalń węgla kamiennego. WUG. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie. nr 9, 2010.
72. Nawrat S.: Aktualny stan i perspektywy wykorzystania metanu z pokładów węgla kamiennego w Polsce. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Kraków, 2011.
73. Ościk J.: Adsorpcja. PWN. Warszawa 1973.
74. Pach G., Niewiadomski A., Wojaczek M., Jęsień P., „Analiza prognoz krótkoterminowych metanu na wylocie z wybranej ściany i rejonu wentylacyjnego w kopalni węgla kamiennego”, 2022.
75. Pawiński J., Roszkowski J., Strzemiński J.: Przewietrzanie kopalń. Wyd. „Śląsk”, Katowice, 1979
76. Pawiński J., Roszkowski J., Szlązak N.: Zmiany koncentracji metanu w wyrobiskach korytarzowych. Archiwum Górn., t. 40, z. 3 1995.
77. Rak Z., Stasica J., Bargieł D., Ciepliński Z.: Wysoko wydajny przodek chodnikowy w drażeniu wyrobisk przewidzianych do późniejszego wykorzystania w jednostronnym otoczeniu zrobów. Przegląd Górniczy nr 6, 2015.
78. Roszkowski J., Szlązak N.: Wybrane problemy odmetanowania kopalń węgla kamiennego”. Nauka i Technika Górnicza. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków, 1999.
79. Roszkowski J., Pawiński J., Mikołajczyk W., Roszczyński W.: Prognozowanie gazowości wyrobisk udostępniających i przygotowawczych drażonych w kopalniach gazowych ROW. Zeszyty Nauk. AGH, Górnictwo, z. 36, 1972.
80. Roszkowski J., Szlązak J., Szlązak N.: Zagrożenie metanowe w kopalniach węgla kamiennego. Materiały 1 Szkoły Aerologii Górniczej, Zakopane, 1999.
81. Obwieszczenie Ministra Spraw Klimatu i Środowiska z dnia 28 lipca 2021 w sprawie zagrożeń naturalnych w zakładach górniczych. Dz. U. poz. 1617, Warszawa, dnia 3 września 2021.

82. Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych. Dz.U. poz 1118, dnia 9 czerwca 2017 r., Warszawa.
83. Sporysz G., Piątkowski S., Kulawik M.: Wpływ dyslokacji tektonicznych na stopień zagrożenia metanowego w południowej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego na przykładzie KWK „Brzeszcze-Silesia”. Materiały 4 Szkoły Aerologii Górniczej, Kraków, 10-13.10.2006.
84. Sułkowski J., Ngujen H. Dieu: Lokalizacja stref o wybuchowej koncentracji metanu w zborach ściany zawałowej przewietrzanej przekątnie. Konferencja Nauk.-Techn. „Zagrożenie metanowe w górnictwie”. Ustroń, luty 1997.
85. Sułkowski J., Kutkowski J.: Analiza przypadków wzmożonego wydzielania metanu do wyrobisk korytarzowych w sąsiedztwie rejonów występowania wstrząsów górniczych. Przegląd Górniczy nr 4, 1999.
86. Sułkowski J., Ogiegło K., Lubryka M., Kutkowski J.: Wpływ wstrząsów górotworu indukowanych eksploatacją górnictwem na wydzielanie metanu do wyrobisk górniczych. VII Międzynarod. Konfer. Instytutów Górnictwa, Szczyrk 2001.
87. Szlązak J., Szlązak N.: Filtracja powietrza w zrobach ścian zawałowych. Górnictwo, Kwartalnik AGH, r. 25, z. 4, 2001.
88. Szlązak J., Szlązak N.: Ocena systemów przewietrzania wyrobisk ścianowych w kopalniach węgla kamiennego w warunkach zagrożenia metanowego i pożarowego. Materiały 3 Szkoły Aerologii Górniczej. Zakopane, 2004.
89. Szlązak J., Szlązak N.: Numerical determination of methane concentration in goaf space. Archives of Mining Sciences, vol. 49, issue 4, 2004.
90. Szlązak J., Szlązak N.: Zagrożenie metanowe w zrobach ścian zawałowych. Przegl. Górn. nr 10, 2005.
91. Szlązak N., Borowski M.: Weryfikacja zmian stężenia metanu w zborach ścian zawałowych w oparciu o pomiary wykonane w wyrobiskach przyzrobowych. Materiały 3 Szkoły Aerologii Górniczej, Zakopane, 2004.
92. Szlązak N., Tor A., Jakubów A.: Koncentracja wydobywania w warunkach zagrożenia metanowego i zagrożenia pożarowego na przykładzie kopalni Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A. Materiały 3 Szkoły Aerologii Górniczej, Zakopane, 12-15 października 2004.
93. Szywacz J., Wasilewski S.: Analiza parametrów powietrza kopalnianego. Rozprawy i Monografie. EMAG, Katowice, 2003.
94. Szywacz J.: Modelowanie szeregów czasowych parametrów powietrza kopalnianego metodą filtrów formujących. Materiały 3 Szkoły Aerologii Górniczej, Zakopane, 12-15.10.2004.
95. Tarnowski J.: Geologiczne warunki występowania metanu w górnośląskiej niecce węglowej. Zeszyty Nauk. Polit. Śl., z. 166, Gliwice, 1989.
96. Tauziède C., Pokryszka Z.: Dynamic prediction of methane emission at longwalls. Present at The 25th International Conference on Safety in Mines Research Institutes. Pretoria, 1993.
97. Trenczek S.: Odmetanowanie jako istotny czynnik zwalczania zagrożeń skojarzonych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo, z. 254, Gliwice 2002.
98. Trenczek S., Broja A.: Monitorowanie eksploatacji prowadzonej w warunkach współwystępowania zagrożeń metanowego i pożarami endogenicznymi. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, nr 2, 2009.
99. Trenczek S.: Kilka uwag do oceny współwystępujących zagrożeń w kopalniach węgla kamiennego. Polit. Śl., Górnictwo i Geologia. Kwartalnik, t. 4, z. 3, 2009.
100. Trenczek S.: Rozszerzenie kontroli w rejonach ścian wydobywczych o pomiary ciśnienia w aspekcie zagrożenia wybuchowego. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, nr 1, 2010.

101. Trenczek S.: Zmienność występowania poziomów zagrożenia metanowego i zagrożenia pożarami endogenicznymi. Materiały XXIX Seminarium nt. „Zwalczanie zagrożenia metanowego i pożarowego w kopalniach węgla kamiennego – Teoria i praktyka”. XXXVIII Dni Techniki ROP '2012, Rybnik 10.10.2012.
102. Trutwin W.: Symulacja cyfrowa stanów nieustalonych procesu przewietrzania i regulacji kopalnianej sieci wentylacyjnej. Zeszyty Problemowe Górn., z. 2, t. 10, 1972.
103. Trutwin W., Czyczuła L., Kraj W., Kruszyński M.: Über den Einfluss der Wettergeschwindigkeit auf die Methankonzentration in Grubenwetter. Arch. Górn. 1969.
104. Trutwin W.: Wpływ warunków przewietrzania na stężenie metanu w wyrobiskach kopalnianych. Zeszyty Probl. Górn., t. 11, z. 2, 1973.
105. Układ węgiel kamienny - metan w aspekcie desorpcji i odzyskiwania metanu z gazów kopalnianych. Praca zbior. pod redakcją M. Żyły. Nauka i Technika Górnicza. Uczelniane Wyd. Nauk.-Dydakt. AGH, 2000.
106. Wasilewski S.: Zintegrowany system kontroli zagrożeń metanowo-pożarowych. MiAG nr 10, 1994.
107. Wasilewski S.: Cyfrowa analiza sygnałów pomiarowych procesu wentylacji. Arch. Górn., t. 36, z. 3, 1997.
108. Wasilewski S.: Stany nieustalone przepływu powietrza i stężenia metanu w wyrobiskach kopalnianych. Prace Naukowe-Badawcze-Wdrożeniowe EMAG nr 1(9), Katowice 1998.
109. Wasilewski S., Wojtas P., Rej A.: Analiza funkcjonowania systemów metanometrycznych w kopalniach. MiAG nr 4, 2005.
110. Wasilewski S.: Obserwacja zaburzeń parametrów powietrza wywołanych pracą kombajnu w ścianie B-6 pokł. 358/1 w KWK „Budryk”. Przegl. Górn. nr 3-4, 2010.
111. Palka D., Brodny J., Tutak M, Dan Nitoi: The role, importance and impact of the methane hazard on the safety and efficiency of mining production.
112. Zawadzki J., Fabijańczyk P., Badura H.: Estimation of methane content in coal mines using supplementary physical measurements and multivariable geostatistics. International Journal of Coal Geology 2013. 118, pp. 33-34.
113. Zmarzły M., Trzaskalik P., : Comparative Analysis of Methane Concentration Near the Junction of the Longwall and Top Road. Management Systems in Production Engineering, 2019, vol. 27, nr 3, s. 166-173.

SPIS TABEL

| | | |
|-------------|---|----|
| Tabela 4.1 | Charakterystyka wybranych parametrów dla poszczególnych ścian | 23 |
| Tabela 5.1 | Wartości parametrów równań liniowych określających zależności między średnim stężeniem metanu w chodniku nadścianowym w dniu bieżącym i poprzednim [15] | 36 |
| Tabela 5.2 | Wartości parametrów równań liniowych określających zależności między maksymalnym stężeniem metanu w chodniku nadścianowym w dniu bieżącym i poprzednim [15] | 37 |
| Tabela 5.3 | Zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary i prognozy dla ściany 1. | 38 |
| Tabela 5.4 | Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 1 | 39 |
| Tabela 5.5 | Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 1 | 39 |
| Tabela 5.6 | Zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary i prognozy dla ściany 2 | 40 |
| Tabela 5.7 | Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 2 | 40 |
| Tabela 5.8 | Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 2 | 41 |
| Tabela 5.9 | Zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary i prognozy dla ściany 3 | 41 |
| Tabela 5.10 | Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 3 | 42 |
| Tabela 5.11 | Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 3 | 42 |
| Tabela 5.12 | Zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary i prognozy dla ściany 4 | 43 |
| Tabela 5.13 | Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 4 | 43 |
| Tabela 5.14 | Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 4 | 44 |
| Tabela 5.15 | Zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary i prognozy dla ściany 5 | 44 |
| Tabela 5.16 | Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 5 | 45 |
| Tabela 5.17 | Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 5 | 45 |
| Tabela 5.18 | Zestawienie wartości parametrów statystycznych | 46 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| | charakteryzujących pomiary i prognozy dla ściany 6 | |
| Tabela 5.19 | Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 6 | 46 |
| Tabela 5.20 | Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 6 | 47 |
| Tabela 5.21 | Zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary i prognozy dla ściany 7 | 47 |
| Tabela 5.22 | Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 7 | 48 |
| Tabela 5.23 | Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 7 | 48 |
| Tabela 6.1 | Zoptymalizowane wartości parametrów równań linowych określających zależności między średnim dobowym stężeniem metanu w rozpatrywanym dniu tygodnia a średnim dobowym stężeniem metanu w dniu poprzedzającym | 52 |
| Tabela 6.2 | Zoptymalizowane wartości parametrów równań linowych określających zależności między maksymalnym stężeniem metanu w rozpatrywanym dniu tygodnia a maksymalnym stężeniem metanu w dniu poprzedzającym | 53 |
| Tabela 6.3 | Zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary i prognozy dla ściany 1 | 86 |
| Tabela 6.4 | Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 1 | 86 |
| Tabela 6.5 | Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 1 | 87 |
| Tabela 6.6 | Zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary i prognozy dla ściany 2 | 92 |
| Tabela 6.7 | Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 2 | 92 |
| Tabela 6.8 | Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 2 | 95 |
| Tabela 6.9 | Zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary i prognozy dla ściany 3 | 98 |
| Tabela 6.10 | Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 3 | 99 |
| Tabela 6.11 | Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 3 | 101 |
| Tabela 6.12 | Zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary i prognozy dla ściany 4 | 105 |
| Tabela 6.13 | Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 4 | 105 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| Tabela 6.14 | Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 4 | 108 |
| Tabela 6.15 | Zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary i prognozy dla ściany 5 | 111 |
| Tabela 6.16 | Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 5 | 113 |
| Tabela 6.17 | Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 5 | 114 |
| Tabela 6.18 | Zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary i prognozy dla ściany 6 | 118 |
| Tabela 6.19 | Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 6 | 118 |
| Tabela 6.20 | Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 6 | 121 |
| Tabela 6.21 | Zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary i prognozy dla ściany 7 | 124 |
| Tabela 6.22 | Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 7 | 125 |
| Tabela 6.23 | Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich i maksymalnych wartości dla ściany 7 | 128 |
| Tabela 7.1 | Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary średniego stężenia metanu cz.1 | 132 |
| Tabela 7.2 | Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary średniego stężenia metanu cz.2 | 133 |
| Tabela 7.3 | Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary średniego stężenia metanu cz.3 | 134 |
| Tabela 7.4 | Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary maksymalnego stężenia metanu cz.1 | 135 |
| Tabela 7.5 | Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary maksymalnego stężenia metanu cz.2 | 136 |
| Tabela 7.6 | Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących pomiary maksymalnego stężenia metanu cz.3 | 136 |
| Tabela 7.7 | Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących prognozy średnich stężeń metanu cz.1 | 137 |
| Tabela 7.8 | Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących prognozy średnich stężeń metanu cz.2 | 138 |
| Tabela 7.9 | Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących prognozy średnich stężeń metanu cz.3 | 139 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Tabela 7.10 | Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących prognozy średnich stężeń metanu cz.4 | 140 |
| Tabela 7.11 | Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących prognozy średnich stężeń metanu cz.5 | 141 |
| Tabela 7.12 | Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących prognozy maksymalnych stężeń metanu cz.1 | 142 |
| Tabela 7.13 | Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących prognozy maksymalnych stężeń metanu cz.2 | 143 |
| Tabela 7.14 | Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących prognozy maksymalnych stężeń metanu cz.3 | 144 |
| Tabela 7.15 | Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących prognozy maksymalnych stężeń metanu cz.4 | 145 |
| Tabela 7.16 | Zbiorcze zestawienie wartości parametrów statystycznych charakteryzujących prognozy maksymalnych stężeń metanu cz.5 | 145 |
| Tabela 7.17 | Uśrednione błędy prognoz średnich stężeń metanu | 146 |
| Tabela 7.18 | Uśrednione błędy prognoz maksymalnych stężeń metanu | 146 |
| Tabela 8.1 | Podsumowanie uzyskanych wyników prognoz – wybrane parametry | 152 |

SPIS RYSUNKÓW

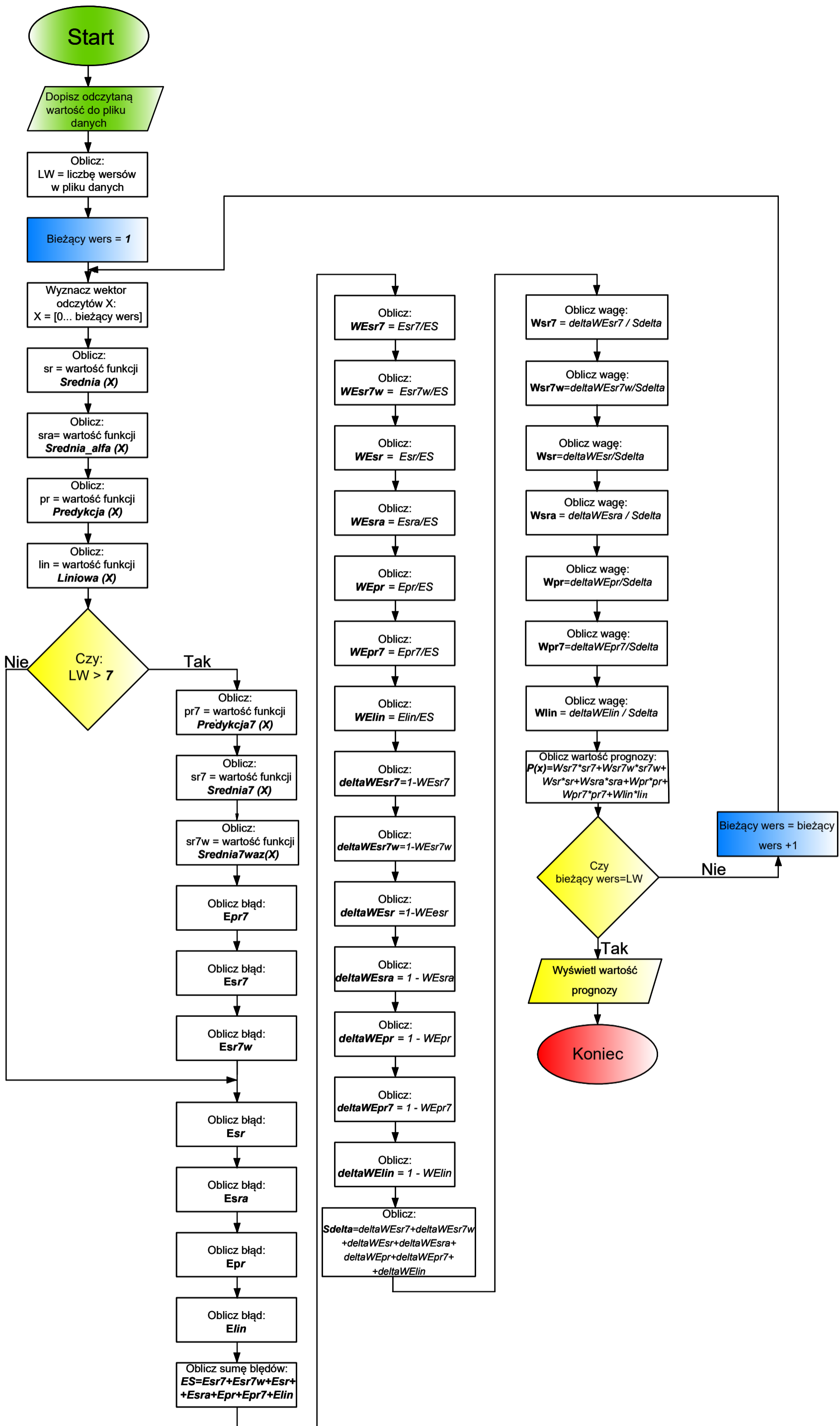
| | | |
|-----------|--|----|
| Rys. 1.1 | Drogi wydzielania się metanu do wyrobiska podczas wybierania ściany [54]. | 5 |
| Rys. 1.2 | Rejon ściany przewietrzanej sposobem U [54]. | 5 |
| Rys. 3.1 | Schemat koncepcyjny metody wykorzystanej do bieżącej oceny zagrożenia metanowego – wersja z czynnikami zaburzającymi. | 17 |
| Rys. 3.2 | Schemat koncepcyjny metody wykorzystanej do bieżącej oceny zagrożenia metanowego – wersja bez czynników zaburzających. | 18 |
| Rys. 3.3 | Porównanie wyników modelowania CFD oraz predykcji z uczeniem maszynowym [40] | 19 |
| Rys. 3.4 | Architektura i schemat operacyjny modułu predykcji programu DISESOR [38] | 20 |
| Rys. 4.1 | Profile geologiczne rejonów prowadzonych badań dołowych | 25 |
| Rys. 4.2 | Czujnik CSM-3 [29]. | 29 |
| Rys. 4.3 | Skrzyżowanie ściany i chodnika wentylacyjnego z zaznaczonymi miejscami pomiarów stężenia metanu. | 30 |
| Rys. 6.1 | Główne okno programu MetPred. | 55 |
| Rys. 6.2 | Pomiarowe i prognozowane średnie stężenia metanu dla ściany 1. | 62 |
| Rys. 6.3 | Pomiarowe i prognozowane maksymalne stężenia metanu dla ściany 1. | 65 |
| Rys. 6.4 | Pomiarowe średnie stężenia metanu z dolną i górną granicą prognozy dla ściany 1. | 66 |
| Rys. 6.5 | Pomiarowe maksymalne stężenia metanu z górną granicą prognozy dla ściany 1. | 67 |
| Rys. 6.6 | Pomiarowe i prognozowane średnie stężenia metanu dla ściany 2. | 67 |
| Rys. 6.7 | Pomiarowe i prognozowane maksymalne stężenia metanu dla ściany 2. | 68 |
| Rys. 6.8 | Pomiarowe średnie stężenia metanu z dolną i górną granicą prognozy dla ściany 2. | 69 |
| Rys. 6.9 | Pomiarowe maksymalne stężenia metanu z górną granicą prognozy dla ściany 2. | 70 |
| Rys. 6.10 | Pomiarowe i prognozowane średnie stężenia metanu dla ściany 3. | 70 |
| Rys. 6.11 | Pomiarowe i prognozowane maksymalne stężenia metanu dla ściany 3. | 71 |
| Rys. 6.12 | Pomiarowe średnie stężenia metanu z dolną i górną granicą prognozy dla ściany 3. | 72 |
| Rys. 6.13 | Pomiarowe maksymalne stężenia metanu z górną granicą prognozy | 73 |

| | | |
|-----------|---|----|
| | dla ściany 3. | |
| Rys. 6.14 | Pomiarowe i prognozowane średnie stężenia metanu dla ściany 4. | 73 |
| Rys. 6.15 | Pomiarowe i prognozowane maksymalne stężenia metanu dla ściany 4. | 74 |
| Rys. 6.16 | Pomiarowe średnie stężenia metanu z dolną i górną granicą prognozy dla ściany 4. | 75 |
| Rys. 6.17 | Pomiarowe maksymalne stężenia metanu z górną granicą prognozy dla ściany 4. | 76 |
| Rys. 6.18 | Pomiarowe i prognozowane średnie stężenia metanu dla ściany 5. | 76 |
| Rys. 6.19 | Pomiarowe i prognozowane maksymalne stężenia metanu dla ściany 5. | 77 |
| Rys. 6.20 | Pomiarowe średnie stężenia metanu z dolną i górną granicą prognozy dla ściany 5. | 78 |
| Rys. 6.21 | Pomiarowe maksymalne stężenia metanu z górną granicą prognozy dla ściany 5. | 79 |
| Rys. 6.22 | Pomiarowe i prognozowane średnie stężenia metanu dla ściany 6. | 79 |
| Rys. 6.23 | Pomiarowe i prognozowane maksymalne stężenia metanu dla ściany 6. | 80 |
| Rys. 6.24 | Pomiarowe średnie stężenia metanu z dolną i górną granicą prognozy dla ściany 6. | 81 |
| Rys. 6.25 | Pomiarowe maksymalne stężenia metanu z górną granicą prognozy dla ściany 6. | 82 |
| Rys. 6.26 | Pomiarowe i prognozowane średnie stężenia metanu dla ściany 7. | 82 |
| Rys. 6.27 | Pomiarowe i prognozowane maksymalne stężenia metanu dla ściany 7. | 83 |
| Rys. 6.28 | Pomiarowe średnie stężenia metanu z dolną i górną granicą prognozy dla ściany 7. | 84 |
| Rys. 6.29 | Pomiarowe maksymalne stężenia metanu z górną granicą prognozy dla ściany 7. | 85 |
| Rys. 6.30 | Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 1 | 87 |
| Rys. 6.31 | Rozkład liczby błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 1. | 87 |
| Rys. 6.32 | Udział procentowy błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 1 w przedziałach wartości błędów. | 88 |
| Rys. 6.33 | Udział procentowy błędów względnych dla prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 1 w przedziałach wartości błędów. | 88 |
| Rys. 6.34 | Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń | 89 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| | metanu dla ściany 1. | |
| Rys. 6.35 | Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 1. | 90 |
| Rys. 6.36 | Udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 1 w przedziałach wartości błędów. | 90 |
| Rys. 6.37 | Udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 1 w przedziałach wartości błędów. | 91 |
| Rys. 6.38 | Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 2. | 93 |
| Rys. 6.39 | Rozkład liczby błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 2. | 93 |
| Rys. 6.40 | Udział procentowy błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 2 w przedziałach wartości błędów. | 94 |
| Rys. 6.41 | Udział procentowy błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 2 w przedziałach wartości błędów. | 94 |
| Rys. 6.42 | Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 2. | 95 |
| Rys. 6.43 | Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 2. | 96 |
| Rys. 6.44 | Udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 2 w przedziałach wartości błędów. | 97 |
| Rys. 6.45 | Udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 2 w przedziałach wartości błędów. | 97 |
| Rys. 6.46 | Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 3. | 99 |
| Rys. 6.47 | Rozkład liczby błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 3. | 100 |
| Rys. 6.48 | Udział procentowy błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 3 w przedziałach wartości błędów. | 100 |
| Rys. 6.49 | Udział procentowy błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 3 w przedziałach wartości błędów. | 101 |
| Rys. 6.50 | Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 3. | 102 |
| Rys. 6.51 | Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 3. | 102 |
| Rys. 6.52 | Udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 3 w przedziałach wartości błędów. | 103 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| Rys. 6.53 | Udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 3 w przedziałach wartości błędów. | 104 |
| Rys. 6.54 | Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 4. | 106 |
| Rys. 6.55 | Rozkład liczby błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 4. | 106 |
| Rys. 6.56 | Udział procentowy błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 4 w przedziałach wartości błędów. | 107 |
| Rys. 6.57 | Udział procentowy błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 4 w przedziałach wartości błędów. | 107 |
| Rys. 6.58 | Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 4. | 108 |
| Rys. 6.59 | Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 4. | 109 |
| Rys. 6.60 | Udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 4 w przedziałach wartości błędów. | 110 |
| Rys. 6.61 | Udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 4 w przedziałach wartości błędów. | 110 |
| Rys. 6.62 | Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 5. | 112 |
| Rys. 6.63 | Rozkład liczby błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 5. | 113 |
| Rys. 6.64 | Udział procentowy błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 5 w przedziałach wartości błędów. | 113 |
| Rys. 6.65 | Udział procentowy błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń dla ściany 5 w przedziałach wartości błędów. | 114 |
| Rys. 6.66 | Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 5. | 115 |
| Rys. 6.67 | Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 5. | 115 |
| Rys. 6.68 | Udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 5 w przedziałach wartości błędów. | 116 |
| Rys. 6.69 | Udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 5 w przedziałach wartości błędów. | 117 |
| Rys. 6.70 | Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 6. | 119 |
| Rys. 6.71 | Rozkład liczby błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 6. | 119 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| Rys. 6.72 | Udział procentowy błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 6 w przedziałach wartości błędów. | 120 |
| Rys. 6.73 | Udział procentowy błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 6 w przedziałach wartości błędów. | 120 |
| Rys. 6.74 | Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 6. | 121 |
| Rys. 6.75 | Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 6. | 122 |
| Rys. 6.76 | Udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 6 w przedziałach wartości błędów. | 123 |
| Rys. 6.77 | Udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 6 w przedziałach wartości błędów. | 123 |
| Rys. 6.78 | Rozkład liczby błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 7. | 125 |
| Rys. 6.79 | Rozkład liczby błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 7. | 126 |
| Rys. 6.80 | Udział procentowy błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 7 w przedziałach wartości błędów. | 126 |
| Rys. 6.81 | Udział procentowy błędów względnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 7 w przedziałach wartości błędów. | 127 |
| Rys. 6.82 | Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 7. | 128 |
| Rys. 6.83 | Rozkład liczby błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 7. | 129 |
| Rys. 6.84 | Udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu dla ściany 7 w przedziałach wartości błędów. | 129 |
| Rys. 6.85 | Udział procentowy błędów bezwzględnych prognoz maksymalnych stężeń metanu dla ściany 7 w przedziałach wartości błędów. | 130 |



Schemat blokowy programu MetPred