

*Henryk BADURA*

**STĘŻENIE METANU  
NA WYLOTACH  
Z REJONÓW ŚCIAN  
W GÓRNICTWIE  
WĘGLOWYM**

**MONOGRAFIA**





*Henryk BADURA*

**STĘŻENIE METANU  
NA WYLOTACH  
Z REJONÓW ŚCIAN  
W GÓRNICTWIE  
WĘGLOWYM**

**MONOGRAFIA**

Warszawa 2023

## **REVIEWERS:**

**Greg GALECKI**

*Missouri University of Science and Technology, USA*

**Liubomyr ROMANYSHYN**

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, UKRAINE*

**Witold BIAŁY**

*Instytut Techniki Górniczej KOMAG, POLAND*

Projekt okładki: Michał ZASADZIEN

**ISBN: 978-83-952420-6-9**

© 2023 The Authors. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)."

Warszawa 2023

# SPIS TREŚCI

|                                                                                                        |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>1. WPROWADZENIE</b>                                                                                 | <b>7</b>   |
| <b>2. ROZMIESZCZENIE CZUJNIKÓW STĘŻENIA METANU<br/>W WYBRANYCH WYROBISKACH KOPALŃ WĘGLA KAMIENNEGO</b> | <b>24</b>  |
| <b>3. DANE POMIAROWE</b>                                                                               | <b>30</b>  |
| <b>4. PROGNOZY ZAGROŻENIA METANOWEGO</b>                                                               | <b>35</b>  |
| 4.1. Wprowadzenie w zagadnienie prognozowania                                                          | 35         |
| 4.2. Metody prognozy zagrożenia metanowego                                                             | 37         |
| <b>5. WYDOBYCIE DOBOWE ZE ŚCIANY JAKO CZYNNIK KSZTAŁTUJĄCY<br/>STĘŻENIE METANU W JEJ REJONIE</b>       | <b>42</b>  |
| 5.1. Wprowadzenie                                                                                      | 42         |
| 5.2. Warunki górnicze w rejonie ściany N-6 w pokładzie 330/2                                           | 43         |
| 5.3. Dane pomiarowe                                                                                    | 44         |
| 5.4. Prognoza średniego stężenia metanu na wylocie z rejonu ściany                                     | 46         |
| 5.5. Podsumowanie                                                                                      | 60         |
| <b>6. PORÓWNIANIE DOKŁADNOŚCI PROGNOZ STĘŻENIA METANU</b>                                              | <b>62</b>  |
| 6.1. Wstęp                                                                                             | 62         |
| 6.2. Zastosowane modele prognostyczne                                                                  | 62         |
| 6.3. Charakterystyka danych pomiarowych<br>i prognoz średniego stężenia metanu                         | 64         |
| 6.4. Prognozy średniego stężenia metanu                                                                | 82         |
| 6.5. Prognozy maksymalnego stężenia metanu                                                             | 91         |
| 6.6. Podsumowanie                                                                                      | 100        |
| <b>ZAŁĄCZNIKI</b>                                                                                      |            |
| Zestawienie prognoz średniego stężenia metanu                                                          | 105        |
| Zestawienie prognoz maksymalnego stężenia metanu                                                       | 157        |
| <b>LITERATURA</b>                                                                                      | <b>207</b> |



# WPROWADZENIE

Jednym z najbardziej rozpowszechnionych zagrożeń w górnictwie podziemnym węgla kamiennego jest zagrożenie metanowe [64, 80].

Metan jest gazem bezbarwnym i bezwonny, powstającym w przyrodzie w trakcie beztlenowego rozkładu substancji organicznych. Metan z pokładów węgla (CBM-coalbed methane) jest gazem naturalnym, zawartym w węglu. Jego geneza jest związana z procesem przeobrażenia i uwęglenia materii organicznej (głównie roślinnej), z której powstał węgiel, pod wpływem działalności mikroorganizmów oraz podwyższonej temperatury i ciśnienia.

Poniżej przedstawiono niektóre właściwości fizyczne metanu.

**Tabela 1.1**  
**Wybrane właściwości fizyczne metanu**

| Parametry                                           | Jednostka         | Wartość  |
|-----------------------------------------------------|-------------------|----------|
| Gęstość normalna zmierzona                          | kg/m <sup>3</sup> | 0,7178   |
| Gęstość względem powietrza                          |                   | 0,55     |
| Temperatura wrzenia                                 | °K                | 111,46   |
| Temperatura krytyczna                               | °K                | 191,05   |
| Temperatura zapłonu mieszaniny powietrzno-metanowej | °C                | 650-1100 |
| Ciśnienie krytyczne                                 | MPa               | 4,64     |
| Masa molowa                                         | kg/kmol           | 16,043   |
| Stała gazowa                                        | J/(kg·K)          | 518,37   |
| Pojemność cieplna właściwa (ciepło właściwe)        | kJ/(kg·K)         | 2,177    |
| Wartość opałowa                                     | MJ/m <sup>3</sup> | 35,89    |
| Ciepło spalania                                     | MJ/m <sup>3</sup> | 39,83    |
| Dolna granica wybuchowości                          | % obj.            | 5,0      |
| Górna granica wybuchowości                          | % obj.            | 15,0     |
| Minimalna energia zapłonu w powietrzu               | MJ                | 0,25     |

Źródło: opracowano na podstawie danych z Internetu

Niektóre źródła podają, że dolna granica wybuchowości metanu wynosi 4,5%. Metan pali się łatwo i czysto, oznacza to, że podczas spalania metanu w czystym tlenie powstaje jedynie jedna cząsteczka dwutlenku węgla oraz dwie cząsteczki pary wodnej (1.1).



Ponieważ mieszanina powietrznometanowa o stężeniu metanu od 5% (4,5%) do 15% jest wybuchowa, metan jako paliwo, po uwzględnieniu współczynnika bezpieczeństwa równego 2, może być wykorzystywany przy stężeniach od 30% wzwyż.

W sytuacji gdy ilość dostarczonego do procesu spalania tlenu jest zbyt mała, dochodzi do spalania niepełnego. Prowadzi ono do powstawania węgla i wody (1.2) lub tlenku węgla i wody (1.3).



Reakcja (1.3) jest szczególnie niebezpieczna, gdyż tlenek węgla (CO) jest gazem silnie trującym.

Metan jest jednym z tzw. gazów cieplarnianych. Istnieje dość duża różnica zdań, jaka jest jego wartość wskaźnika GWP (Global Warming Potential). Agencja Ochrony Środowiska Stanów Zjednoczonych (USEPA) [117] podaje że, „Szacuje się, że metan (CH<sub>4</sub>) ma GWP na poziomie 28-36 w ciągu 100 lat”. I dalej „20-letni GWP jest czasami używany jako alternatywa dla 100-letniego GWP. 20-letni GWP nadaje priorytet gazom o krótszym okresie życia, ponieważ nie uwzględnia wpływów, które mają miejsce ponad 20 lat po wystąpieniu emisji. Ponieważ GWP są obliczane w odniesieniu do CO<sub>2</sub>, GWP oparte na krótszych ramach czasowych będą większe dla gazów o okresie życia krótszym niż CO<sub>2</sub> i mniejsze dla gazów o okresie życia dłuższym niż CO<sub>2</sub>. Na przykład CH<sub>4</sub>, który ma krótką żywotność, 100-letni GWP wynosi od 28 do 36 i jest znacznie krótszy niż 20-letni GWP, którego wartość wynosi od 84 do 87.”

Według niektórych źródeł [118, 119] 100 letni GWP dla metanu wynosi 23, a wg portalu Teraz Środowisko – 30 [120].

Według portalu cordis.europa.eu [116] „Metan pozostaje w atmosferze przez około 12 lat, czyli o wiele krócej niż CO<sub>2</sub>, dla którego ten okres wynosi ponad sto lat. Metan ma natomiast większy potencjał tworzenia efektu cieplarnianego – 28 razy większy niż CO<sub>2</sub> przez sto lat, niezależnie od reakcji klimatycznej, (...). Z tego powodu do realizacji celów porozumienia paryskiego potrzebne jest obniżenie emisji nie tylko CO<sub>2</sub>, ale i CH<sub>4</sub>”, oraz „nie istnieje jednoznaczna procedura wyznaczania wartości GWP dla metanu”, ale jednocześnie „należy robić wszystko co możliwe, aby jak najlepiej zagospodarować metan jako źródło energii i ograniczyć negatywny wpływ na środowisko”.

Metan występuje w złożach w polskich zagłębieniach węglowych w trzech formach jako: metan wolny, znajdujący się w szczelinach, makroporach i mezoporach, gaz rozpuszczony w wodzie oraz gaz związany z węglem [44, 45, 46, 105]. W tym ostatnim przypadku metan może być połączony z węglem kamiennym na skutek sorpcji chemicznej (chemisorpcji) lub fizycznej.

Sorpcja chemiczna polega na utworzeniu na powierzchni szkieletu węglowego monomolekularnej warstwy związku chemicznego, powstałego na skutek reakcji metanu ze składnikami węgla kamiennego [77, 105]. Chemisorpcja jest reakcją

odwracalną, jednakże aby zaszła taka reakcja, trzeba stworzyć specjalne warunki temperatury i ciśnienia.

Przeważającą formą występowania metanu w pokładzie węglowym jest gaz sorbowany fizycznie. Rozróżnia się dwa rodzaje sorpcji fizycznej: adsorpcję i absorpcję. Adsorpcja polega na związaniu metanu z powierzchnią wewnętrzną węgla siłami międzycząsteczkowymi tzw. siłami van der Waalsa. Absorpcja metanu to przenikanie jego cząsteczek pomiędzy cząsteczki szkieletu węglowego w procesie dyfuzji [73, 105]. Metan połączony z węglem przez sorpcję fizyczną nazywany jest często metanem sorbowanym.

W pokładach węgla kamiennego największa ilość metanu występuje w postaci sorbowanej [44, 45, 46].

Suma objętości metanu sorbowanego i wolnego, przeliczona na jednostkę masy węgla w pokładzie określana jest jako metanonośność.

Ponieważ zdolności sorpcyjne skał płonnych, tworzących zapopielenie węgla, są w porównaniu ze zdolnościami sorpcyjnymi węgla bardzo małe, metanonośność przelicza się na tzw. czystą substancję węglową, tzn. na substancję bezwodną i bezpopiołową.

Sorpcja metanu na węglu jest uzależniona od właściwości węgla, jego temperatury i wilgotności, a także od ciśnienia metanu w złożu [24, 44, 45, 46, 105, 115]. Ponieważ węgiel tworzył się w długim okresie i w zmiennych warunkach geologicznych, występowanie metanu w złożu węglowym jest bardzo zmienne. Jak wykazały badania [83, 95], metanonośność oraz ciśnienie metanu w złożu węglowym są uzależnione od zaburzeń ciągłych i nieciągłych w zaleganiu złoża, od grubości i rodzaju nadkładu, litologii warstw karbońskich, typu węgla, prowadzonej i dokonanej eksploatacji górniczej oraz innych czynników.

Udostępniony pokład lub jego część jest przestrzenią, która w podziemnych zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny podlega zaliczeniu do jednej z czterech kategorii zagrożenia metanowego [81].

Do I kategorii zagrożenia metanowego zalicza się udostępniony pokład lub jego część, jeżeli objętościowa ilość metanu pochodzenia naturalnego zawarta w jednostce wagowej w głębi calizny węglowej, zwana dalej "metanonośnością", wynosi od 0,1 do 2,5 m<sup>3</sup>/Mg w przeliczeniu na czystą substancję węglową.

Do II kategorii zagrożenia metanowego zalicza się udostępniony pokład lub jego część, jeżeli metanonośność jest większa niż 2,5 m<sup>3</sup>/Mg, lecz nie jest większa niż 4,5 m<sup>3</sup>/Mg w przeliczeniu na czystą substancję węglową.

Do III kategorii zagrożenia metanowego zalicza się udostępniony pokład lub jego część, jeżeli metanonośność jest większa niż 4,5 m<sup>3</sup>/Mg, lecz nie jest większa niż 8 m<sup>3</sup>/Mg w przeliczeniu na czystą substancję węglową.

Do IV kategorii zagrożenia metanowego zalicza się udostępniony pokład lub jego część, jeżeli metanonośność jest większa niż 8 m<sup>3</sup>/Mg w przeliczeniu na czystą substancję węglową lub zaistniał nagły wypływ metanu albo wyrzut metanu i skał. Podczas zaliczania udostępnionego pokładu lub jego części do odpowiednich

kategorii zagrożenia metanowego uwzględnia się wyniki badań zagrożenia metanowego w sąsiednich zakładach górniczych [81].

Drażąc wyrobiska korytarzowe w złożu lub eksploatując pokład węglowy narusza się panującą tam równowagę sorpcyjną, przede wszystkim przez zmianę ciśnienia metanu w złożu, szczególnie w pobliżu wyrobisk. Obniżenie ciśnienia metanu w szczelinach i porach powoduje wystąpienie zjawiska desorpcji, czyli przechodzenia metanu ze stanu sorbowanego do wolnego. Na ogół jest to zjawisko wolnozmiennie, co spowodowane jest właściwościami desorpcji i niską gazoprzepuszczalnością skał karbońskich, a przede wszystkim węgla [115, 116].

Specyficzne układy metan – pokład węglowy – górotwór – wyrobisko mogą spowodować nagłe wypływy metanu lub wyrzuty gazów i skał.

Nagłym wypływem metanu [81] jest zachodzące w krótkim okresie intensywne – niezwiązane ze skutkami zawału, tąpnięcia lub odgazowania urobionych skał albo węgla lub niezwiązane z zaburzeniami w przewietrzaniu wyrobiska – wydzielanie się metanu z górotworu, które może spowodować w wyrobisku lub jego części:

- nagromadzenie się metanu o wartości stężenia, która może spowodować jego wybuch,
- powstanie atmosfery niezdatnej do oddychania.

W przypadku występowania w udostępnionym pokładzie zaburzeń warunków geologicznych – w szczególności uskoków, nasunięć o zrzucie większym niż miąższość pokładu oraz uskoków otwartych ze szczeliną wypełnioną materiałem innym niż węgiel kamienny – powodujących zróżnicowanie zagrożenia metanowego w poszczególnych częściach tego pokładu części te mogą zostać zaliczone do różnych kategorii zagrożenia metanowego [81].

W przypadku stwierdzenia występowania metanu w części udostępnionego pokładu pokład ten, w granicach obszaru górniczego lub tej części pokładu, w której są planowane albo prowadzone roboty górnicze, zalicza się do tej samej kategorii zagrożenia metanowego według kryteriów podanych wyżej.

Innym niebezpiecznym zjawiskiem występującym w trakcie eksploatacji pokładów metanowych są wyrzuty gazów (w szczególności metanu) i skał [81].

Wyrzutem metanu i skał jest dynamiczne przemieszczenie rozkruszonych skał lub kopaliny z calizny węglowej do wyrobiska lub jego części przez energię metanu wydzielonego z górotworu w wyniku działania czynników geologiczno-górnich, które może spowodować w wyrobisku lub jego części:

- zjawiska akustyczne,
- podmuch powietrza,
- uszkodzenie jego obudowy lub znajdujących się w nim maszyn i urządzeń,
- powstanie kawerny powyrzutowej, będącej pustką w jego stropie, spągu lub ociosie,
- zaburzenie w jego przewietrzaniu, (wyrzut powoduje także zaburzenia w innych wyrobiskach, szczególnie odprowadzających powietrze z miejsca wyrzutu – uwaga autora)

- nagromadzenie się gazów o wartości stężenia, która może spowodować jego wybuch;
- powstanie atmosfery niezdanej do oddychania.

W podziemnych zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny ustalono trzy kategorie zagrożenia wyrzutami gazów i skał. Do odpowiedniej kategorii zagrożenia wyrzutami zalicza się pokład lub jego część [81].

Do pierwszej I kategorii zagrożenia wyrzutami gazów i skał zalicza się pokład lub jego część, jeśli metanonośność wynosi od  $4,5 \text{ m}^3/\text{Mg}$  do  $8 \text{ m}^3/\text{Mg}$  w przeliczeniu na czystą substancję węglową, przy czym wskaźnik zwięzłości węgla jest mniejszy niż 0,3 lub intensywność desorpcji metanu jest większa niż 1,2 kPa.

Do II kategorii zagrożenia wyrzutami gazów i skał zalicza się pokład lub jego część, jeśli metanonośność jest większa niż  $8 \text{ m}^3/\text{Mg}$  w przeliczeniu na czystą substancję węglową, przy czym wskaźnik zwięzłości węgla jest mniejszy niż 0,3 lub intensywność desorpcji metanu jest większa niż 1,2 kPa.

Do III kategorii zagrożenia wyrzutami gazów i skał zalicza się pokład lub jego część, jeżeli:

- zaistniał wyrzut gazów i skał,
- zaistniał nagły wypływ gazów,
- zaistniały okoliczności określone jak dla II kategorii oraz zaistniała co najmniej jedna z następujących okoliczności:
  - a) zwiększona objętość zwiercin w czasie wiercenia otworów, wyrażona w  $\text{dcm}^3$  uzyskanych z 1 m bieżącego otworu badawczego wierconego wiertarkami obrotowymi o średnicy wiertła 42 mm,
  - b) wydmuchy zwiercin i gazów w czasie wiercenia otworów badawczych wiertarkami obrotowymi o średnicy wiertła 42 mm,
  - c) zakleszczenia lub wypychanie wiertła w czasie wiercenia otworów badawczych wiertarkami obrotowymi o średnicy wiertła 42 mm,
  - d) odpryskiwanie węgla z ociosów i czoła przodka oraz trzaski w głębi calizny węglowej,
  - e) nagły wzrost metanowości względnej lub bezwzględnej,
  - f) zwiększone wydzielanie się gazów po robotach strzałowych,
  - g) zwiększone ilości urobku i jego rozrzucenie na większą odległość od przodka mimo braku zmiany technologii wykonywania robót strzałowych,
  - h) zmniejszenie zwięzłości i zmiany struktury węgla w czasie prowadzenia wyrobiska,
  - i) wydzielanie lub wykraplanie wody na powierzchni calizny węglowej,
  - j) zmiana barwy węgla na powierzchni węglowej.

Eksploatacja pokładów zaliczonych do kategorii od II do IV zagrożenia metanowego podlega szczególnym rygorom kontroli w zakresie składu atmosfery kopalnianej, eksploatacji maszyn i urządzeń, przewietrzania wyrobisk, wykonywania robót strzałowych i wiertniczych.

Eksploatacja pokładów zaliczonych do IV kategorii, zgodnie z obowiązującymi przepisami górnictwymi, wymaga stosowania odmetanowania górotworu. W

pokładach metanowych zastrzone są także wymagania odnośnie budowy maszyn i urządzeń, aby nie spowodowały wybuchu metanu w czasie ich wykorzystywania.

Przepisy górnicze [82] wymagają oznaczania metanonośności pokładów w trakcie wykonywania wyrobisk górniczych korytarzowych, szybów oraz otworów badawczych. W rejonach projektowanych ścian oznaczenia metanonośności wykonuje się w wyrobiskach przygotowawczych, w odległościach nie większych niż 200 m. Przykładowo, w kopalniach Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A., kierownictwo Spółki zastryżyło ten przepis ustalając odległość pomiędzy miejscami pobierania prób na 50 m. Znajomość rozkładu metanonośności [14, 44, 45, 46, 49] w polu wybierkowym projektowanej ściany, jest podstawą do sporządzania prognoz metanowości ścian i planowania profilaktyki metanowej przed rozpoczęciem eksploatacji.

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

W zależności od stopnia zagrożenia wybuchem, wyrobiska w polach metanowych zalicza się do wyrobisk [82]:

- niezagrażonych wybuchem metanu, ze stopniem "a" niebezpieczeństwa wybuchu metanu, jeżeli nagromadzenie metanu w powietrzu powyżej 0,5% jest wykluczone,
- zagrożonych wybuchem metanu, ze stopniem "b" niebezpieczeństwa wybuchu metanu, jeżeli w normalnych warunkach przewietrzania nagromadzenie metanu w powietrzu powyżej 1% jest wykluczone,
- zagrożonych wybuchem metanu, ze stopniem "c" niebezpieczeństwa wybuchu, jeżeli nawet w normalnych warunkach przewietrzania nagromadzenie metanu w powietrzu może przekroczyć 1%.

Zaliczenie wyrobiska do odpowiedniego stopnia niebezpieczeństwa wybuchu jest uzależnione od stwierdzonego stężenia metanu lub od potencjalnie możliwego stężenia metanu. Kryteria zaliczenia wyrobiska do odpowiedniego stopnia niebezpieczeństwa wybuchu uwzględniają kategorię zagrożenia metanowego pokładu, kategorię pola metanowego, możliwość wystąpienia zagrożenia wyrzutami metanu i skał, sposób przewietrzania wyrobiska i rodzaj prądu powietrza (wznoszący, poziomy, opadający), możliwość kontaktu przez szczeliny ze zrobami w pokładach zaliczonych do kategorii od II do IV zagrożenia metanowego, możliwość kontaktu wyrobiska z polem pożarowym, obecność w wyrobisku rurociągów lub otworów odmetanowania, występowanie zaburzeń geologicznych (szczególnie uskoków) oraz inne czynniki, które mogą stale lub okresowo zwiększyć metanowość wyrobiska.

Zaliczenie wyrobiska do odpowiedniej kategorii pola metanowego oraz stopnia niebezpieczeństwa wybuchu metanu dokonuje się już w trakcie projektowania nowych wyrobisk lub projektowania zmian w strukturze sieci wentylacyjnej. W okresie istnienia określonego wyrobiska (najczęściej wyrobiska wentylacyjnego) może dochodzić do zmian, najczęściej podwyższenia, jego kategorii lub stopnia zagrożenia. Jest to jednak zdarzeniem bardzo rzadkim.

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. Były one systematycznie rozwijane w Kopalni Doświadczalnej „Barbara”, w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, w Politechnice Śląskiej w Gliwicach i Politechnice Wrocławskiej [41, 46, 74, 75, 79].

Wielu badaczy, w ośrodkach naukowych w Polsce i zagranicą, poruszało zagadnienia związane z metanowością rejonów ścian, a szczególnie ścian, w których likwidację przestrzeni wybranej prowadzono z zawałem stropu. Zagadnienia te są szczególnie ważne, gdyż eksploatacja pokładów ścianami jest w Polsce głównym sposobem pozyskiwania węgla, a jednocześnie wiąże się ona z największym wpływem metanu z górotworu do wyrobisk. Na wielkość zagrożenia metanowego i rozkład stężenia metanu w wyrobiskach wpływ ma sposób przewietrzania rejonu ściany. Poglądy na ten temat można znaleźć w pracach [35, 36, 37, 39, 50, 62, 69, 71, 88].

Wysoka metanowość ścian przewietrzanych w sposób „U” wymaga stosowania pomocniczych urządzeń wentylacyjnych w rejonie skrzyżowania ściany z wyrobiskiem korytarzowym, odprowadzającym powietrze zużyte. Przepisy górnicze [82] ograniczają możliwość przewietrzania sposobem „U” do metanowości wentylacyjnej nieprzekraczającej  $20 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{min}$ . Jeżeli przewiduje się, że podana granica może zostać przekroczona, stosuje się odmetanowanie rejonu ściany. W przypadku gdy metanowość bezwzględna rejonu ściany przekracza  $25 \text{ m}^3/\text{min}$ , należy stosować odmetanowanie o efektywności minimum 50%.

Z uwagi na zagrożenie metanowe preferowane są niektóre odmiany sposobów przewietrzania „Y” lub „Z”. Mają one jednak ograniczenia w stosowaniu, w postaci zwiększonych kosztów wykonania i utrzymania wyrobisk przyścianowych oraz niekorzystnego wpływu na zagrożenie pożarami zrobowymi. Obniżenie zagrożenia pożarami uzyskuje się stosując sposoby eksploatacji tzw. „krótkie Y” lub „krótkie Z”. W obydwu przypadkach prąd powietrza zużytego jest odprowadzany ze ściany wyrobiskiem przyścianowym wzdłuż zrobów na niewielką odległość (do kilkunastu lub kilkadziesiąt metrów), a następnie przecinką łączącą to wyrobisko z wyrobiskiem równoległym. Wyrobisko przyścianowe jest w pobliżu przecinki tamowane, co ogranicza przepływ powietrza przez zrob.

Ze sposobem przewietrzania wiąże się bezpośrednio rozkład stężenia metanu w zrobach ścian z zawałem stropu [70, 84, 87, 89, 90, 91, 93]. Jest to zagadnienie istotne zarówno ze względu na zagrożenie wybuchem metanu, jak i jego zapalenia. Sytuacja metanowa w zrobach wpływa także na rozkład stężenia metanu w ścianie i w wyrobisku przyścianowym, odprowadzającym powietrza zużyte ze ściany.

Jednym z czynników, uważanym za bardzo istotny w procesie wydzielania się metanu do ścian, jest wartość wydobywania lub zmiany wydobywania. Najczęściej wyrażany jest pogląd o istnieniu zależności liniowej pomiędzy metanowością a wydobywaniem [4, 5, 9, 10, 18, 23, 28, 35, 39, 49, 51, 54, 53, 67, 92] lub o pierwiastkowej zależności metanowości od wydobywania.

Nie bez znaczenia dla ilości wydzielonego do wyrobisk metanu i rozkładu stężenia metanu w wyrobiskach jest prędkość i natężenie przepływu powietrza w wyrobiskach, na co zwrócono uwagę m.in. w pracach [66, 103].

Zagrożenie metanowe nie jest zagrożeniem odosobnionym w kopalniach. Występowanie metanu może mieć bezpośredni wpływ na zagrożenie pożarami. Jako gaz palny może ulec zapłonowi, powodując dalsze rozszerzanie się pożaru na inne materiały palne. Jego obecność o wysokich stężeniach w zrobach wypiera tlen, dzięki czemu obniża się zagrożenie pożarami endogenicznymi. Jednak występowanie mieszaniny palnej metanu z powietrzem w zrobach, a jednocześnie wystąpienie pożaru endogenicznego węgla w zborach może spowodować zapalenie się metanu i powstanie pożaru otwartego, a nawet wybuchu metanu, który może przerodzić się w wybuch pyłu węglowego [98, 99, 101]. Zarzewie pożaru może także powstawać w sąsiadującej z pokładem eksploatowanym stropowej pozabilansowej warstwie węgla lub w zrobach wcześniej wyeksploatowanej części blisko położonego pokładu, którą obejmuje zawał pokładu eksploatowanego.

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 [31, 43, 85, 86], który trwał kilka lub kilkanaście minut. Zdarzały się również przypadki, że po tąpnięciu wystąpił wzrost stężenia metanu w rejonie ścian do kilkudziesięciu procent lub, na skutek zatrzymania wentylacji, wystąpiła tzw. atmosfera beztlenowa. Aby zapobiegać wypadkom na skutek wytworzenia się atmosfery beztlenowej, można stosować zastępcze układy przewietrzania [1]. Wymagają one jednak stosowania dodatkowych wyrobisk, a zatem również poniesienia dodatkowych, znaczących kosztów. Nagłe wzrosty stężenia metanu powstałe na skutek wstrząsów sejsmicznych wpływają również na zagrożenie wybuchem metanu [63].

Eksploatacja w warunkach zagrożenia pożarami endogenicznymi wymaga doprowadzania możliwie mało 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 ścian [23, 48].

Proces regulacji, spowodowany koniecznością dostosowania wentylacji do lokalnego zapotrzebowania na strumień powietrza w kopalni lub pracami naprawczymi, szczególnie w szybach wentylacyjnych, jest związany z przechodzeniem przez okres stanu nieustalonego wentylacji. Jest to okres szczególnie niebezpieczny, 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 stanów nieustalonych doczekało się wielu prac naukowych teoretycznych, badań laboratoryjnych oraz obserwacji w kopalniach [25, 33, 40, 102, 103, 104, 108, 110].

Wśród górników panuje przekonanie, że wzrost ciśnienia atmosferycznego powoduje zmniejszanie się natężenia wypływu metanu do wyrobisk, a spadek ciśnienia – wzrost natężenia wypływu metanu. Jest to przekonanie słuszne, jednak jedynie oddaje jakościowo charakter przedmiotowego zjawiska. Znacznie bardziej użyteczny dla praktyki górniczej jest oczywiście opis ilościowy. Zmiany ciśnienia atmosferycznego powodują zmiany ciśnienia w wyrobiskach, a te z kolei wywołują stany nieustalone 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 [47, 52, 65, 68, 93, 100].

Nadmiar metanu, który wydzieliliby się do wyrobisk podziemnych, a który nie mógłby zostać rozcieńczony do stężeń dopuszczalnych w powietrzu, jest ujmowany systemem odmetanowania. Problemy związane z prowadzeniem odmetanowania były dostrzegane przez środowisko naukowe od momentu wprowadzania tej technologii ograniczania zagrożenia metanowego. Początkowo dotyczyły samej techniki odmetanowania, a w miarę jej rozwoju zaczęto pracować nad optymalizacją rozmieszczenia otworów drenażowych, obliczania i optymalizacji pracy systemu, poprawy efektywności odmetanowania, rozpoznania czynników oddziałujących na odmetanowanie [15, 30, 34, 74, 78, 80]. Dostrzegany jest również problem oddziaływania odmetanowania na zagrożenia skojarzone [97].

Jeszcze obecnie, z uwagi na duży koszt wykonania otworów drenażowych oraz koszty budowy i utrzymania eksploatacji systemu odmetanowania, odmetanowanie jest traktowane jako zło konieczne. Jednak zmieniające się warunki ekonomiczne, polityczne oraz wzrastająca świadomość ekologiczna społeczeństwa sprawiają, że problem utylizacji pozyskanego metanu systemem odmetanowania, a także metanu wypływającego do atmosfery w powietrzu wentylacyjnym stają się coraz ważniejsze dla ekonomiki kopalń [71, 72].

Rozwiązania teoretyczne problemów związanych z kształtowaniem się zagrożenia metanowego w wyrobiskach kopalń powinny bazować na dużej liczbie możliwie najdokładniejszych pomiarów, wykonywanych jednocześnie w wielu punktach sieci wentylacyjnej [29, 32]. Możliwości takie stwarzają telemetryczne systemy pomiarowe.

W polskim podziemnym górnictwie węglowym od dziesiątków lat są stosowane i rozwijane telemetryczne systemy pomiarowe parametrów fizycznych i chemicznych atmosfery kopalnianej [22, 106, 109]. Systemy te spełniają wiele funkcji:

- dokonują pomiarów stężeń niektórych gazów znajdujących się w atmosferze kopalnianej (tlen, metan, tlenek węgla, dwutlenek węgla) oraz parametrów fizycznych (prędkości powietrza, ciśnienia barometrycznego, różnicy ciśnień na tamach, temperatury, wilgotności powietrza, zapylenia powietrza),
- 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 wyłączanie energii elektrycznej w przypadku przekroczenia dopuszczalnych stężeń metanu. Dzięki niej unika się inicjału zapalenia lub wybuchu metanu, wynikającego z pracy maszyn i urządzeń elektrycznych.

Z uwagi na dalsze, głębsze poznanie 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 wykorzystania [2, 3, 6, 7, 13, 17, 21, 29, 85, 93, 94, 107, 108].

Pomiary automatyczne są uzupełniane pomiarami indywidualnymi, które mają za zadanie wykrycie zagrożenia metanowego w miejscach nieobjętych metanometrią automatyczną. Przepisy [82] formułują kto, kiedy i gdzie jest obowiązany do wykonania takich pomiarów, a także określają 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. Natomiast profilaktyka, której przygotowanie wymaga dłuższego okresu (np. zmiana liczby lub częstości wiercenia otworów odmetanowania, znaczące zmiany w rozplywie 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 rozpoznania i zwalczania zagrożeń występujących w zakładzie górniczym. W kopalniach metanowych jeden z zespołów jest powołany ds. zagrożeń związanych z obecnością metanu w kopalni. Kopalniany zespół ds. zagrożenia metanowego, oprócz cyklicznych posiedzeń, zbiera się po wystąpieniu przekroczenia dopuszczalnego stężenia metanu, aby ocenić dotychczasową profilaktykę i ustalić zakres dalszych prac profilaktycznych.

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 i względna oraz stężenie metanu.

Jak wyjaśniono wyżej, metanonośność to zawartość metanu w określonej masie węgla. Wyrażana jest w  $\text{m}^3\text{CH}_4/\text{Mg}$  czystej substancji węglowej.

Metanowość bezwzględna to ilość metanu wydzielona w kopalni w jednostce czasu. Najczęściej jest wyrażana w  $\text{m}^3/\text{minutę}$ . Metanowość tę tworzy metanowość wentylacyjna, czyli metan wypływający do powietrza wentylacyjnego kopalń oraz metanowość układu odmetanowania, czyli metan ujmowany systemem odmetanowania.

Najwyższa metanowość bezwzględna, przy której w danych warunkach przewietrzania i odmetanowania z uwzględnieniem nierównomierności wydzielania się metanu nie będą występowały przekroczenia dopuszczalnej zawartości metanu w prądzie powietrza zużytego, nazywana jest metanowością kryterialną. Sposób obliczania metanowości kryterialnej jest zawarty w Instrukcji GIG nr 17 z 2004 r. – „Zasady prowadzenia ścian w warunkach zagrożenia metanowego”.

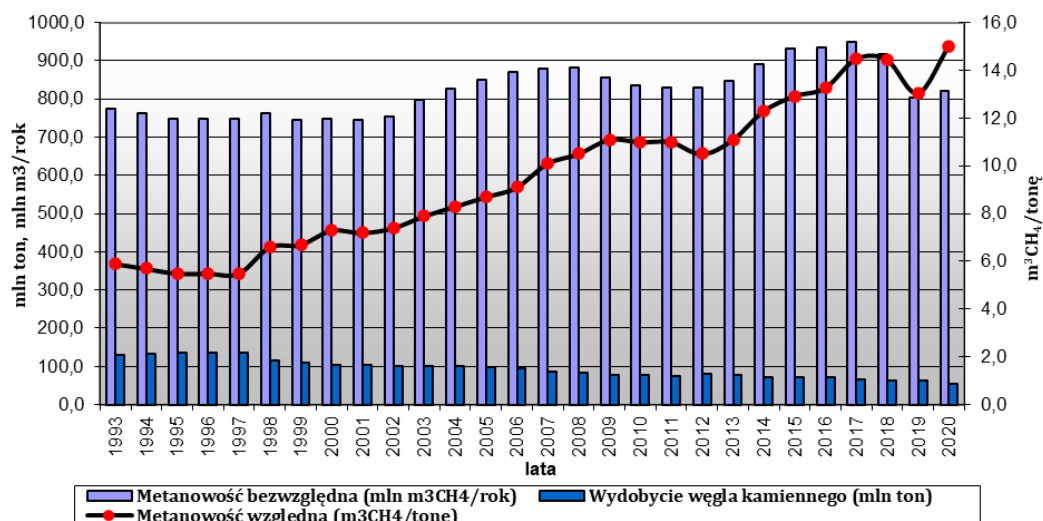
Metanowość wentylacyjna określonej ściany to różnica pomiędzy ilością metanu w powietrzu wentylacyjnym wypływającym z wyrobiska wentylacyjnego ściany w jednostce czasu a ilością metanu w powietrzu wentylacyjnym dopływającym do wyrobiska przyścianowego doprowadzającego powietrze do ściany w jednostce czasu. Wyrażana jest w  $\text{m}^3/\text{min}$ . Z uwagi na niskie stężenie metanu w prądzie dolotowym do ściany, najczęściej określenie to jest rozumiane jako ilość metanu w powietrzu wentylacyjnym wypływającym z wyrobiska wentylacyjnego ściany w jednostce czasu.

Metanowość względna wyrażana jest zawartością metanu w powietrzu kopalnianym w przeliczeniu na jednostkę wydobywania. Najczęściej odnosi się do całej kopalni. Wyraża się ją w  $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{tonę}$  wydobytego węgla.

W celu zorientowania czytelnika o wielkości zagrożenia metanowego w polskim przemyśle węglowym, poniżej przedstawiono zbiorcze dane dotyczące kształtowanie się zagrożenia metanowego w latach 1993-2020. Dane dotyczą wszystkich kopalń węgla kamiennego, zarówno metanowych jak i niemietanowych [59].

Z rysunku 1.1 wynika, że w 1993 roku wydobywanie węgla wynosiło około 130 mln ton, a w następnych latach nieznacznie rosło, aby w 1997 r. osiągnąć wartość 137,1 mln ton. W 1998 roku nastąpił spadek wydobywania do 115,9 mln ton i od tego roku utrzymuje się wyraźna tendencja spadkowa wydobywania, aby w 2020 roku osiągnąć 54,4 mln ton.

Linia aproksymująca wartości wydobywania w przedziale lat 1993-2020 dana jest wzorem  $y = -2,925x + 135,73$ , a wartość współczynnika determinacji wynosi  $R^2 = 0,94$ . Wartość współczynnika kierunkowego prostej jest ujemna i wynosi -2,925. Oznacza to, że biorąc pod uwagę cały analizowany okres, jest widoczna malejąca tendencja eksploatacji węgla, a wysoka wartość współczynnika determinacji wskazuje na prawie stały, jednostajny trend malejący.



**Rys. 1.1 Graficzne przedstawienie kształtowania się metanowości bezwzględnej, względnej i wydobywania w polskich kopalniach w latach 1993-2020**

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych statystycznych WUG

Metanowość bezwzględna w latach od 1993 do 2002 wahała się w granicach od 773,3 mln m³/rok do 743,7 mln m³/rok, przy czym maksimum nastąpiło w 1993 roku i wynosiło 773,3 mln m³/rok (rys. 1.1).

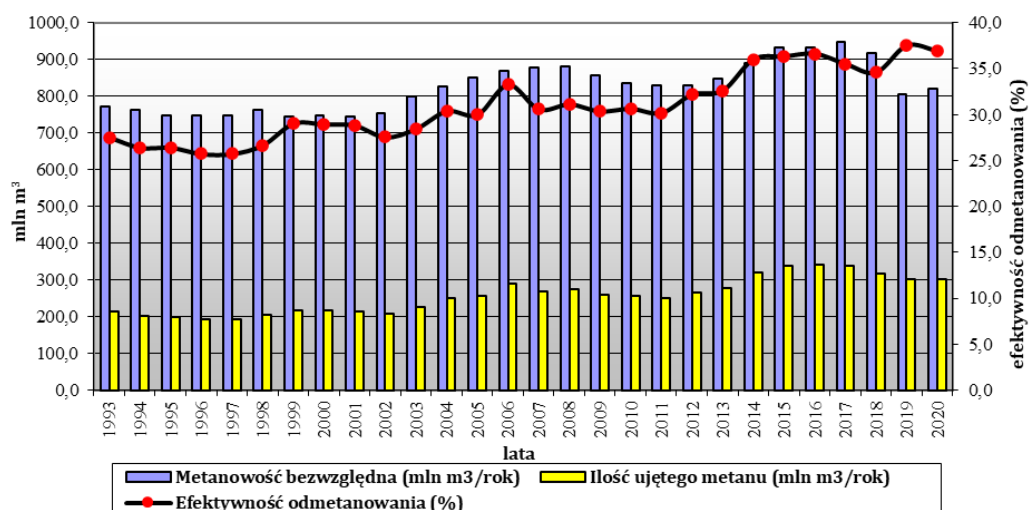
Od 2003 roku notowano wzrost metanowości bezwzględnej od 798,1 mln m³/rok do 880,9 mln m³/rok w 2008 roku. Następnie zanotowano spadek metanowości bezwzględnej i w 2012 r. osiągnęła wartość 828,2 mln m³/rok. Od 2013 roku nastąpił ponowny wzrost metanowości i w 2017 roku wyniosła 948,5 mln m³/rok. W 2018 roku nastąpił mały spadek metanowości do 916,1 mln m³/rok, a w 2019 roku silny spadek do 803,8 mln m³/rok. Rok 2020 charakteryzował się niskim wzrostem metanowości bezwzględnej do 819, 6 mln m³/rok. Równanie liniowe opisujące tendencje zmian metanowości bezwzględnej posiada postać  $y = 6,13 + 735,31x$ . Współczynnik kierunkowy prostej jest dodatni, a zatem ilość metanu wydzielającego się do atmosfery kopalnianej i ujętego systemem odmetanowania posiada tendencję rosnącą. Niezbyt wysoka wartość współczynnika determinacji równa  $R^2 = 0,59$  wskazuje na dość znaczne, okresowe wahania ilości wydzielającego się metanu w kopalniach.

Metanowość względna (rys. 1.1) w latach 1993-2009 posiadała tendencję rosnącą z niewielkimi wahaniami, przy czym w 1993 roku wynosiła 5,9 m³ CH₄/tonę wydobywania, a w 2009 roku – 11,1 m³ CH₄/tonę wydobywania. W następnych trzech latach odnotowano niewielki spadek metanowości względnej do 10,5 m³ CH₄/tonę wydobywania w 2012 roku, a następnie wzrost do 14,5 m³ CH₄/tonę wydobywania w 2017 roku. Dwa następne lata przyniosły spadki metanowości względnej (14,4 m³ CH₄/tonę w 2018 r. i 13,0 m³ CH₄/tonę w 2019 r.). Natomiast rok 2020 charakteryzował się silnym wzrostem metanowości względnej do 15,0 m³ CH₄/tonę wydobywania.

Linia trendu opisująca metanowość względną jest dana równaniem  $y = 0,362x + 4,323$ . Równanie potwierdza, że mimo spadku wydobywania rośnie ilość

wydzielonego metanu przypadająca na statystyczną tonę wydobytego węgla. Wartość współczynnika determinacji wynosi  $R^2 = 0,96$ , a zatem jest bardzo wysoka.

Na rysunku 1.2 oraz w tabeli 1.2 przedstawiono zbiorcze dane dotyczące metanowości bezwzględnej wszystkich kopalń, ilości metanu ujętego systemami odmetanowania a także efektywność odmetanowania, czyli procentowy udział metanu ujętego systemami odmetanowania w stosunku do metanowości bezwzględnej [59].



**Rys. 1.2 Metanowość bezwzględna, ilość ujętego metanu systemami odmetanowania oraz efektywność odmetanowania w polskim górnictwie węglowym w latach 1993-2020**

*Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z WUG*

Metanowość bezwzględna zawierała się w granicach od 743,7 mln m<sup>3</sup>/rok (2001 rok) do 948,5 mln m<sup>3</sup>/rok (2017 rok), zaś jej wartość średnia wynosiła 824,2 mln m<sup>3</sup>/rok. Bardziej szczegółowa analizę zmienności w latach metanowości bezwzględnej przeprowadzono już wyżej.

Kształtowanie się ilości ujętego metanu w latach można aproksymować wzorem  $y = 5,329x + 735,31$ . A zatem ilość wydzielającego się metanu, biorąc pod uwagę okres od 1993 roku do 2020 roku, wykazuje tendencję rosnącą. Współczynnik determinacji  $R^2$  wynosi 0,83, czyli zależność liniowa przedstawiona wyżej dobrze opisuje tendencję w analizowanym okresie.

W okresie od 1993 r. do 2002 r. ilość ujętego metanu jest mało zmienna i waha się od 192,5 mln m<sup>3</sup>/rok w latach 1996 i 1997 do 216,1 mln m<sup>3</sup>/rok w latach 1999 i 2000.

Od 2003 r. do 2006 r. nastąpił wzrost ilości ujmowanego metanu od 227,1 mln m<sup>3</sup>/rok do 289,5 mln m<sup>3</sup>/rok, po czym w roku 2007 nastąpił spadek do 268,8 mln m<sup>3</sup>/rok, a następnie w 2008 r. niewielki wzrost do 274,2 mln m<sup>3</sup>/rok. W latach od 2009 do 2011 zanotowano spadek ilości ujmowanego metanu od 259,8 do 250,2 mln m<sup>3</sup>/rok. Od 2012 r. do 2016 r. zanotowano wzrost ilości ujętego metanu od 266,7 mln m<sup>3</sup>/rok do 342,1 mln m<sup>3</sup>/rok, po czym nastąpił spadek od 337,0 mln

m<sup>3</sup>/rok w 2017 r do 301,6 mln m<sup>3</sup>/rok w 2019 roku. W 2020 r. ponownie zanotowano niewielki wzrost ujęcia metanu do 302,8 mln m<sup>3</sup>/rok.

**Tabela 1.2**  
**Parametry odmetanowania kopalń węgla kamiennego w latach 1993-2020**

| Wyszczególnienie                                                  | Rok   |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                                                   | 1993  | 1994  | 1995  | 1996  | 1997  | 1998  | 1999  |
| Metanowość bezwzględna<br>mln m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /rok | 773,3 | 762,0 | 748,0 | 748,4 | 748,4 | 763,3 | 744,5 |
| Ilość ujętego metanu, mln<br>m <sup>3</sup> /rok                  | 212,8 | 201,2 | 197,5 | 192,5 | 192,5 | 203,6 | 216,1 |
| Efektywność odmetanowania,<br>%                                   | 27,5  | 26,4  | 26,4  | 25,7  | 25,7  | 26,7  | 29,0  |
| Wyszczególnienie                                                  | Rok   |       |       |       |       |       |       |
|                                                                   | 2000  | 2001  | 2002  | 2003  | 2004  | 2005  | 2006  |
| Metanowość bezwzględna<br>mln m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /rok | 746,9 | 743,7 | 752,6 | 798,1 | 825,9 | 851,1 | 870,3 |
| Ilość ujętego metanu, mln<br>m <sup>3</sup> /rok                  | 216,1 | 214,3 | 207,3 | 227,1 | 250,9 | 255,3 | 289,5 |
| Efektywność odmetanowania,<br>%                                   | 28,9  | 28,8  | 27,5  | 28,5  | 30,4  | 30,0  | 33,3  |
| Wyszczególnienie                                                  | Rok   |       |       |       |       |       |       |
|                                                                   | 2007  | 2008  | 2009  | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  |
| Metanowość bezwzględna<br>mln m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /rok | 878,9 | 880,9 | 855,7 | 834,9 | 828,8 | 828,2 | 847,8 |
| Ilość ujętego metanu, mln<br>m <sup>3</sup> /rok                  | 268,8 | 274,2 | 259,8 | 255,9 | 250,2 | 266,7 | 276,6 |
| Efektywność odmetanowania,<br>%                                   | 30,6  | 31,1  | 30,4  | 30,7  | 30,2  | 32,2  | 32,6  |
| Wyszczególnienie                                                  | Rok   |       |       |       |       |       |       |
|                                                                   | 2014  | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  | 2019  | 2020  |
| Metanowość bezwzględna<br>mln m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /rok | 891,2 | 933,0 | 933,8 | 948,5 | 916,1 | 803,8 | 819,6 |
| Ilość ujętego metanu, mln<br>m <sup>3</sup> /rok                  | 321,1 | 339,0 | 342,1 | 337,0 | 317,0 | 301,6 | 302,8 |
| Efektywność odmetanowania,<br>%                                   | 36,0  | 36,3  | 36,6  | 35,5  | 34,6  | 37,5  | 36,9  |

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z WUG

Porównując wykresy metanowości bezwzględnej z ilością ujmowanego metanu (rys. 1.2) można zauważyć, że tendencje wzrostowe i malejące ilości ujmowanego metanu odpowiadają takim samym tendencjom metanowości bezwzględnej.

Wykres efektywności odmetanowania (rys. 1.2) wykazuje ogólną tendencję rosnącą, którą przedstawia równanie  $y = 0,418x + 24,869$ . Współczynnik determinacji wynosi  $R^2 = 0,83$ , a zatem przybliżenie wykresu linią prostą dobrze odwzorowuje zmienność efektywności odmetanowania.

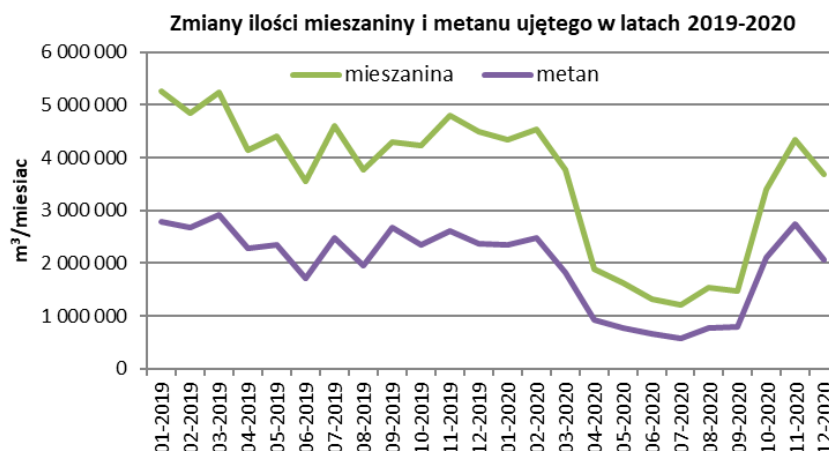
Wartości efektywności odmetanowania wahają się w granicach od 25,7% (w latach 1996 i 1997) do 37,5% w roku 2019. Zatem jest to efektywność niska. Tak niskie wartości efektywności odmetanowania spowodowane są faktem, że w kilku

kopalniach występuje metan, natomiast jest go na tyle mało, że nie prowadzi się odmetanowania lub prowadzi się tzw. odmetanowanie lokalne, a ujęty metan odprowadza się do powietrza wentylacyjnego na podszybiu lub do wyrobiska, którym płynie duży strumień powietrza zużytego o niskim lub zerowym stężeniu metanu.

W kopalniach silnie metanowych efektywność odmetanowania dochodzi do 60%, a okresowo również do wartości wyższych.

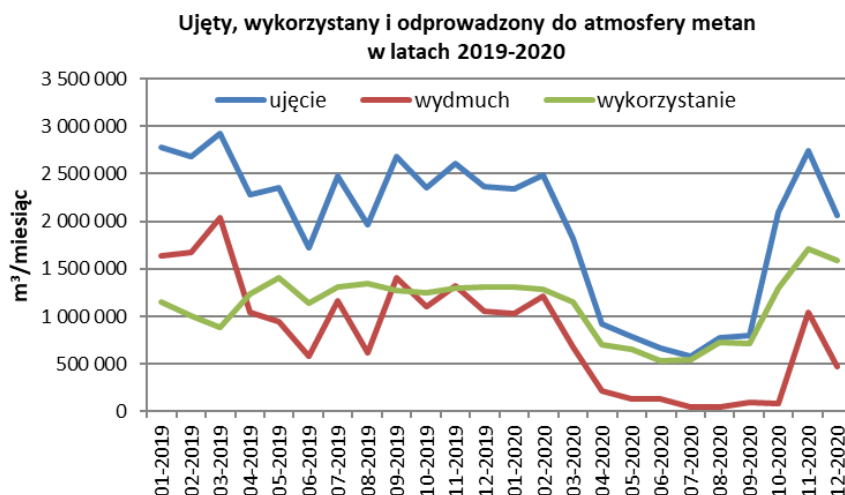
Kopalnie metanowe istotnie różnią się pod względem zawartości metanu w złożu węglowym. Również w częściach obszaru kopalni i w pokładach w określonej części kopalni występują duże różnice w metanonośności. W trakcie eksploatacji węgla metanonośnego, do ścian i chodników przyścianowych może wydzielać się duża ilość metanu. Z uwagi na konieczność ograniczenia prędkości przepływu powietrza z przyczyn klimatycznych i zagrożenia pożarami endogenicznymi, trzeba ograniczyć wypływ metanu do wyrobisk, gdyż w przeciwnym przypadku stężenie metanu przekraczałoby wartości dopuszczalne. W tym celu stosuje się odmetanowanie górotworu w rejonach prowadzonych ścian. Polega ono na ujęciu metanu z górotworu za pomocą otworów drenażowych i odprowadzenie go systemem rurociągów na powierzchnię. Podciśnienie w rurociągach wytwarzane jest pompami (ssawami) zlokalizowanymi na powierzchni kopalni.

Odmetanowanie ogranicza lecz nie eliminuje wypływu metanu do powietrza wentylacyjnego. W zależności od aktualnego położenia wyrobisk eksploatacyjnych, do powietrza kopalnianego wypływa różna ilość metanu. Ze względu na zmieniający się front eksploatacyjny metanowość kopalń w ciągu roku może być bardzo zmienna. Rysunek 1.3 przedstawia przykładowe ujęcie mieszaniny powietrznometanowej oraz metanu, a rysunek 1.4 ujęcie, zagospodarowanie i odprowadzenie do atmosfery ujętego metanu w jednej z polskich kopalń. Z wykresów wynika, że w kopalniach mogą zaistnieć warunki naturalne lub techniczne, które spowodują silne wahania ilości metanu wydzielanego do atmosfery oraz ujmowanego systemem odmetanowania.



**Rys. 1.3 Ilość mieszaniny powietrznometanowej i metanu ujęta systemem odmetanowania w latach 2019-2020 w jednej z polskich kopalń**

*Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z JSW SA*



**Rys. 1.4 Ujęcie metanu systemem odmetanowania, gospodarcze wykorzystanie metanu i odprowadzenie metanu do atmosfery w latach 2019-2020 w jednej z polskich kopalń**

*Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z JSW SA*

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.

W pracy [8] zaproponowano, aby jako miarę zagrożenia metanowego stosować również sumaryczny czas występowania w określonej dobie stężenia metanu nie mniejszego niż pewna, ustalona wartość. Miarę tę oznaczono przez WZM-x, y. Indeks x, y oznacza dolną granicę stężenia metanu, od której określa się sumę czasu występowania stężenia metanu niemniejszego niż x, y%.

Przykładowo, WZM-1,5 oznacza sumaryczny czas w określonej dobie występowania stężenia metanu o wartości 1,5% i wyższej. Wartość tej miary pozwala na zobiektywizowanie oceny prawdopodobieństwa wystąpienia przekroczenia stężenia dopuszczalnego lub na lepszą ocenę skuteczności zmian profilaktyki metanowej. Dostępny jest program komputerowy, który na podstawie danych pomiarowych oblicza na bieżąco wartości zadanego wskaźnika zagrożenia metanowego (np. WZM-1,5 lub WZM-1,7 lub innego).

W przypadku wykonania w określonym dniu kalibracji czujnika metanu, przy obliczaniu wartości wskaźnika WZM-x, y w zasadzie należy pomijać w obliczeniach okres kalibracji. Może on jednak być na tyle krótki, że stężenia okresu kalibracji nie wpłyną istotnie na wartość wskaźnika.

Przygotowanie środków profilaktyki metanowej dla określonej projektowanej ściany wymaga czasu, a rodzaj stosowanych środków i zakres profilaktyki powinny być dostosowane do wielkości zagrożenia. Środkiem pomocniczym w tym względzie jest prognoza zagrożenia metanowego. W praktyce górniczej prognozy stężenia metanu przygotowuje się już przed rozpoczęciem eksploatacji określoną ścianą. Są to prognozy długookresowe. Podstawą do ich sporządzenia są pomiary metanonośności wykonane w czasie drażenia wyrobisk przygotowawczych, a także prognostyczne wartości metanonośności pokładów pozabilansowych i bilansowych,

leżących w strefie wpływów projektowanej eksploatacji w skałach stropowych i spągowych. W wielu przypadkach prognozy metanowości są podstawą do wyboru systemu eksploatacji innego niż „U”, np. „Y” lub „Y” ze schodzącym prądem powietrza w ścianie („odwrócone Y”).

W trakcie prowadzenia eksploatacji ścianą często prognoza jest zmieniana i dostosowywana do stwierdzonego poziomu metanowości. Tego rodzaju prognozy są nadal prognozami długookresowymi.

Na podstawie prognoz długookresowych są przygotowywane środki profilaktyki metanowej: zakres środków odmetanowania, środki profilaktyki stosowane na skrzyżowaniu ściany z korytarzowym wyrobiskiem przyścianowym (najczęściej chodnikiem).

Zadaniem prognoz krótkookresowych jest dostosowywanie intensywności profilaktyki do intensywności aktualnego stopnia zagrożenia metanowego.

Najistotniejsza część niniejszej monografii dotyczy prognoz jednodniowych stężenia metanu. Prognozy takie powinno się przeprowadzać przed ustaleniem podjęcia decyzji odnośnie środków profilaktyki stosowanej w określonej ścianie, w określonym dniu roboczym. Czas wykonania takiej prognozy to kilka sekund. Na podstawie prognozy można podjąć doraźne środki profilaktyki metanowej dostosowując ją do przewidywanego stanu zagrożenia metanowego.

Prognozy jednodniowe charakteryzują się tym, że dla każdego dnia tygodnia jest opracowane odrębne równanie prognostyczne. Znając wartość średnią lub maksymalną stężenia metanu w dniu poprzednim prognozowane jest stężenie średnie lub maksymalne w dniu bieżącym.



## **ROZMIESZCZENIE CZUJNIKÓW STĘŻENIA METANU W WYBRANYCH WYROBISKACH KOPALŃ WĘGLA KAMIENNEGO**

Podstawowym kryterium oceny zagrożenia metanowego jest możliwość powstania w atmosferze kopalnianej stężenia metanu, stwarzającego niebezpieczeństwo dla pracowników lub ruchu zakładu górniczego, które może spowodować [81]:

- powstanie mieszaniny beztlenowej (rozumianej jako mieszaniny powietrza i metanu, nie nadającej się do oddychania),
- zapalenie metanu,
- wybuch metanu.

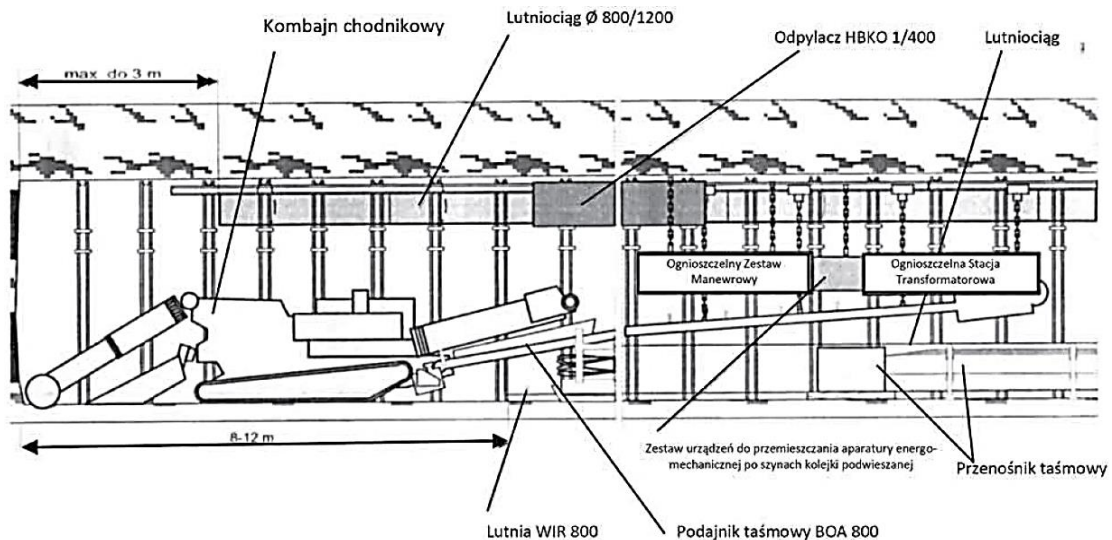
Jednym z głównych systemów utrzymania bezpieczeństwa pracy w kopalniach metanowych jest telemetryczny system parametrów powietrza wentylacyjnego, w tym system metanometryczny. Poniżej przedstawiono wymagania odnośnie lokalizacji czujników stężenia metanu w drażonych wyrobiskach korytarzowych oraz w ścianach.

W wyrobiskach korytarzowych przewietrzanych za pomocą lutniociągów rozmieszczenie czujników stężenia metanu jest uzależnione od sposobu przewietrzania. W przypadku stosowania przewietrzania tłocznego wyrobiska korytarzowego czujnik powinien być umieszczony w odległości nie większej niż 10 m od czoła przodku, natomiast w przypadku przewietrzania ssawnego – w odległości nie większej niż 6 m od czoła przodku, przed wlotem do lutni. Czujniki te inicjują wyłączenie spod napięcia kombajnów chodnikowych po przekroczeniu 1% stężenia metanu w powietrzu, a także wszystkich maszyn i urządzeń elektrycznych po przekroczeniu 2% stężenia metanu.

Czujnik metanometryczny umieszcza się także na wylocie z drażonego wyrobiska korytarzowego w odległości od 10 do 15 m od skrzyżowania z opływowym prądem powietrza. Czujnik ten wyłącza spod napięcia urządzenia

elektryczne zainstalowane w drążonym wyrobisku po stwierdzeniu ponad 2% stężenia metanu w przypadku wentylacji tłoczącej i po przekroczeniu 1% stężenia metanu w przypadku wentylacji ssącej.

Najczęstszym sposobem drążenia wyrobisk korytarzowych jest zastosowanie do tego celu tzw. kombajnów chodnikowych, z reguły wyposażonych w instalacje odpylające (rys. 2.1). W drążonych kombajnem wyrobiskach stosuje się przewietrzanie lutniociągiem tłoczącym powietrze z wyrobiska o przewietrzaniu opływowym.



**Rys. 2.1 Przykładowe wyposażenie przodka wyrobiska korytarzowego drążonego kombajnem**

*Źródło: [77]*

W wyrobiskach w polach metanowych od II do IV kategorii zagrożenia metanowego kombajn chodnikowy jest wyposażony w metanomierz o pomiarze ciągłym, wyłączającym organ urabiający po przekroczeniu 2% stężenia metanu w powietrzu. Czujnik ten jest umieszczony na wysięgniku organu urabiającego.

Czujnik ten może zostać zastąpiony czujnikiem włączonym do systemu gazometrii kopalnianej. W takim przypadku czujnik umieszcza się pod stropem drążonego wyrobiska w odległości nie przekraczającej 2 m od czoła przodka. Czujnik ten powoduje wyłączenie spod napięcia kombajn po przekroczeniu 1% stężenia metanu, a urządzeń elektrycznych znajdujących się w drążonym wyrobisku po przekroczeniu w powietrzu stężenia metanu o wartości 2%. Jednak często, jako czujnik dodatkowy, stosuje się również metanomierz umieszczony na organie urabiającym.

Najczęściej drążone wyrobiska są przewietrzane wentylacją lutniową kombinowaną tzn. występuje w części wyrobiska połączenie wentylacji tłocznej i ssawnej z zastosowaniem instalacji odpylającej. Lutniociąg dostarczający powietrze świeże do wyrobiska jest z reguły zakończony tzw. lutniami wirowymi, z których powietrze wypływa przez otwory boczne wykonane w lutniach. Długość odcinka

lutni wirowych wynosi około 10 m, a odległość pomiędzy końcową lutnią a przodkiem wyrobiska wynosi z reguły od 8 m do 12 m.

Wlot do lutniociągu ssącego znajduje się w odległości od 3 do 4 m od czoła przodku. Lutniociąg ten jest wyposażony najczęściej w lutnie elastyczne, następnie w odpylacz, dalej w odcinek lutni metalowych a następnie w odcinek lutni elastycznych. Aby odprowadzane lutniociągiem powietrze nie mieszało się z powietrzem świeżym dostarczany lutniociągiem tłoczonym, wylot z lutniociągu ssącego jest położony kilka metrów za odcinkiem lutni wirowych, na odległość do 10 m. Pomiędzy wylotem z lutni wirowych a wylotem z lutniociągu ssawnego płynie mniejsza ilość powietrza niż przez pozostałe odcinki wyrobiska. Dlatego odcinek ten jest zabezpieczony czujnikiem umieszczonym w tzw. strefie zazębiana, czyli pomiędzy wylotem z lutniociągu pomocniczego (ssawnego) a pierwszą lutnią wirową lutniociągu zasadniczego. Jest to czujnik metanometryczny rejestrujący wyłączający, który wyłącza prąd elektryczny po przekroczeniu 1% stężenia metanu.

Drugi czujnik w tym rejonie drażonego wyrobiska znajduje się naprzeciw wylotu lutniociągu ssawnego. Jest to czujnik rejestrujący wyłączający o progu wyłączania 1% stężenia metanu.

Minimalna prędkość przepływu powietrza w wyrobiskach w polach metanowych II-IV kategorii (z wyjątkiem komór) wynosi 0,3 m/s. Odnosi się to również do drażonych wyrobisk korytarzowych

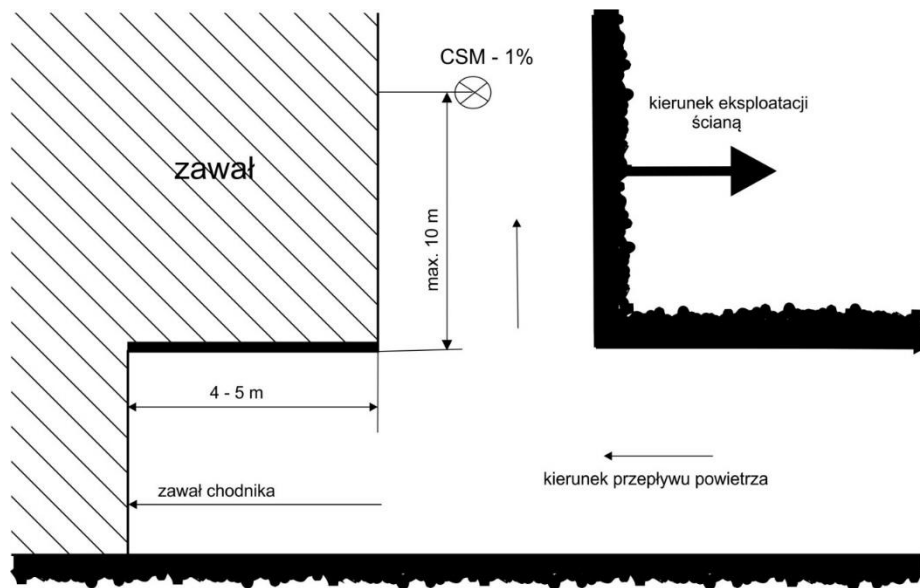
W polskich kopalniach węgla kamiennego z występującym zagrożeniem metanowym eksploatację prowadzi się ścianami przewietrzanymi w układach U, Y, Y odwrócone, Z.

Czujnik metanu dopływający do ściany umieszcza się w ścianie pod stropem, w odległości nie większej niż 10 m od wyrobiska przyścianowego (rys. 2.2). Dopuszczalne stężenie w miejscu zawieszenia czujnika wynosi 1%. Jest to czujnik wyłączający.

W przypadku ścian o wysokości mniejszej niż 1,5 m, w których wyposażenie techniczne uniemożliwia umieszczenie metanomierza pod stropem, czujnik metanomierza umieszcza się w wyrobisku przyścianowym z prądem powietrza dopływającym do ściany w odległości nie większej niż 10 m od wlotu do ściany.

Czujnik metanu o takim samym progu alarmowym jak na wlocie do ściany umieszcza się także na wlocie do rejonu wentylacyjnego lub na wlocie do wyrobiska przyścianowego z prądem powietrza świeżego.

Czujniki metanomierzy kontrolujących stężenie metanu w prądzie powietrza wypływającego ze ściany umieszcza się w wyrobisku przyścianowym w odległości nie większej niż 10 m od wylotu ze ściany, jeżeli na wylocie nie łączą się prądy powietrza. Tak jest jeżeli prowadzi się eksploatację z systemem przewietrzania w układzie U lub Z.



**Rys. 2.2 Położenie czujnika metanu na wlocie do ściany**

Źródło: opracowanie własne

Natomiast czujnik metanomierza umieszcza się w odległości 2 do 3 m od wyrobiska korytarzowego, jeżeli na wylocie ze ściany łączą się prądy powietrza. Ma to miejsce przy eksploatacji ściany w systemie Y lub Y odwrócone.

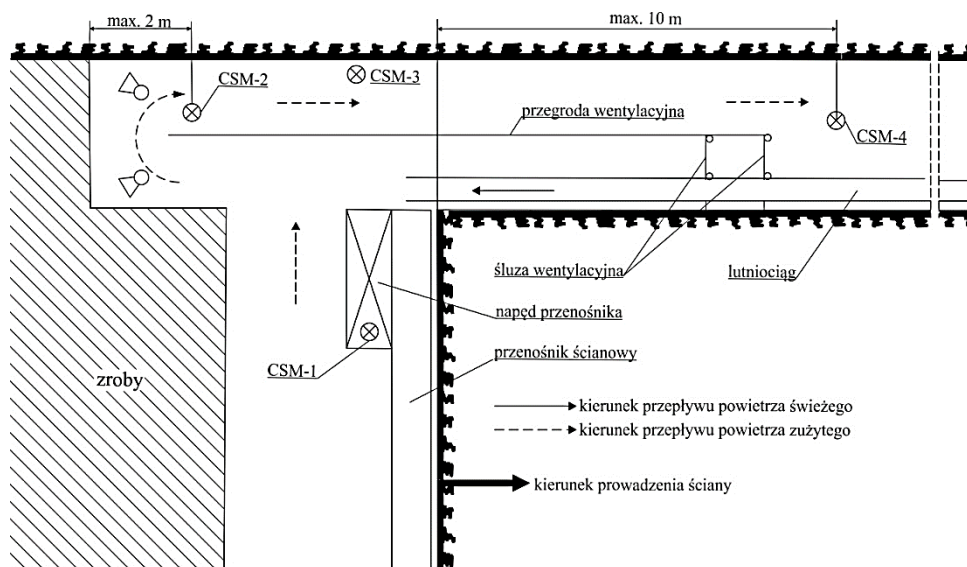
Czujniki metanomierzy kontrolujących stężenie metanu w prądzie powietrza wypływającego ze ściany prowadzonej w pokładzie zaliczonym do III – IV kategorii zagrożenia metanowego przewietrzanej wzdłuż calizny węglowej (układ U przewietrzania) umieszcza się w:

1. wyrobisku przyścianowym:
  - pod stropem, w odległości nie większej niż 2 m od linii likwidacji wyrobiska,
  - po ociosie przeciwnym do ściany, na wysokości okna ściany, w sposób określony przez kierownika działu wentylacji zakładu górniczego,
2. ścianie pod stropem, w miejscu stwierdzanych największych zawartości metanu w odległości nie większej niż 1/3 długości ściany, licząc od wylotu ze ściany.

Rysunek 2.3 przedstawia rozmieszczenie czujników metanometrycznych na wylocie ze ściany przewietrzanej w układzie U oraz zastosowanych urządzeń wentylacji pomocniczej w postaci lutniociągu dostarczającego strumień powietrza do rejonu wylotu ściany do wyrobiska odprowadzającego powietrze zużyte ze ściany (np. chodnika nadścianowego) oraz przegrody wentylacyjnej.

Przez ścianę przepływa określony strumień powietrza. Zwiększenie tego strumienia mogłoby spowodować wzrost zagrożenia pożarem endogenicznym w zrobach ściany. Jeżeli na skutek ograniczenia wartości strumienia objętości powietrza płynącego przez ścianę można spodziewać się przekroczeń dopuszczalnego stężenia metanu na skrzyżowaniu ściany z wyrobiskiem przyścianowym, do wylotu ze ściany dostarcza się dodatkowo strumień powietrza świeżego lutniociągiem. Wentylator lutniociągu znajduje się w strumieniu powietrza świeżego, najczęściej w pochylni oddziałowej. Wylot z lutniociągu należy umieścić tak, aby nie dochodziło do przekroczenia stężenia metanu zarówno w wyrobisku

przyścianowym jak i w miejscu lokalizacji napędu zwrotnego przenośnika ścianowego.



**Rys. 2.3 Przykładowe rozmieszczenie czujników i pomocniczych urządzeń wentylacyjnych na wylocie ze ściany przewietrzanej w układzie U**

Źródło: opracowanie własne

Zadaniem przegrody wentylacyjnej jest skierowanie strumienia powietrza przepływającego przez ścianę do miejsca likwidacji wyrobiska przyścianowego (chodnika wentylacyjnego lub pochylni wentylacyjnej). Dzięki temu strumień metanu wypływający z zawału jest odsuwany od napędów zwrotnych przenośnika ścianowego za przegrodę wentylacyjną.

Wskazane jest również zastosowanie strumienic powietrza (rys. 2.3.). Należy je usytuować tak, aby wypływające z nich powietrze likwidowało zastoiska powietrza wentylacyjnego np. w narożach likwidowanego wyrobiska przyścianowego.

Czujnik CSM-1 może być czujnikiem dodatkowym, gdy występuje konieczność umieszczenia zasadniczego czujnika metanu w ścianie, w miejscu oddalonym (maksymalnie o 1/3 długości ściany) od wyrobiska wentylacyjnego, w celu kontroli stężenia metanu w miejscu zwiększonego wypływu metanu, tak jak tego wymagają przepisy. W przypadku, gdy metanowość ściany jest niska, lutniociąg w chodniku nie stosuje się.

W niektórych kopalniach na wylotach ze ścian metanowych, jako pomocnicze urządzenie wentylacyjne, stosuje się jedynie przegrodę wentylacyjną.

W rejonie wentylacyjnym, w którym są prowadzone roboty wybierkowe, czujnik metanomierza umieszcza się pod stropem wyrobiska w prądzie wylotowym ze ściany lub zespołu ścian między wylotem ostatniej ściany a skrzyżowaniem z innym, czynnym wentylacyjnie wyrobiskiem. Z reguły czujnik ten jest umieszczany od 10 do 15 m od skrzyżowania z wyrobiskiem łączącym wlot do rejonu wentylacyjnego z jego wylotem np. pochylnią łączącą chodniki główne na dwóch poziomach. Jeżeli takiego wyrobiska nie ma, czujnik ten jest umieszczony w odległości 10-15 m od

połączenia z innym czynnym wentylacyjnie wyrobiskiem. Dopuszczalne stężenie metanu w miejscu zawieszenia czujnika wynosi 1,5% [82].

Czujnik metanometryczny umieszcza się również na wylocie z rejonu wentylacyjnego. Próg alarmowy stężenia metanu w tym miejscu wynosi 1,5%.

W polskim górnictwie zaistniały przypadki wybuchu metanu pod ścianowym przenośnikiem zgrzeblowym. Dzięki wprowadzeniu do ścian przenośników zgrzeblowych z zamkniętym dolnym przedziałem niebezpieczeństwo takich wybuchów znacznie zmalało, jednak nie do zera.

Kontrolę stanu zagrożenia metanowego pod przenośnikami wykonuje się w ścianach wprowadzonych w pokładach od II do IV kategorii zagrożenia metanowego, a także w pokładach niemetanowych i zaliczonych do I kategorii zagrożenia metanowego jeżeli poniżej pokładu, w zasięgu wpływu eksploatacji występują pokłady zaliczone do kategorii od II do IV.

Przepisy zobowiązują w polach metanowych III i IV kategorii zagrożenia metanowego do prowadzenia nadmuchu powietrza do dolnej części przenośnika ścianowego oraz do kontroli stężenia metanu w tym przedziale. Zakres i warunki nadmuchu oraz sposób kontroli stężenia metanu ustala kierownik ruchu zakładu górniczego, który posiada także prawo do odstąpienia od stosowania nadmuchu po uzyskaniu opinii zespołu do rozpoznania i zwalczania zagrożenia metanowego [82].



## DANE POMIAROWE

Analizy zagrożenia metanowego przedstawione w niniejszej monografii oparto na pozyskanych z kopalń danych pomiarowych stężenia metanu.

Dane z automatycznego systemu pomiarowego uzyskano w postaci zapisu elektronicznego w formie tzw. pliku tekstowego. Większość z dostępnych programów przeznaczonych do przetwarzania różnorodnych danych liczbowych i tekstowych, np. Microsoft Word, EXCEL, STATISTICA, MATLAB, posiada podprogramy czytające zbiory danych typu tekstowego. Dzięki temu zbiór danych można przetwarzać dalej.

Zbiór tekstowy, generowany przez automatyczny system pomiarowy w kopalniach, z których pochodzą wykorzystane dane, opisujące pomiary stężenia metanu, ma następującą strukturę. Jego początek stanowi identyfikację 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 zabudowy czujnika.

Dalej następuje zestawienie danych w postaci kolumn 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%CH<sub>4</sub> – 5.0%CH<sub>4</sub>

Miejsce zabudowy: Przekop łączący F-31, 10 m od skrzyżowania z pochylnią K-2

| Czas początku       | Pomiar              | Czas pom. | Statusy |
|---------------------|---------------------|-----------|---------|
| 18.05.2022 22:17:37 | 1.0%CH <sub>4</sub> | 1:48:56   |         |
| 18.05.2022 22:17:22 | 1.1%CH <sub>4</sub> | 0:00:15   |         |

W kolumnie Czas początku jest zanotowana data oraz czas w określonej dobie rozpoczęcia pomiaru stężenia metanu, podany w postaci godzina-minuta-sekunda rozpoczęcia pomiaru stężenia metanu o określonej w kolumnie Pomiar wartości. Wartości stężenia metanu podawane są z dokładnością 0,1%CH<sub>4</sub>. 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%CH<sub>4</sub> | 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) pomierzona z dokładnością do 0,1%, wynosiła 1,1%CH<sub>4</sub>, 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%CH<sub>4</sub> | 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 się na wiersz zapisany niżej.

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%CH<sub>4</sub> | 00:04:53 | Ostrzeżenie |  
przedstawia sygnalizację osiągnięcia przez metan stężenia o wartości 1,2%, która jest progiem ostrzegania.

Poniżej przedstawiono przykład zapisów pomiarów w czasie kalibracji czujnika.

|                    |                     |         |                      |
|--------------------|---------------------|---------|----------------------|
| 2.05.2022 20:31:32 | 0.7%CH <sub>4</sub> | 0:04:00 |                      |
| 2.05.2022 20:31:24 | 0.8%CH <sub>4</sub> | 0:00:08 |                      |
| 2.05.2022 20:31:08 | 0.7%CH <sub>4</sub> | 0:00:16 |                      |
| 2.05.2022 20:29:56 | 0.6%CH <sub>4</sub> | 0:01:12 |                      |
| 2.05.2022 20:29:48 | 0.9%CH <sub>4</sub> | 0:00:08 |                      |
| 2.05.2022 20:29:40 | 2.1%CH <sub>4</sub> | 0:00:08 | Wył Skal AL1         |
| 2.05.2022 20:29:16 | 2.2%CH <sub>4</sub> | 0:00:24 | Wył Skal AL1         |
| 2.05.2022 20:29:00 | 2.1%CH <sub>4</sub> | 0:00:16 | Wył Nag.Prz Skal AL1 |
| 2.05.2022 20:28:52 | 2.0%CH <sub>4</sub> | 0:00:08 | Wył Nag.Prz Skal AL1 |
| 2.05.2022 20:28:44 | 1.8%CH <sub>4</sub> | 0:00:08 | Ostrz Nag.Prz        |
| 2.05.2022 20:28:36 | 1.5%CH <sub>4</sub> | 0:00:08 | Ostrz Nag.Prz        |
| 2.05.2022 20:28:28 | 0.8%CH <sub>4</sub> | 0:00:08 |                      |
| 2.05.2022 20:28:12 | 0.6%CH <sub>4</sub> | 0:00:16 |                      |
| 2.05.2022 20:27:56 | 0.6%CH <sub>4</sub> | 0:00:16 | Ostrz Nag.Prz        |
| 2.05.2022 20:27:48 | 0.5%CH <sub>4</sub> | 0:00:08 | Ostrz Nag.Prz        |
| 2.05.2022 20:27:24 | 0.0%CH <sub>4</sub> | 0:00:24 |                      |

|                    |                     |         |               |  |
|--------------------|---------------------|---------|---------------|--|
| 2.05.2022 20:27:16 | 0.4%CH <sub>4</sub> | 0:00:08 |               |  |
| 2.05.2022 20:26:44 | 0.6%CH <sub>4</sub> | 0:00:32 |               |  |
| 2.05.2022 20:26:36 | 0.5%CH <sub>4</sub> | 0:00:08 |               |  |
| 2.05.2022 20:26:28 | 0.5%CH <sub>4</sub> | 0:00:08 | Ostrz Nag.Prz |  |
| 2.05.2022 20:26:12 | Kal.X               | 0:00:16 | Skal          |  |
| 2.05.2022 20:25:56 | 2.1%CH <sub>4</sub> | 0:00:16 | Skal          |  |
| 2.05.2022 20:23:49 | Kal.X               | 0:02:07 | Skal          |  |
| 2.05.2022 20:23:33 | 0.0%CH <sub>4</sub> | 0:00:16 | Skal          |  |
| 2.05.2022 20:21:49 | Kal.X               | 0:01:44 | Skal          |  |
| 2.05.2022 20:21:41 | KalTAK              | 0:00:08 | Skal          |  |
| 2.05.2022 20:21:33 | 0.6%CH <sub>4</sub> | 0:00:08 |               |  |
| 2.05.2022 20:21:25 | Kal.?               | 0:00:08 | Ostrz         |  |
| 2.05.2022 20:21:01 | 0.5%CH <sub>4</sub> | 0:00:24 |               |  |
| 2.05.2022 20:19:17 | 0.7%CH <sub>4</sub> | 0:01:44 |               |  |
| 2.05.2022 20:19:09 | 0.6%CH <sub>4</sub> | 0:00:08 |               |  |
| 2.05.2022 20:18:13 | 0.7%CH <sub>4</sub> | 0:00:56 |               |  |
| 2.05.2022 20:18:05 | 0.6%CH <sub>4</sub> | 0:00:08 |               |  |

W związku ze sposobem zapisu pomiarów, analizę zapisu należy rozpocząć od najniższego wiersza. Pomiary wykonano w dniu 02.05.2022 r. od godziny 20:18:05 (wiersz najniższy) do godziny 20:31:32 (wiersz najwyższy). Pomiary wykazywały stężenie metanu w granicach od 0,5% do 0,7%. O godzinie 20:21:25 w kolumnie Pomiar pojawia się zapis Kal?, a w kolumnie Statusy napis Ostrz. W ten sposób system poinformował o jakimś zdarzeniu, które zakłóca jego działanie, a które przypuszczalnie jest związane z kalibracją czujnika. W dalszych wierszach system sygnalizował kalibrację, która została zakończona o godzinie 20:29:40. W okresie kalibracji występują wiersze sygnalizujące pomiary, które system przyjął jako prawidłowe (brak uwag w kolumnie Statusy, brak błędów w zapisie), choć w rzeczywistości mogą być błędne. Podobnie stężenie o wartości 0,9%, zanotowane przez 8 sekund od godziny 20:29:48 jest prawdopodobnie pomiarem zawyżonym, co jest związane ze stabilizacją pracy czujnika po okresie kalibracji. A zatem okres niestabilnej pracy czujnika jest dłuższy niż okres sygnalizowanej kalibracji. Należy to mieć na uwadze przy automatyzacji procesu usuwania błędów z danych otrzymanych bezpośrednio z systemu pomiarowego.

Błąd w pracy systemu był także sygnalizowany tak, jak to przedstawiono poniżej, w środkowym wierszu następującego zestawienia pomiarów:

|                    |                     |          |  |  |
|--------------------|---------------------|----------|--|--|
| 14.05.2022 6:46:38 | 0.7%CH <sub>4</sub> | 0:00:08  |  |  |
| 14.05.2022 4:13:35 | 0.6%CH <sub>4</sub> | 2:33:03  |  |  |
| 14.05.2022 6:03:28 | Bdn                 | -1:49:53 |  |  |
| 14.05.2022 4:13:35 | 0.6%CH <sub>4</sub> | 1:49:53  |  |  |
| 14.05.2022 4:13:19 | 0.5%CH <sub>4</sub> | 0:00:16  |  |  |

W drugim wierszu od dołu podany jest czas 1:49:53 występowania stężenia metanu o wartości 0,6%. W trzecim od dołu sygnalizowany jest błąd w zapisie danych i „cofnięcie” poprzedniego wiersza zapisu (ujemny zapis czasu). Następnie w

wierszu czwartym 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 (np. pomiary są wykonane w 2022 r. a system zapisał w jednym z wierszy, datę z 2005 r. w jednym z wierszy dotyczących 14.05.22), błędy w następstwie czasu pomiaru (np. pomiędzy godziną 04:30:00 a 05:00:00 pojawia się godzina 06:12:04) lub też system nie zapisał danych z jakiegoś okresu.

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 pomiędzy pomiarami ograniczającymi usunięte. Obliczenia przeprowadzono za pomocą programu PROGNET, opracowanego w Politechnice Śląskiej. Dalsza część przetwarzania danych polegała na przygotowaniu do obliczenia średnich dobowych wartości stężenia metanu. 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 zdefiniowanej doby. Przykładowo, stężenie średnie metanu w dniu 20.05.2022 r. jest obliczone na podstawie wskazań czujnika pomiędzy godziną 6:00:00 w dniu 20.05.2022 r. a godziną 6:00:00 w dniu 21.05.2022 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 się 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 wiersz drugi w poniższym fragmencie zbioru danych

|                    |                     |         |  |
|--------------------|---------------------|---------|--|
| 17.05.2022 6:01:32 | 0.8%CH <sub>4</sub> | 0:00:08 |  |
| 17.05.2022 5:59:24 | 0.9%CH <sub>4</sub> | 0:02:08 |  |

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

|                    |                     |         |  |
|--------------------|---------------------|---------|--|
| 17.05.2022 6:01:32 | 0.8%CH <sub>4</sub> | 0:00:08 |  |
| 17.05.2022 6:00:00 | 0.9%CH <sub>4</sub> | 0:01:32 |  |
| 17.05.2022 5:59:24 | 0.9%CH <sub>4</sub> | 0:00:36 |  |

Średnie dobowe stężenie metanu zostało obliczone jako średnia ważona, przy czym wagami są czasy pomiaru jednakowych wartości stężenia. Jeżeli przez  $n$  oznaczyć liczbę rekordów zapisu stężenia metanu w dobie, przez  $S_i$  wartości chwilowych stężeń zapisanych 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:

$$S_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i t_i}{86400} \quad (3.1)$$

Liczba 86400 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 w przedziale 2% i powyżej,
- liczba kontrolna, będąca sumą czasów występowania poszczególnych wartości stężenia metanu. Jej prawidłowa wartość wynosi 86400, czyli jest równa liczbie sekund w dobie,
- liczba zmian wartości stężenia metanu o 0,1%, które wystąpiły w danej dobie.

Program PROGNET jest wykorzystywany do prac naukowo-badawczych w Politechnice Śląskiej, związanych z analizą zagrożenia metanowego w kopalniach.

Do stosowania w codziennej pracy w kopalniach, został opracowany inny program, współpracujący z systemem metanometrycznym w kopalniach.

## PROGNOZY ZAGROŻENIA METANOWEGO

### 4.1. Wprowadzenie w zagadnienia prognozowania

Podanie jednej, ogólnej definicji prognozy, mimo że są one powszechnie stosowane, jest trudne. Różnorodność definicji prognoz wynika z różnorodności sytuacji prognostycznych, celów i metod badań. W pracy [76] podano, że „prognozowanie to racjonalne, naukowe przewidywanie przyszłych zdarzeń”. Przewidywanie powinno odnosić się do określonej przyszłości (np. na określony czas lub przedział czasu) i powinno być weryfikowalne praktycznie.

Zjawiska, do których prognozy się odnoszą, są opisywane przez zmienne ilościowe (liczbowe) oraz jakościowe (opisowe, słowne). Niektóre zmienne, które można wyrazić liczbowo, traktuje się jako jakościowe z tego powodu, że w obecnych warunkach technicznych i ekonomicznych nie są one dostępne pomiarowo. Z wymienionych wyżej powodów również prognozy będą opisywały przyszłość w sposób ilościowy lub jakościowy, lub częściowo ilościowy i częściowo jakościowy. Oczywiście bardziej pożądaną prognozą jest prognoza ujmująca zjawisko w sposób ilościowy, nie jest ona jednak zawsze wykonalna.

Zmienne, za pomocą których charakteryzuje się dane zjawisko nazywane są zmiennymi opisywanymi, natomiast zmienne kształtujące dane zjawisko nazywane są zmiennymi opisującymi.

Obserwowane zjawisko może być opisane za pomocą jednej lub kilku zmiennych. Przykładowo, wydzielanie się metanu do wyrobiska może być wyrażone metanowością wentylacyjną, czyli ilością wydzielonego metanu do powietrza wentylacyjnego w jednostce czasu. Natomiast komfort cieplny pracy wymaga określenia temperatury powietrza, jego prędkości, wilgotności oraz ciepła promieniowania.

W technice, zarówno zmienne opisywane, jak i opisujące często nazywane są sygnałami (sygnały wyjściowe i wejściowe) [17, 19, 94, 107], a gdy wzajemne oddziaływanie zmiennych można ująć w postaci wzoru matematycznego, zmienne te nazywane są odpowiednio zmiennymi zależnymi oraz zmiennymi niezależnymi.

Prognoza nigdy nie jest w 100% pewna, gdyż przeszłość nie przenosi się bezpośrednio w przyszłość. W wielu przypadkach nie sposób określić stopnia pewności prognozy w momencie sporządzania prognozy lub w czasie, którego ona dotyczy. Jeżeli prognozy dotyczą zjawisk powtarzalnych, o ich dokładności można sądzić na podstawie weryfikacji prognoz poprzednich (spełnionych). Jeżeli jednak dotyczą one zjawisk jednorazowych, o trafności prognozy dowiedzieć się można dopiero po jej wygaśnięciu i zweryfikowaniu.

Istnieją także prognozy, których pewność można określić metodami naukowymi w momencie sporządzania prognoz. Pewność prognozy można traktować jako przewidywaną trafność prognozy.

Prognozy znajdują praktyczne zastosowanie jedynie wtedy, gdy ich rezultaty są zaakceptowane przez decydenta, czyli odpowiadają zbiorowi kryteriów sformułowanych przez niego przed sporządzeniem prognoz. Kryteria te mogą dotyczyć przykładowo oczekiwanych pewności prognoz.

Prognoza może być wykorzystana do opisu przyszłości lub może zostać wykorzystana do kształtowania przyszłości. W drugim przypadku spełnia rolę wspomagania podejmowania decyzji. Ta funkcja prognozy jest nazywana funkcją preparacyjną [76].

Wielokrotnie zjawisko jest kształtowane przez wiele czynników, z których część można ilościowo zmieniać. Czynniki te nazywane są zmiennymi sterowanymi lub sterowalnymi. Mogą one być wykorzystywane do kreacji przyszłości opierając się na sporządzonej prognozie.

Część czynników wpływających na dane zjawisko może być kształtowana pośrednio, a ich wpływ na zjawisko może być opisany jedynie jakościowo. Czynniki te nazywane są częściowo sterowanymi (częściowo sterowalnymi).

Istnieją również czynniki oddziałujące na jakieś zjawisko w sposób zupełnie przypadkowy, losowy. Ich wpływ na opisywane zjawisko można ująć jedynie na podstawie zasad rachunku prawdopodobieństwa i statystyki. Czynniki te nazywane są niesterowalnymi.

Z podziałem czynników na sterowalne i niesterowalne jest związana funkcja aktywizująca prognozy [76], polegająca na podejmowaniu działań sprzyjających realizacji prognozy lub odwrotnie, niesprzyjających realizacji prognozy. Przykładowo, jeżeli prognoza dotyczy bezpieczeństwa prowadzenia jakiejś działalności i określa możliwość wystąpienia niebezpiecznych zdarzeń, to działalność tę należy zmienić tak, aby niebezpieczne zjawiska nie wystąpiły.

Prognozy mogą spełniać rolę informacyjną, polegającą na opisie przyszłości, aby łatwiej dostosować się do przyszłości lub ją przyjąć.

Największe znaczenie w górnictwie, przede wszystkim z uwagi na bezpieczeństwo pracy, mają prognozy, które spełniają rolę aktywizującą i preparacyjną (przygotowawczą).

Funkcja prognoz polegająca na pobudzaniu do działania sprzyjającego realizacji prognozy, gdy zapowiada ona zdarzenia korzystne lub zaniechaniu działań, gdy

przewidywane zdarzenia oceniane są jako niekorzystne, nosi nazwę „funkcja aktywizująca prognoz”.

Głównym celem prognozowania jest wspomaganie w podejmowaniu właściwych decyzji. Zakłada się, że prognozowanie posiada funkcję preparacyjną, czyli przygotowawczą do określonego działania.

Istotne znaczenie dla planowania produkcji górniczej posiada rola informacyjna prognoz.

Ważne znaczenie zarówno dla prognosty, jak i decydenta ma okres, którego prognoza dotyczy, gdyż w nim mogą zachodzić zmiany ilościowe i jakościowe zmiennej prognozowanej.

Zmiany ilościowe zmiennej prognozowanej wyrażają się zwiększeniem lub zmniejszeniem wartości zmiennej zależnej zgodnie z wykrytą w przeszłości prawidłowością, którą wykorzystuje się do sporządzenia danej prognozy.

Zmiany jakościowe polegają na istotnych zmianach charakteru związku pomiędzy zmiennymi opisującymi a opisywanymi. Dotyczy to przykładowo zmian dotychczasowego trendu, wzrost oddziaływania jednych, a zmniejszenie oddziaływania innych zmiennych lub wręcz pojawienie się nowych zmiennych, dotychczas niewystępujących. W literaturze [76, 114], w zależności od długości okresu, na który sporządza się daną prognozę, wyróżnia się prognozy krótko, średnio i długookresowe, nazywane także prognozami krótko, średnio i długoterminowymi.

Za krótkookresową rozumie się prognozę na taki przedział czasu, w którym nie zachodzą zmiany jakościowe.

Za średniookresową uważa się prognozę na przedział czasu, w którym wprawdzie dominującą rolę odgrywają zmiany ilościowe, lecz pojawiają się także zmiany jakościowe.

Za długookresową (długoterminową) uważa się prognozę na przedział czasu, w którym zmiany jakościowe odgrywają istotną rolę.

Nazwa prognozy zależy zatem nie tyle od bezwzględnego czasu, dla którego prognozę sporządzono, co od szybkości zmian jakościowych zmiennej prognozowanej.

Prognozy, w których zmienną niezależną jest poprzednia, prognozowana wartość zmiennej zależnej nazywana jest prognozą dynamiczną [38].

## **4.2. Metody prognozowania zagrożenia metanowego**

W Polsce najczęściej wykonuje się prognozy metanowości projektowanych ścian. W okresie budowy i początkowej eksploatacji pokładów w silnie metanowych kopalniach w rejonie Jastrzębia Zdroju, wykorzystywano metody prognozy opracowane przede wszystkim w ówczesnym Związku Radzieckim oraz w

Niemczech. Najczęściej stosowanymi metodami, których przegląd zawiera praca [45], były opracowane w Instytucie Górniczym im A.A. Skoczyńskiego oraz przez Schulza, Stuffkena, Patteisky'ego i Wintera.

Metoda Instytutu Górniczego im. Skoczyńskiego dotyczy metanowości względnej. Uwzględnia ona wydzielanie się metanu z eksploatowanego pokładu, pokładów leżących ponad i pod eksploatowanym pokładem oraz z płonnych skał górotworu, mogących stanowić źródła metanu. Metoda uwzględnia również kierunek eksploatacji ściany (np. od lub do pola) oraz wydzielanie się metanu z wyrobisk przyścianowych. Metanowość pochodząca z pokładów zalegających w otoczeniu pokładu eksploatowanego obliczana jest z uwzględnieniem wysokości strefy odprężonej oraz odległości pokładu od pokładu eksploatowanego. Metanowość pochodząca z wydzielania się metanu ze skał płonnych jest proporcjonalna do metanowości z pokładu eksploatowanego.

W metodach Patteisky'go, Schulza, Stuffkena i Wintera przyjęto, że źródłami metanu są pokłady węgla: eksploatowany oraz położone ponad i poniżej niego. Metody te stosują tę samą regułę obliczania metanowości, a różnica między nim polega na sposobie ustalania zasięgu stref odprężenia i stopnia odgazowania pokładów w tych strefach.

Współczynniki wchodzące do reguł obliczeniowych (w opisanych wyżej metodach) były ustalane doświadczalnie, poprzez porównywanie prognozowanych i rzeczywistych metanowości ścian. Oczywiście ich wartości odnosiły się do warunków naturalnych, w których prowadzono eksploatację. Opisane prognozy nie były zadowalająco dokładne w warunkach polskich zagłębi węglowych i przystąpiono do opracowywania własnych metod prognoz metanowości ścian.

Pod koniec lat sześćdziesiątych XX wieku w Kopalni Doświadczalnej „Barbara” opracowano metodę prognozy, która jest rozwijana i uściślana po dzień dzisiejszy. Szerokie zastosowanie znalazły metody B. Kozłowskiego [46] oraz tzw. metoda dynamiczna, opracowana przez E. Krausego i K. Łukowicza [51].

Metoda opracowana przez Kozłowskiego w bilansie metanowości uwzględnia dopływy metanu z urobku, z czoła ściany, z chodników przyścianowych oraz z pokładów wyżej i niżej leżących. Odgazowanie pokładów z otoczenia eksploatowanego opisane jest funkcją eksponencjalną, przy czym dla pokładów podebranych funkcja ma inne parametry niż dla nadebranych. Odległość od pokładu eksploatowanego jest odległością umowną, uwzględniającą wysokość ściany oraz sposób kierowania stropem. Przyjęto, że strefa odprężona ma kształt prostokąta.

Metoda dynamiczna, oprócz czynników uwzględnionych w metodzie Kozłowskiego, uwzględnia również metan wydzielony z warstw piaskowcowych oraz ze zrobów eksploatowanej ściany, zrobów występujących w otoczeniu ściany i innych źródeł, np. nasunięć, uskoków. Istotną różnicą w stosunku do metody Kozłowskiego jest przyjęcie, za pracą [34], strefy odprężonej w postaci trójkątnej, a nie prostokątnej. Uwzględniono również wpływ postępu ściany na jej metanowość.

W górnictwie indyjskim używana jest metoda prognozy metanowości relatywnej [26], w której uwzględnia się dopływ metanu z eksploatowanego

pokładu oraz pokładów leżących w jego warstwach stropowych i spągowych. Bierze się także pod uwagę długość ściany i wyrobisk przyścianowych, a także postęp ściany. Występujące we wzorach współczynniki określa się na podstawie obserwacji.

Inne podejście do prognozy metanowości zaprezentowano w pracach [57, 58]. Przyjęto, że głównymi źródłami metanu są pokłady węgla: eksploatowany, nadległe i podległe, a także inne skały metanonośne, a ilość emitowanego do wyrobisk metanu zależy od metanonośności pokładów i ich rozmieszczenia w przestrzeni złoża, od parametrów geometrycznych ściany i od właściwości fizykomechanicznych skał górotworu. Zasięg strefy odprężonej jest obliczany metodą elementów skończonych. Opracowane programy komputerowe, noszące nazwy Roofgas i Floorgas, są używane nie tylko do predykcji metanowości, ale również do projektowania systemu odmetanowania i wentylacji.

Zastosowanie tej metody dla warunków jednej z japońskich kopalń przedstawiono m.in. w pracy [42]. W tejże pracy stwierdzono, że ilość metanu wydzielającego się z eksploatowanego pokładu obliczona za pomocą Roofgas + Floorgas jest zgodna z obliczoną ilością metanu programem Coalgas, będącego produktem firmy S.A. Holdith & Associates, Inc.

Przedstawione powyżej metody służą do prognozy metanowości przed rozpoczęciem eksploatacji. Ich znaczenie polega przede wszystkim na tym, że służą do podjęcia podstawowych decyzji odnośnie projektu sposobu przewietrzania, są niezbędne do zaprojektowania odpowiedniego strumienia objętości powietrza wentylacyjnego oraz strumienia metanu, który musi zostać ujęty systemem odmetanowania. Dokładność przedstawionych metod jest uzależniona od dokładności oznaczenia wymaganych danych, co nie jest łatwe do osiągnięcia zarówno z przyczyn technicznych, jak i ekonomicznych. Dlatego często autorzy prognoz wykorzystują dane przybliżone.

W trakcie eksploatacji uruchamiają się procesy związane z naruszeniem równowagi w górotworze przez prowadzone roboty górnicze. Na wydzielanie się metanu zaczynają oddziaływać czynniki związane z budową górotworu, właściwościami mechanicznymi skał, zaburzeniami w górotworze, zawodnieniem skał, stosunkami gazowymi, głębokością eksploatacji i inne. Procesy zachodzące w górotworze są częściowo deterministyczne, a częściowo losowe. Ich dokładny przebieg nie jest możliwy do przewidzenia przed rozpoczęciem eksploatacji.

Prowadząc działalność górnictwą trzeba się dostosować do zmienności zjawiska wydzielania się metanu do wyrobisk, aby zachować odpowiedni stopień bezpieczeństwa. Innymi słowy, trzeba dostosowywać wielkość wydobywania i profilaktykę metanową do stopnia zagrożenia metanowego, który może istotnie się zmieniać w krótkim czasie.

Pomocna w tym względzie może być prognoza krótkookresowa, oparta na bieżących pomiarach parametrów zagrożenia metanowego.

Próby utworzenia takiej prognozy podjęto zarówno w Polsce, jak i w innych krajach. Przykładowo, w pracy [96] podjęto próbę ustalenia wpływu postępu na

metanowość ściany. Stwierdzono dobrą zależność tych wielkości, obliczonych dla tygodniowych okresów. Również w pracy [4] stwierdzono istnienie zależności między tygodniowym wydobyciem a strumieniem objętości metanu wydzielonego w rejonie ściany.

W pracy [53] analizowano liniową zależność metanowości od postępu ściany oraz od pierwiastka z postępu ściany. Stwierdzono, że zależność metanowości od pierwiastka z postępu lepiej opisuje wartości pomiarowe.

Statystyczną metodę prognozy, wykorzystującą właściwości szeregów czasowych, przedstawiono w pracy [27]. Uwzględniono w niej wpływ wydzielania się metanu z różnych źródeł na stężenie metanu w wyrobisku przyścianowym, odprowadzającym powietrze ze ściany.

W pracach [5, 6] i innych analizowano wpływ niektórych czynników na metanowość całkowitą ściany, co doprowadziło do opracowania metody prognozy krótkoterminowej metanowości [11, 12]. Dalsze prace doprowadziły do opracowania dyspozytorskiego programu prognozowania metanowości ściany [16].

Również autorzy prac [20, 21] podjęli próbę opracowania metody prognozy metanowości ścian, przy czym w pracy [20] autorzy przedstawili nowatorskie zastosowanie sztucznej sieci neuronowej do tego celu, uzyskując bardzo dobre wyniki testowe.

W pracy [15], w oparciu o bogaty materiał pomiarowy stężenia metanu w kopalniach, zebrany w dziewięciu ścianach i dotyczący sumarycznie 2239 dni, sformułowano równania do prowadzenia prognoz jednodniowych. Wartości parametrów równań prognostycznych zależą od dnia tygodnia.

Pierwsza grupa równań prognostycznych odnosi się do prognozy średniego stężenia metanu, a druga do prognozy maksymalnego stężenia metanu. Wartości parametrów prognoz przedstawiono w tabelach 4.1 i 4.2.

**Tabela 4.1**

**Parametry równań linowych ujmujących zależności między średnim stężeniem metanu w rozpatrywanym dniu tygodnia a średnim stężeniem metanu w dniu poprzednim**

| Dzień        |              | Parametr $a_0$ | Parametr $a_1$ | Współczynnik |      | Błąd standardowy reszt | Błąd parametru $a_0$ | Błąd parametru $a_1$ |
|--------------|--------------|----------------|----------------|--------------|------|------------------------|----------------------|----------------------|
|              |              |                |                | $R^2$        | $r$  |                        |                      |                      |
| Poniedziałek | Niedziela    | 0,2536         | 0,7241         | 0,47         | 0,69 | 0,15                   | 0,050                | 0,029                |
| Wtorek       | Poniedziałek | 0,1256         | 0,9623         | 0,71         | 0,84 | 0,12                   | 0,039                | 0,026                |
| Środa        | Wtorek       | 0,1027         | 0,9014         | 0,80         | 0,89 | 0,10                   | 0,025                | 0,022                |
| Czwartek     | Środa        | 0,0468         | 0,9405         | 0,88         | 0,94 | 0,08                   | 0,021                | 0,017                |
| Piątek       | Czwartek     | 0,0458         | 0,9459         | 0,83         | 0,91 | 0,10                   | 0,027                | 0,022                |
| Sobota       | Piątek       | 0,0869         | 0,7213         | 0,67         | 0,82 | 0,12                   | 0,032                | 0,026                |
| Niedziela    | Sobota       | 0,0534         | 0,7667         | 0,75         | 0,87 | 0,09                   | 0,028                | 0,019                |

**Tabela 4.2**  
**Parametry równań liniowych ujmujących zależności między maksymalnym stężeniem metanu w rozpatrywanym dniu tygodnia a średnim stężeniem metanu w dniu poprzednim**

| Dzień        |              | Parametr $a_0$ | Parametr $a_1$ | Współczynnik |      | Błąd standardowy reszt | Błąd parametru $a_0$ | Błąd parametru $a_1$ |
|--------------|--------------|----------------|----------------|--------------|------|------------------------|----------------------|----------------------|
| Rozpatrywany | Poprzedni    |                |                | $R^2$        | $r$  |                        |                      |                      |
| Poniedziałek | Niedziela    | 0,3722         | 0,9539         | 0,35         | 0,59 | 0,27                   | 0,0466               | 0,0800               |
| Wtorek       | Poniedziałek | 0,2428         | 1,2122         | 0,67         | 0,82 | 0,20                   | 0,0344               | 0,0509               |
| Środa        | Wtorek       | 0,2146         | 1,1224         | 0,69         | 0,83 | 0,20                   | 0,0366               | 0,0455               |
| Czwartek     | Środa        | 0,1180         | 1,1687         | 0,79         | 0,89 | 0,16                   | 0,0304               | 0,0363               |
| Piątek       | Czwartek     | 0,1373         | 1,1401         | 0,75         | 0,87 | 0,17                   | 0,0324               | 0,0390               |
| Sobota       | Piątek       | 0,0580         | 1,0493         | 0,63         | 0,79 | 0,22                   | 0,0408               | 0,0485               |
| Niedziela    | Sobota       | 0,0851         | 0,9367         | 0,52         | 0,72 | 0,22                   | 0,0376               | 0,0536               |

Sformułowane modele będą wykorzystane w dalszych częściach monografii do prognozy średnich i maksymalnych stężeń metanu.



# WYDOBYCIE DOBOWE ZE ŚCIANY JAKO CZYNNIK KSZTAŁTUJĄCY STĘŻENIE METANU W JEJ REJONIE

## 5.1. Wprowadzenie

Na zagrożenie metanowe w rejonie ściany wpływa wiele czynników i parametrów, które można określić jako gazowe, geologiczno-górnictwo oraz techniczno-organizacyjne. Jednym z czynników jest wydobywanie dobowe ze ściany. W pracy [58] dotyczącej emisji metanu w kopalniach węgla stwierdzono, że, wydzielanie metanu do rejonu ściany można opisać wzorem

$$V = a\sqrt{CP} + b \quad (5.1)$$

gdzie:

$V$  – całkowita emisja metanu ( $\text{m}^3/\text{min}$ ),

$CP$  – wydobywanie dobowe ( $\text{Mg}/\text{dobę}$ ),

$a, b$  – parametry równania, aproksymowane na podstawie obserwacji.

Całkowita emisja metanu jest rozumiana jako suma metanu wydzielonego z eksploatowanego pokładu, ze skał stropowych oraz spągowych. Taki sam pogląd wcześniej zaprezentowano w pracy [23].

W wielu pracach dotyczących prognozowania wydzielania metanu do wyrobisk w rejonie ściany (np. [45]) przyjęto liniową zależność pomiędzy całkowitą emisją metanu a wielkością wydobywania dobowego. W pracy [51] autorzy przyjmują, że wydzielanie metanu jest proporcjonalne do wydobywania dobowego, jednak prognozowaną ilość wydzielonego metanu korygują z uwagi na postęp ściany.

W pracy [9] zaprezentowano pogląd, że zachodzi korelacja pomiędzy średnią wartością emisji metanu w określonym dniu a wydobywaniem dobowym w danym dniu i w dniu poprzednim. Wydzielanie się metanu opisano wzorem

$$V = a + bW + cW_{-1} \quad (5.2)$$

gdzie:

$V$  – strumień objętości wydzielonego metanu ( $\text{m}^3/\text{min}$ ),

$W$  – wydobywanie węgla w dniu bieżącym ( $\text{Mg}/\text{dobę}$ ),

$W_{-1}$  – wydobywanie węgla w dniu poprzednim (Mg/dobę),

$a, b$  – parametry równania.

W pracach [10, 11, 12] wykazano, że również metanowość sprzed dwóch dni może mieć istotny wpływ na metanowość w rozpatrywanym dniu.

Bezpośrednio o zagrożeniu metanowym w wyrobiskach kopalń decyduje stężenie metanu, a nie ilość wydzielonego metanu. Nakładanie ograniczeń na ilość metanu wydzielaną w jednostce czasu do rejonu ściany wiąże się z technicznymi możliwościami rozcieńczenia metanu do bezpiecznego stężenia.

Strumień objętości wydzielanego do wyrobisk rejonu ściany metanu jest obliczany na podstawie pomiarów stężenia metanu oraz prędkości przepływu powietrza w wyrobisku o określonym przekroju poprzecznym. Obliczenie spodziewanej wartości strumienia objętości metanu wydzielonego do powietrza wentylacyjnego wymaga zatem prognozy stężenia metanu.

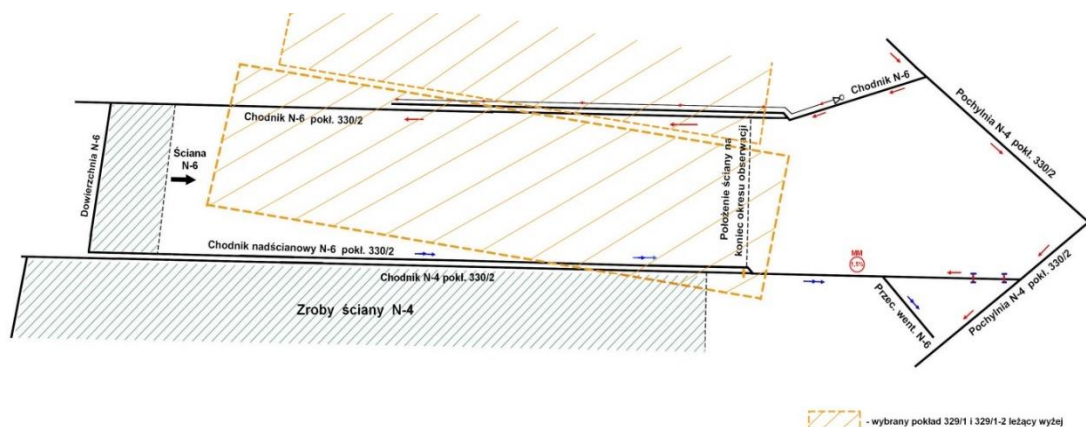
W dalszej części rozdziału przedstawiono sposoby aproksymacji szeregu czasowego średniego stężenia metanu (odniesionego do 24 godzin) na wylocie z rejonu ściany przewietrzanej w układzie „U”.

## 5.2. Warunki górnicze rejonu ściany N-6 w pokładzie 330/2

Prognozowana metanowość całkowita ściany N-6 wynosiła 30,14 m<sup>3</sup>/min dla planowanego wydobywania 4000,00 Mg/dobę. Prognoza przewidywała, że około 48,6% metanowości całkowitej będzie pochodziło ze skał nadległych, 26,5% z eksploatowanego pokładu, a 24,9% z warstw zalegających poniżej pokładu 330/2.

Ściana N-6 (rys. 5.1) charakteryzowała się następującymi parametrami geometrycznymi:

- długość około 225 m,
- wybieg około 1100 m,
- wysokość od 2,80 m do 2,96 m.



**Rys. 5.1 Schemat wyrobisk rejonu ściany N-6 w pokładzie 330/2**

Źródło: opracowanie własne

Ściana N-6 w początkowej części wybiegu eksploatowała pod częścią złoża, w której nie prowadzono eksploatacji. Jednak w dalszej części wybiegu ściany złoża nad polem jej polem eksploatacyjnym było częściowo wybrane. Wraz z postępem eksploatacji wydłużał się odcinek ściany znajdujący się pod wyeksploatowaną częścią pokładu 329/1, 329/1-2. Na pewnym, krótkim odcinku wybiegu, cała długość ściany znajdowała się pod wyeksploatowaną częścią pokładu 329/1, 329/1-2, a następnie długość odcinka pod wyeksploatowaną częścią malała.

W celu przygotowania pola wybierkowego ściany N-6 wykonano następujące wyrobiska przygotowawcze. Z pochylni N-4 w pokładzie 330/2 wykonano chodnik N-6. Z chodnika N-4, który był chodnikiem podścianowym dla ściany N-4, wykonano chodnik nadścianowy N-6, oddzielony od chodnika N-4 wąskim filarem węglowym. Chodnik N-6 i chodnik nadścianowy N-6 połączono powierzchnią N-6.

Powietrze świeże z pochylni N-4 w pokładzie 330/2, poprzez chodnik N-6 dopływało do ściany N-6. Po przewietrzaniu ściany powietrze zużyte było odprowadzane chodnikiem nadścianowym N-6 do chodnika N-4. Chodnikiem N-4 powietrze zużyte dopływało do skrzyżowania z przecinką wentylacyjną N-4. Tu łączyło się z powietrzem świeżym dopływającym z pochylni N-4 w pokładzie 330/2 otamowanym odcinkiem chodnika N-4. Od skrzyżowania prąd powietrza zużytego był odprowadzany przecinką wentylacyjną N-4 do dalszych wyrobisk, w kierunku szybu wentylacyjnego.

Ponieważ odległość pomiędzy pokładami 330/2 i 329/1, 329/1-2 zawierała się w granicach od 35 m do 70 m, eksploatacja w pokładzie 329/2, 329/1-2 spowodowała częściowe odmetanowanie pokładu 330/2 oraz warstw skalnych pomiędzy tymi pokładami, przede wszystkim w części zalegającej bezpośrednio pod zrobami w pokładzie 329/1, 329/1-2.

Średni miesięczny postęp ściany obliczony dla całego okresu eksploatacji ścianą wynosił 105 m, czyli około 4 m na dzień roboczy.

## **5.3 Dane pomiarowe**

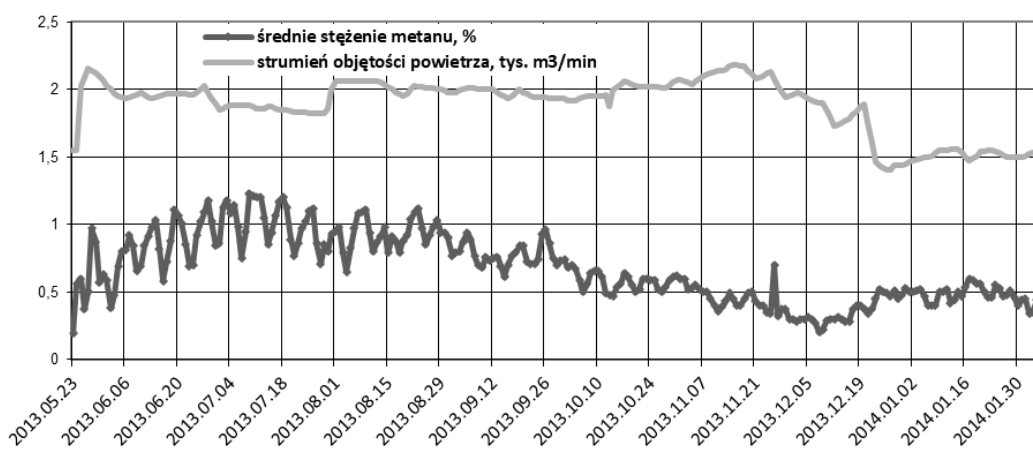
Podstawą do wykonania prognoz stężenia metanu były pomiary telemetryczne. Czujnik stężenia metanu był zlokalizowany w prądzie powietrza zużytego w chodniku N-4, przed skrzyżowaniem z przecinką wentylacyjną N-6 (rys. 5.1). Błąd pomiarowy czujnika stężenia metanu wynosił 0,1% CH<sub>4</sub>. Pomiary wykorzystane do utworzenia i weryfikacji prognoz obejmował okres od 23.05.2013 r. do 04.02.2014 r., czyli 258 dni. Dniami wolnymi od pracy były soboty, niedziele i dni świąteczne. Pierwszy dzień okresu obserwacji zawarty w danych dotyczących analizy stężenia metanu był zarazem pierwszym dniem eksploatacji ścianą N-6.

Dane pomiarowe przetworzono za pomocą programu PROGNET. Wynikami obliczeń są wartości średnie stężenia metanu oraz jego wartości maksymalne i minimalne, a także sumaryczne czasy występowania w danym dniu stężenia metanu o określonej wartości. Wartości średnie stężenia metanu obliczono dla okresów

dwudziestoczerogodzinnych, od 6:00:00 w dniu bieżącym do 6:00:00 w dniu następnym, co było zgodne z cyklem wydobywczym stosowanym w kopalni.

Wartości średniego stężenia metanu tworzą szereg czasowy. Pomiedzy wyrazami szeregu zachodzi autokorelacja. Wartość współczynnika autokorelacji wyrazów szeregu jest bardzo wysoka i wynosi  $r_a = 0,92$ .

Drugim mierzonym parametrem był średni strumień objętości powietrza obliczany dla tych samych okresów na podstawie ciągłych pomiarów prędkości przepływu powietrza. Anemometr stacjonarny był umieszczony w sąsiedztwie czujnika stężenia metanu, w chodniku odprowadzającym powietrze ze ściany. Rysunek 5.2 przedstawia wartości średniego stężenia metanu oraz średniego strumienia objętości powietrza w omawianym okresie.



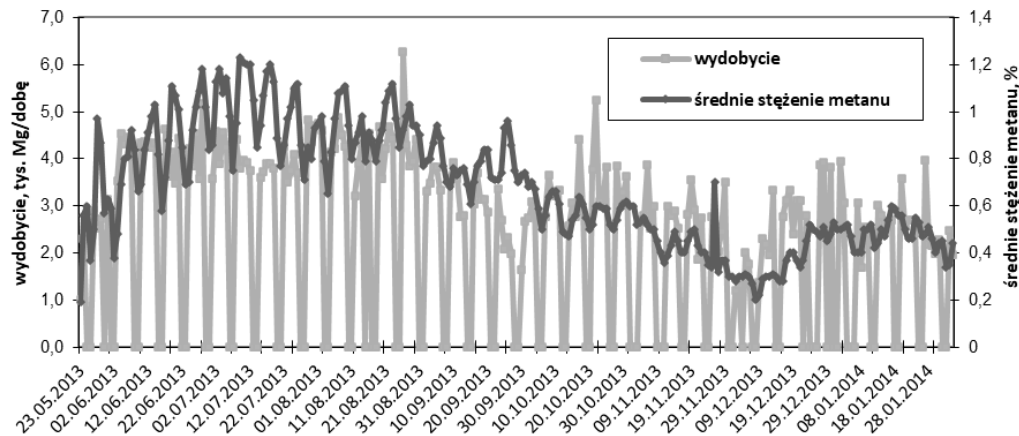
**Rys. 5.2 Kształtowanie się średniego stężenia metanu na wylocie z rejonu ściany strumienia objętości powietrza płynącego chodnikiem wentylacyjnym**

*Źródło: opracowanie własne*

Z przedstawionych wykresów wynika, że zależność pomiędzy stężeniem metanu a strumieniem objętości powietrza była słaba. Potwierdza to także wartość współczynnika korelacji pomiędzy tymi parametrami, który wynosi  $r = 0,27$ . Można zatem stwierdzić, że zmiany strumienia objętości powietrza nie posiadały istotnego wpływu na zmiany stężenia metanu. Fakt ten można tłumaczyć tym, że wprowadzenie zwiększenia strumienia powietrza przepływającego przez rejon ściany wiązało się ze zmniejszeniem stężenia metanu, lecz towarzyszący temu spadek ciśnienia powietrza w chodniku sprzyjał zwiększeniu wypływu metanu, co z kolei powodowało wzrost stężenia metanu.

Na rysunku 5.3 przedstawiono wykresy stężenia metanu oraz dobowego wydobywania.

Analiza wykresów na rysunku 5.3 oraz wartość współczynnika korelacji pomiędzy wartościami wydobywania i średniego stężenia metanu wynoszącego  $r = 0,43$  wykazuje, że zależność średniego stężenia metanu od wydobywania dobowego jest słaba, ale istotna.



Rys. 5.3 Kształtowanie się średniego stężenia metanu na wylocie z rejonu ściany oraz dobowego wydobywania ze ściany

Źródło: opracowanie własne

Zależność średniego stężenia metanu od wydobywania w dniu poprzednim jest nieco bardziej istotna, gdyż współczynnik korelacji pomiędzy tymi wielkościami wynosi  $r = 0,48$ .

Obliczona wartość współczynnika korelacji pomiędzy średnim stężeniem metanu a wydobywaniem sprzed dwóch dni wynosi  $r = 0,32$ . Jest ona zatem istotna ale słaba.

## 5.4. Prognoza średniego stężenia metanu na wylocie z rejonu ściany

Aby analitycznie opisać wpływ wydobywania na wartość średnią stężenia metanu, biorąc pod uwagę istotność korelacji pomiędzy stężeniem metanu a wydobywaniem, wyznaczono parametry następującej zależności:

$$S_a = a_0 + a_1 W + a_2 W_{-1} + a_3 W_{-2} \quad (5.3)$$

gdzie:

$S_a$  – prognozowana wartość średniego stężenia metanu,

$W, W_{-1}, W_{-2}$  – odpowiednio wydobywanie w dniu bieżącym, w dniu poprzednim oraz sprzed dwóch dni,

$a_0, a_1, a_2, a_3$  – parametry.

Rzeczywistą wartość średniego stężenia metanu wyraża wzór:

$$S_{rzi} = a_0 + a_1 W_i + a_2 W_{-1i} + a_3 W_{-2i} + \varepsilon_i = S_{ai} + \varepsilon_i \quad (5.4)$$

gdzie:

$S_{rzi}$  – i-ta pomiarowa wartość średniego stężenia metanu,

$S_{ai}$  – prognozowana i-ta wartość średniego stężenia metanu,

$W_i, W_{-1i}, W_{-2i}$  – i-te wartości wydobywania w dniu bieżącym, w dniu poprzednim oraz sprzed dwóch dni,

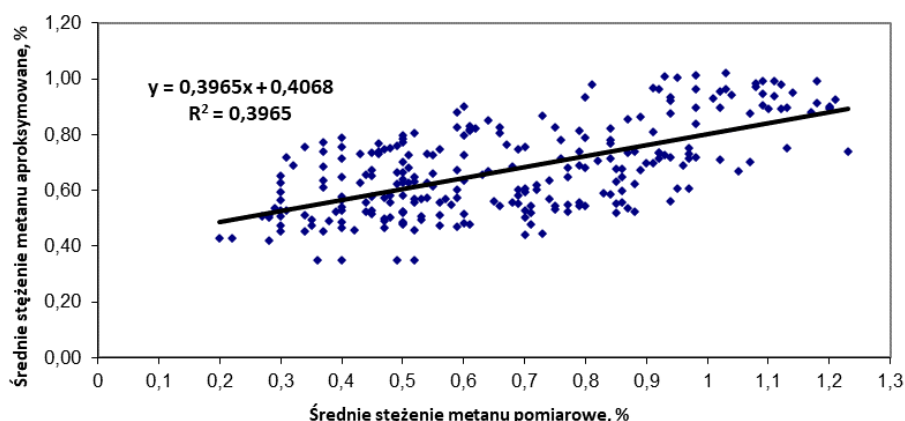
$\varepsilon_i$  – i-ta różnica pomiędzy wartością pomiarową i aproksymowaną średniego stężenia metanu (i-ta reszta).

W celu wyznaczenia parametrów  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  posłużono się klasyczną metodą najmniejszych kwadratów. Wykorzystano w tym celu program GRETl [55, 56]. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 5.1.

**Tabela 5.1**  
**Parametry równania (3) wyznaczone klasyczną metodą najmniejszych kwadratów**

| Parametr | Wartość parametru | Błąd standardowy parametru | Prawdopodobieństwo nieistotności parametru |
|----------|-------------------|----------------------------|--------------------------------------------|
| $a_0$    | 0,34977           | 0,0285694                  | < 0,0001                                   |
| $a_1$    | 0,00005831        | 7,74622e-06                | < 0,0001                                   |
| $a_2$    | 0,00003802        | 7,96805e-06                | < 0,0001                                   |
| $a_3$    | 0,00004544        | 7,73799e-06                | < 0,0001                                   |

Współczynnik determinacji wynosi  $R^2 = 0,39$ , a zatem współczynnik korelacji wynosi  $r = 0,62$ . Obliczona wartość współczynnika autokorelacji reszt (składnika losowego), czyli różnic pomiędzy wartością pomiarową a obliczeniową średniego stężenia metanu wynosi 0,82, czyli jest wysoka. Oznacza to, że wyniki aproksymacji obliczone klasyczną metodą najmniejszych kwadratów mogą być znacznie obciążone. Potwierdza to stwierdzenie wykres obrazujący zależność pomiędzy wartościami pomiarowymi i obliczeniowymi stężenia metanu (rys. 5.4).



**Rys. 5.4 Korelacja średniego stężenia metanu pomiarowego i aproksymowanego klasyczną metodą najmniejszych kwadratów**

Źródło: opracowanie własne

W przypadku idealnej zgodności prognozowanego i pomiarowego stężenia metanu wartość współczynnika determinacji powinna wynosić  $R^2 = 1$  (jest:  $R^2 = 0,3965$  – wartość nie skorygowana), wartość współczynnika przy zmiennej  $x$  równania na rysunku powinna wynosić 1 (jest 0,3965), a wartość wyrazu wolnego równania powinna wynosić 0 (jest 0,4068).

Aby poprawić analityczny opis szeregu czasowego średniego stężenia metanu, do wyznaczania wartości parametrów równania prognostycznego należy zastosować jedną z uogólnionych metod najmniejszych kwadratów [60]. Szeroko

stosowaną metodą jest metoda Cochran'a-Orcutta. Obliczone tą metodą wartości parametrów równania (5.3) podano w tabeli 5.2.

**Tabela 5.2**  
**Parametry równania (5.3) wyznaczone uogólnioną**  
**metodą najmniejszych kwadratów Cochran'a-Orcutta**

| Parametr | Wartość parametru | Błąd standardowy parametru | Prawdopodobieństwo nieistotności parametru |
|----------|-------------------|----------------------------|--------------------------------------------|
| $a_0$    | 0,5028190         | 0,0782432                  | < 0,0001                                   |
| $a_1$    | 0,0000287         | 2,51534e-06                | < 0,0001                                   |
| $a_2$    | 0,0000281         | 2,37232e-06                | < 0,0001                                   |
| $a_3$    | 0,0000124         | 2,51457e-06                | < 0,0001                                   |

Zwraca uwagę fakt, że wyznaczone wartości parametrów (tabela 5.2) znacznie się różnią od ich wartości wyznaczonych klasyczną metodą najmniejszych kwadratów (tabela 5.1).

Skorygowany współczynnik determinacji wynosi  $R^2 = 0,92$ , jest zatem bardzo wysoki. Wartość współczynnika autokorelacji reszt wynosi  $r_a = 0,94$ . Poszczególne wartości prognozowane szeregu czasowego średniego stężenia metanu należy obliczyć według następującego toku postępowania:

- obliczenie średniego stężenia metanu  $S_i$  na podstawie parametrów zawartych w tabeli 5.2. Z uwagi na opóźnione wartości wydobywania obliczenia średniego stężenia metanu rozpoczyna się od trzeciego dnia obserwacji:

$$S_i = a_0 + a_1 W_i + a_2 W_{-1i} + a_3 W_{-2i}, \quad (5.5)$$

dla  $i = 3, 4, \dots, 258$

- obliczenie różnic  $R_i$  pomiędzy pomiarowymi wartościami średniego stężenia metanu  $S_{pi}$  a obliczonymi wg wzoru:

$$R_i = S_{pi} - S_i \quad (5.6)$$

- obliczenie poprawek  $P_i$ ,

$$P_i = r_a R_{i-1} \quad (5.7)$$

dla  $i = 4, 5, \dots, 258$

gdzie:

$r_a$  – współczynnik autokorelacji reszt (różnic  $R_i$ ),

- obliczenie aproksymowanej wartości średniego stężenia metanu  $S_{ai}$ :

$$S_{ai} = S_i + P_i \quad (5.8)$$

dla  $i = 4, 5, \dots, 258$

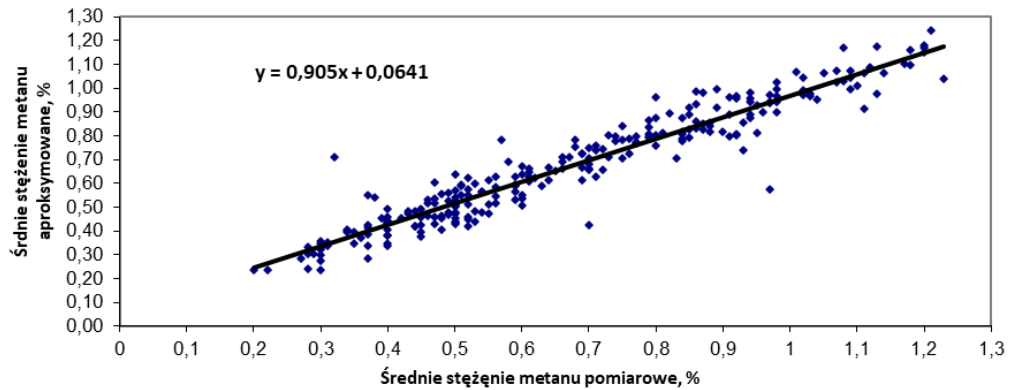
gdzie:

$S_{ai}$  – i-ty wyraz szeregu czasowego aproksymowanych wartości stężenia metanu,

$r_a$  – współczynnik autokorelacji reszt.

Rysunek 5.5 przedstawia wykres obrazujący korelację pomiędzy wartościami pomiarowymi średniego stężenia metanu i prognozowanymi z wykorzystaniem uogólnionej metody najmniejszych kwadratów Cochran'a-Orcutta.

Odwzorowanie rozkładu średniego stężenia pomiarowego za pomocą metody Cochran'a-Orcutta jest znacznie dokładniejsze niż w przypadku klasycznej metody najmniejszych kwadratów. Stwierdzenie to wynika z faktu, że współczynnik kierunkowy prostej jest znacznie bardziej zbliżony do 1, gdyż wynosi 0,905, a wyraz wolny jest bliski 0 (0,0641). Wartość współczynnika determinacji wynosi  $R^2 = 0,917$ .

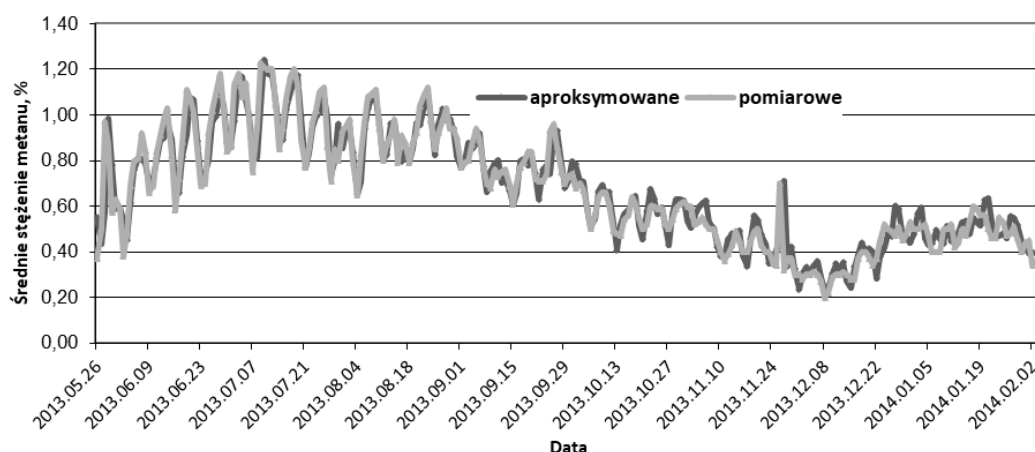


**Rys. 5.5 Korelację pomiędzy wartościami pomiarowymi średniego stężenia metanu i aproksymowanymi z wykorzystaniem uogólnionej metody najmniejszych kwadratów Cochran'a-Orcutta**

*Źródło: opracowanie własne*

Na rysunku 5.5 zauważalne są punkty znacznie oddalone od linii aproksymacyjnej. Można sądzić, że jest to wynikiem zaburzeń wydzielania się metanu do powietrza wentylacyjnego spowodowanych nagłą zmianą warunków wydzielania się metanu lub zaburzeniami w przewietrzaniu ściany lub zaburzeniami w ujmowaniu metanu systemem odmetanowania.

Rysunek 5.6 przedstawia wykresy szeregów czasowych wartości pomiarowych i prognozowanych średniego stężenia metanu.

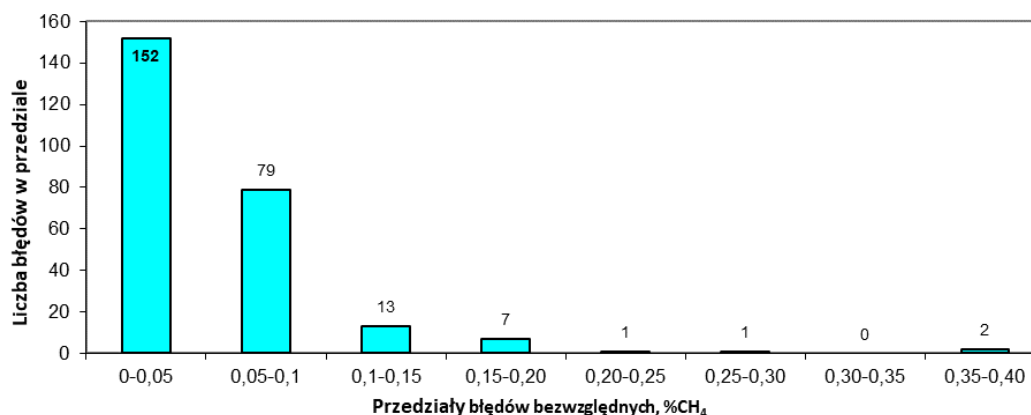


**Rys. 5.6 Średnie stężenie metanu pomiarowe oraz aproksymowane równaniem (5.5), którego parametry wyznaczone metodą Cochran'a-Orcutta**

*Źródło: opracowanie własne*

Rysunek 5.7 przedstawia rozkład błędów bezwzględnych omawianej aproksymacji. Liczba błędów bezwzględnych w przedziale [0,00%-0,05%] średniego

stężenia metanu wynosi 152, co stanowi około 60% wszystkich błędów. W przedziale błędów [0,05%-0,10%] procent stężenia metanu znajduje się 79 błędów, czyli około 31% wszystkich błędów bezwzględnych.

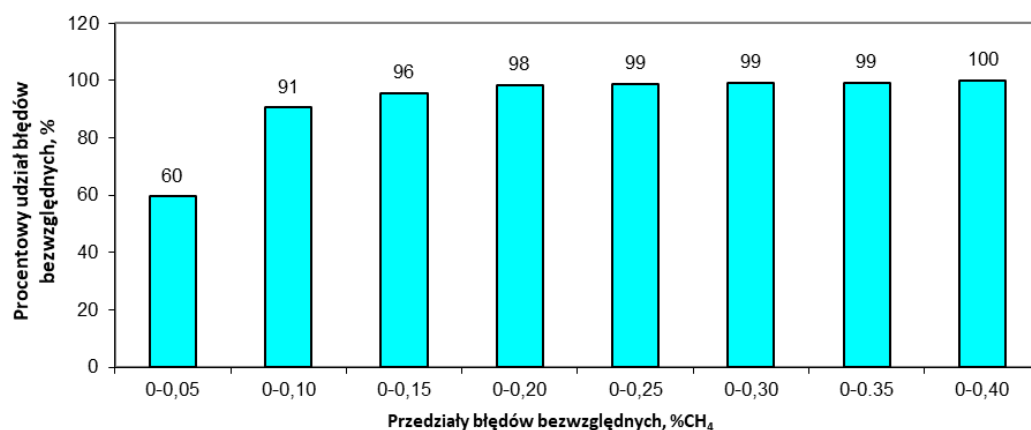


**Rys. 5.7 Rozkład błędów bezwzględnych średniego stężenia metanu aproksymowanego równaniem (5.5), którego parametry wyznaczono uogólnioną metodą najmniejszych kwadratów Cochran'e'a-Orcutta**

*Źródło: opracowanie własne*

Z powyższego wynika, że około 91% błędów bezwzględnych aproksymacji średniego stężenia metanu jest zawarte w przedziale od 0% do 0,1% średniego stężenia metanu.

Procentowy udział błędów w przyjętych przedziałach przedstawia wykres na rysunku 5.8. Z wykresu wynika, że wszystkie błędy bezwzględne (100%) zawierają się w przedziale od 0,00% do 0,40% CH<sub>4</sub>, a 96% błędów bezwzględnych jest nie większa niż 0,15% CH<sub>4</sub>.

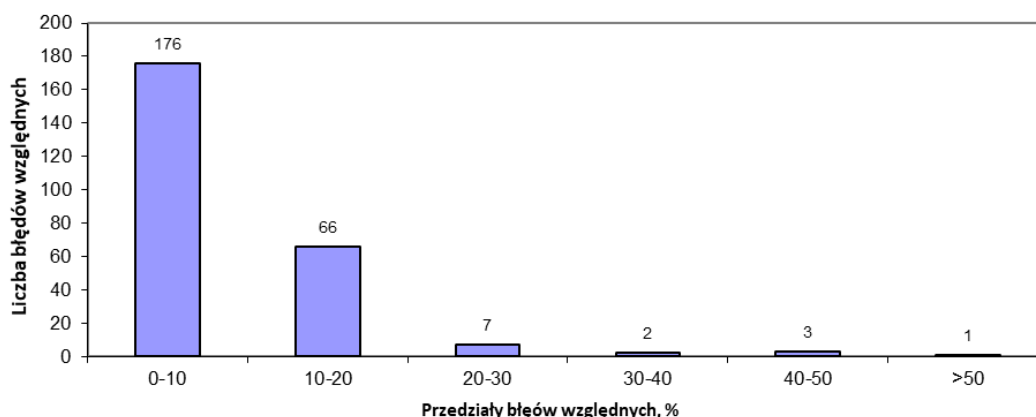


**Rys. 5.8 Procentowy udział błędów bezwzględnych w poszczególnych przedziałach wartości błędów**

*Źródło: opracowanie własne*

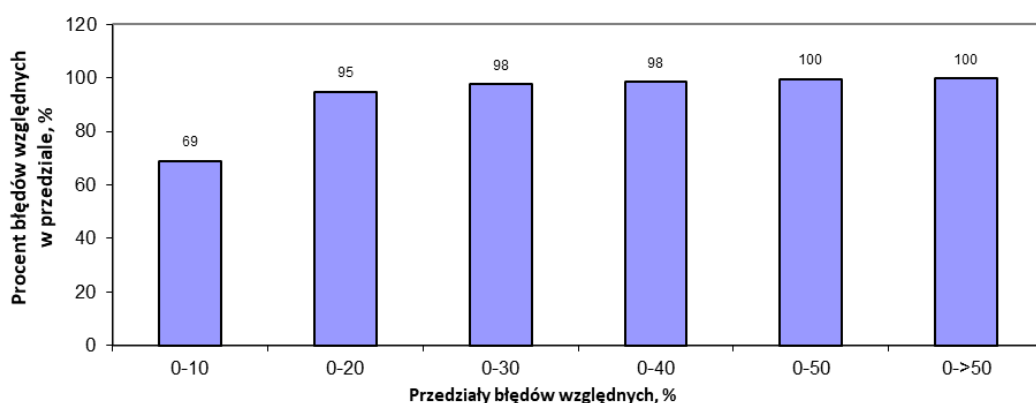
Liczba błędów względnych o wartościach nie przekraczających 10% wynosi 176 (rys. 5.9). Natomiast w przedziale 10%-20% liczba błędów względnych wynosi 66. Jedynie 13 błędów względnych jest większych od 20%

Z wykresu na rysunku 5.10 wynika, że błędy względne o wartościach nie przekraczających 10% stanowią 69% wszystkich błędów, a w przedziale 0%-20% znajduje się około 95% wszystkich błędów względnych.



**Rys. 5.9 Liczba błędów względnych w poszczególnych przedziałach błędów względnych**

*Źródło: opracowanie własne*



**Rys. 5.10 Procentowy udział błędów względnych w poszczególnych przedziałach ich wartości**

*Źródło: opracowanie własne*

Biorąc pod uwagę poglądy, że metanowość (strumień objętości wydzielonego metanu) rejonu ściany jest funkcją pierwiastka z wydobywania dobowego, a jednocześnie korzystając z wyżej zaprezentowanych wyników, zbadano w jakim stopniu szereg czasowy stężenia metanu można opisać następującym wzorem

$$S_a = a_0 + a_1\sqrt{W} + a_2\sqrt{W_{-1}} + a_3\sqrt{W_{-2}} \quad (5.9)$$

Oznaczenia we wzorze (5.9) są identyczne jak we wzorze (5.3).

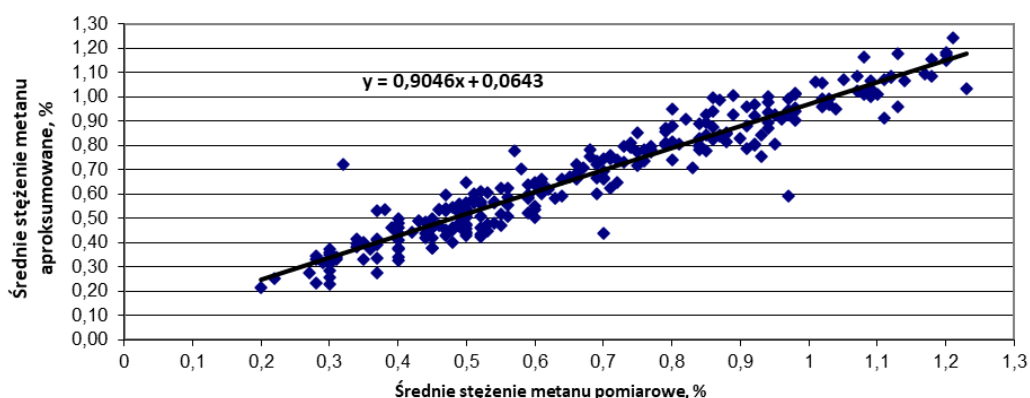
Do wyznaczenia parametrów powyższego wzoru wykorzystano ten sam szereg czasowy średniego stężenia metanu jak w rozważaniach powyższych. Parametry wzoru (5.9) estymowano także metodą Cochran'a-Orcutta. Tabela 5.3 zawiera estymowane wartości parametrów wzoru 5.9.

Z danych zawartych w tabeli wynika, że wszystkie parametry równania (5.9) są istotne. Przybliżona wartość skorygowanego współczynnika determinacji  $R^2 = 0,91$ , a zatem jest bardzo wysoka. Współczynnik korelacji wynosi  $r = 0,95$ .

**Tabela 5.3**  
*Parametry równania (5.9) wyznaczone uogólnioną metodą najmniejszych kwadratów Cochran'a-Orcutta*

| Parametr | Wartość parametru | Błąd standardowy parametru | Prawdopodobieństwo nieistotności parametru |
|----------|-------------------|----------------------------|--------------------------------------------|
| $a_0$    | 0,5038010         | 0,0872003                  | < 0,0001                                   |
| $a_1$    | 0,0016538         | 0,0001580                  | < 0,0001                                   |
| $a_2$    | 0,0016687         | 0,0001467                  | < 0,0001                                   |
| $a_3$    | 0,0006712         | 0,0001580                  | < 0,0001                                   |

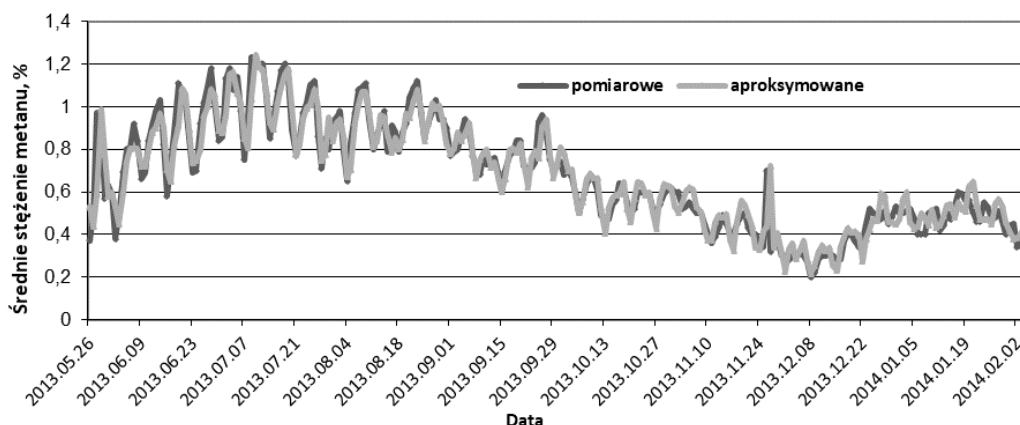
Na rysunku 5.11 przedstawiono korelację pomiędzy średnim stężeniem metanu pomiarowym i aproksymowanym.



**Rys. 5.11 Korelacja pomiędzy średnim stężeniem pomiarowym i aproksymowanym według wzoru (5.9)**

Źródło: opracowanie własne

Równanie prostej przedstawionej na rysunku 5.11 jest prawie identyczne jak na rysunku 5.5. Współczynniki kierunkowe oraz wyrazy wolne równań linii są sobie równe z dokładnością do trzech miejsc po przecinku. Wartość współczynnika determinacji wynosi  $R^2 = 0,91$ , a zatem w 91% zmienność średniego stężenia metanu można wytłumaczyć zmiennością pierwiastków z wydobywania w dniu bieżącym, poprzednim i sprzed dwóch dni.



**Rys. 5.12 Średnie wartości stężenia metanu pomiarowe i obliczone wzorem (5.9)**

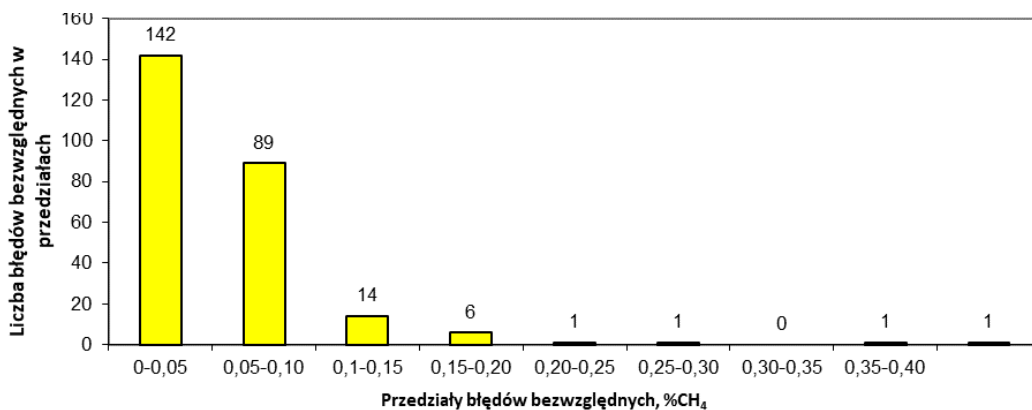
Źródło: opracowanie własne

Również z rysunku 5.12 wynika, że wartości pomiarowe średniego stężenia metanu są dobrze odwzorowane przez wartości prognozowane.

Na rysunkach 5.13 i 5.14 przedstawiono rozkłady błędów bezwzględnych aproksymacji średniego stężenia metanu wzorem (5.9).

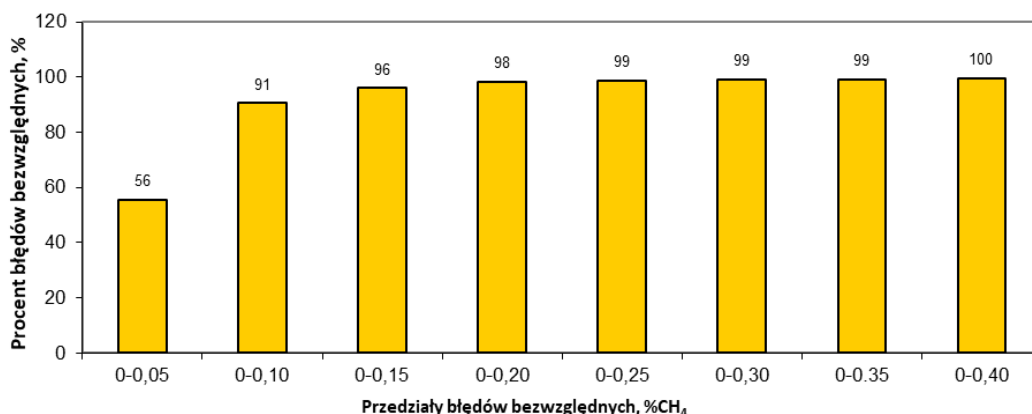
W przedziale 0%-0,05% metanu, znajdują się 142 błędy bezwzględne, co stanowi około 56% wszystkich błędów, do przedziału 0,05%-0,10% metanu, należy 89 błędów, czyli około 35% wszystkich błędów bezwzględnych. 14 błędów bezwzględnych (5% wszystkich błędów bezwzględnych) należy do przedziału 0,10%-0,15% metanu.

Zatem do przedziału 0%-0,05% metanu należy 56% wszystkich błędów bezwzględnych, do przedziału 0%-0,10% metanu należy 91% wszystkich błędów bezwzględnych, a do przedziału 0%-0,15% metanu należy 96% błędów bezwzględnych.



**Rys. 5.13 Liczba błędów bezwzględnych w poszczególnych przedziałach wartości tych błędów**

Źródło: opracowanie własne

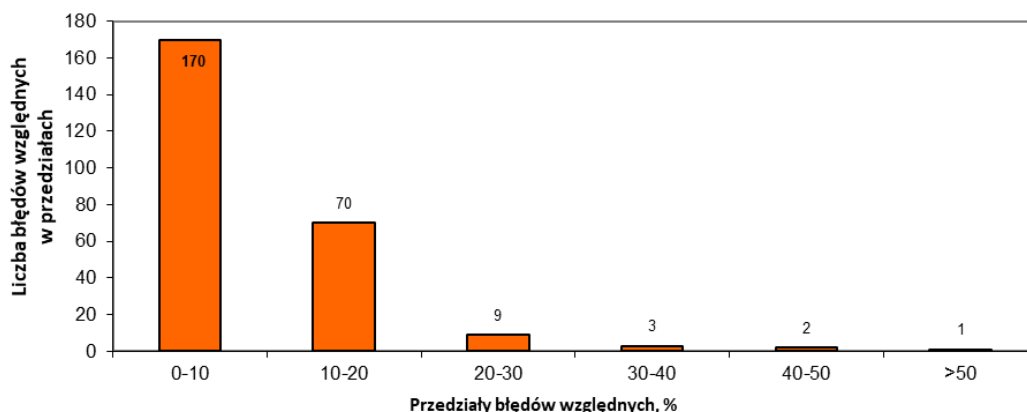


**Rys. 5.14 Procentowy udział błędów bezwzględnych w poszczególnych przedziałach wartości tych błędów**

Źródło: opracowanie własne

Rysunki 5.15 i 5.16 przedstawiają rozkłady błędów względnych. Z wykresu na rysunku 5.15 wynika, że w 170 przypadkach błąd względny nie przekracza 10%, a w

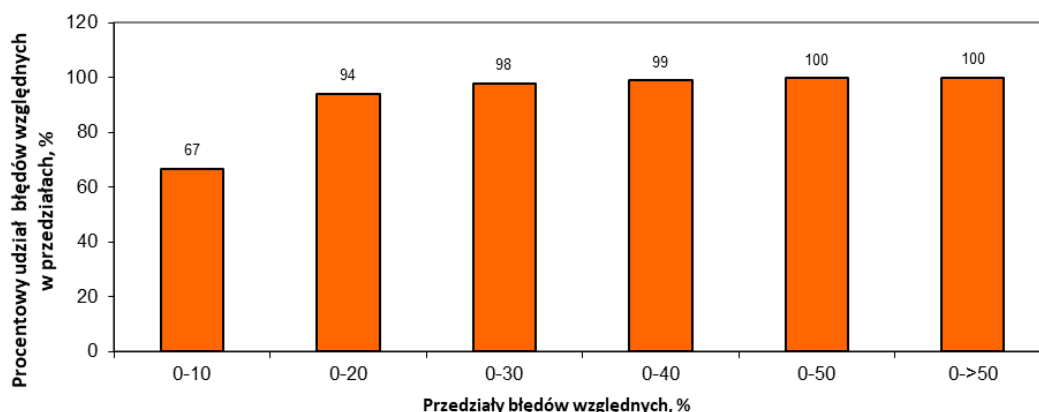
70 przypadkach jest zawarty w przedziale od 10%-20%. Dziewięć błędów względnych należy do przedziału 20%-30%.



**Rys. 5.15 Liczba błędów względnych prognozy średniego stężenia metanu w poszczególnych przedziałach ich wartości**

Źródło: opracowanie własne

Do przedziału 0%-10% procent należy 67% błędów względnych, w przedziale 0%-20% znajduje się już 94% błędów względnych, a w przedziale 0%-30% znajduje się 98% błędów względnych (rys. 5.16)



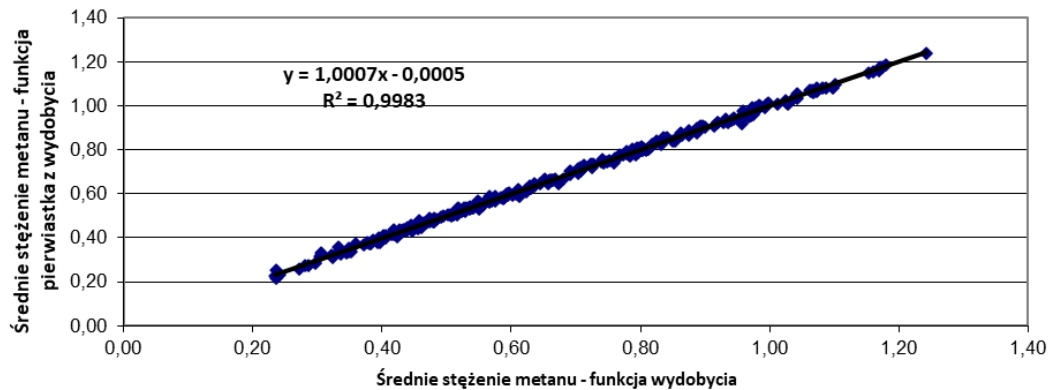
**Rys. 5.16 Procentowy udział błędów względnych prognozy średniego stężenia metanu w poszczególnych przedziałach ich wartości**

Źródło: opracowanie własne

Suma błędów bezwzględnych prognozy podanej wzorem (5.3) wynosi 13,40, a funkcją podaną wzorem (5.9) 14,04. Sumy błędów względnych wynoszą odpowiednio 2367 i 2254.

Na rysunku 5.17 przedstawiono wykres zgodności odwzorowania aproksymacji średniego stężenia metanu wzorami (5.3) i (5.5). Jak wynika z równania linii na wykresie, współczynnik kierunkowy prostej wynosi 1,0007, czyli można przyjąć wartość tego współczynnika równa 1. Wyraz wolny wynosi 0,0005, czyli można przyjąć wartość 0. Natomiast wartość współczynnika determinacji  $R^2 = 0,9983$  można zaokrąglić do 1. Oznacza to, że w rozważanym przypadku różnice

dokładności obydwu metod są bardzo małe i można uznać obydwie metody za równoważne.



**Rys. 5.17** Wykres zgodności odwzorowania średniego stężenia metanu funkcjami  $S = f(W, W_{-1}, W_{-2})$  oraz  $S = f(\sqrt{W}, \sqrt{W_{-1}}, \sqrt{W_{-2}})$

Źródło: opracowanie własne

W dalszej części przedstawiono wyniki prognoz i ich analiz jak dla przypadku omówionego wyżej dla dwóch ścian: ściany 7 w pokładzie 409 i ściany W-4 w pokładzie 360/1. Materiał analityczny dla ściany 7 w pokładzie 409 został sporządzony na podstawie pomiarów średnich stężeń metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego w okresie 237 następujących po sobie dni.

**Tabela 5.4**  
*Dane statystyczne dotyczące ściany 7 w pokładzie 409*

| Parametr      | Stężenie średnie pomiarowe %CH <sub>4</sub> | Stężenie średnie prognoza 1, CH <sub>4</sub> % | Błąd bezwzględny prognozy 1, %CH <sub>4</sub> | Błąd względny prognozy 1, % | Stężenie średnie prognoza 2, % | Błąd bezwzględny prognozy 2, %CH <sub>4</sub> | Błąd względny prognozy 2, % |
|---------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|
| średnia       | 0,76                                        | 0,76                                           | 0,07                                          | 10,00                       | 0,76                           | 0,07                                          | 9,49                        |
| mediana       | 0,64                                        | 0,67                                           | 0,05                                          | 7,53                        | 0,67                           | 0,05                                          | 6,90                        |
| percent. 0,75 | 0,98                                        | 0,98                                           | 0,09                                          | 12,73                       | 0,98                           | 0,09                                          | 12,72                       |
| percent. 0,90 | 1,27                                        | 1,26                                           | 0,16                                          | 21,20                       | 1,29                           | 0,14                                          | 21,34                       |
| max           | 1,64                                        | 1,59                                           | 0,38                                          | 67,61                       | 1,60                           | 0,35                                          | 54,71                       |
| min           | 0,26                                        | 0,28                                           | 0,00                                          | 0,06                        | 0,24                           | 0,00                                          | 0,01                        |
| rozstęp       | 1,38                                        | 1,31                                           | 0,38                                          | 67,55                       | 1,36                           | 0,35                                          | 54,70                       |
| suma          | 182,48                                      | 179,04                                         | 16,78                                         | 2370,97                     | 179,61                         | 15,69                                         | 2248,15                     |

Uwaga! Określenie „suma” oznacza sumę dobowych wartości danego parametru

W tabeli 5.4 przedstawiono dane statystyczne dla wartości pomiarowych średniego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego, wartości wybranych parametrów statystycznych prognozy 1, opisanej wzorem

$S = f(W, W_{-1}, W_{-2})$  oraz prognozy 2, opisanej wzorem  $S = f(\sqrt{W}, \sqrt{W_{-1}}, \sqrt{W_{-2}})$ . Podano także parametry statystyczne błędów obydwu prognoz.

Wartości średniego stężenia metanu według prognozy 1 i prognozy 2 są równe wartościom pomiarowym 0,76% CH<sub>4</sub>. Mediany prognoz 1 i 2 są sobie równe, lecz o 0,03 większe od mediany obliczonej dla danych pomiarowych. 75% wartości pomiarowych oraz wartości obydwu prognoz jest mniejszych lub równych 0,98% CH<sub>4</sub> (percentyl 0,75). 90% wartości średniego stężenia metanu dla danych pomiarowych jest nie większe niż 1,27% CH<sub>4</sub>, natomiast prognozowane wg prognozy 1 są nie większe niż 1,26% CH<sub>4</sub>, a wg prognozy 2 – nie większe niż 1,29% CH<sub>4</sub>. Maksymalne wartości stężenia pomiarowego wynoszą 1,64% CH<sub>4</sub>, minimalne 0,26% CH<sub>4</sub>. Maksymalne wartości średniego stężenia metanu wg prognozy 1 wynoszą 1,59% CH<sub>4</sub>, zaś minimalne 0,28% CH<sub>4</sub>. Maksymalne wartości średniego stężenia metanu według prognozy 2 wynoszą 1,60% CH<sub>4</sub>, zaś minimalne 0,24% CH<sub>4</sub>. Oznacza to, że rozstęp (różnica między wartością maksymalną a minimalną) wynosi dla wartości pomiarowych 1,38% CH<sub>4</sub>, prognozy 1 – 1,31% CH<sub>4</sub>, a prognozy 2 – 1,36. Z powyższego wynika, że prognoza 1 posiada węższy przedział zmienności niż prognoza 2, ale obydwie prognozy posiadają mniejszy przedział zmienności niż wartości pomiarowe.

Sumy średnich stężeń średnich metanu także się różnią. Suma średnich stężeń pomiarowych wynosi 182,48% CH<sub>4</sub>. Suma ta dla prognozy 1 wynosi 179,04% CH<sub>4</sub>, a dla prognozy 2 – 179,61% CH<sub>4</sub>. Oznacza to, że obydwie prognozy są nieco zaniżone, przy czym minimalnie bliższa sumie wartości pomiarowych jest prognoza 2.

Średnie wartości błędów względnych, median oraz percentyli 0,75 prognoz 1 i 2 są sobie równe i wynoszą odpowiednio 0,07% CH<sub>4</sub>, 0,05% CH<sub>4</sub> i 0,09% CH<sub>4</sub>. Percentyle 0,9 błędów bezwzględnych różnią się o 0,02% CH<sub>4</sub>, maksima błędów bezwzględnych różnią się o 0,03% CH<sub>4</sub>, natomiast minima tych błędów wynoszą 0% CH<sub>4</sub>. Suma błędów bezwzględnych prognozy 1 wynosi 16,78% CH<sub>4</sub>, a prognozy 2 – 15,69% CH<sub>4</sub>.

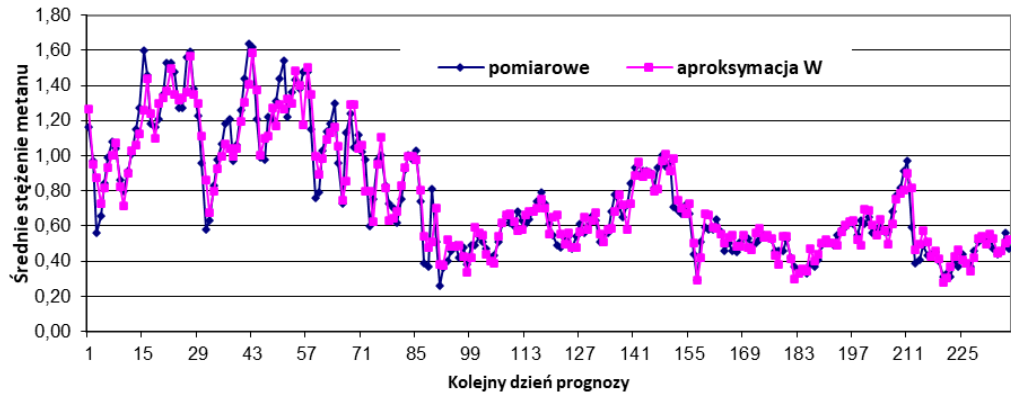
Parametry błędów względnych prognoz nieco się różnią, przy czym za wyjątkiem percentyla 0,9 parametry statystyczne błędów są większe dla prognozy 1. Suma błędów względnych dla prognozy 1 wynosi 2370,97%, a dla prognozy 2 – 2248,15%.

Na podstawie powyższej analizy można stwierdzić, że prognoza 2 dała nieco lepsze wyniki niż prognoza 1.

Na rysunkach 5.18 i 5.19 przedstawiono wykresy średniego stężenia pomiarowego i średnich stężeń prognozowanych.

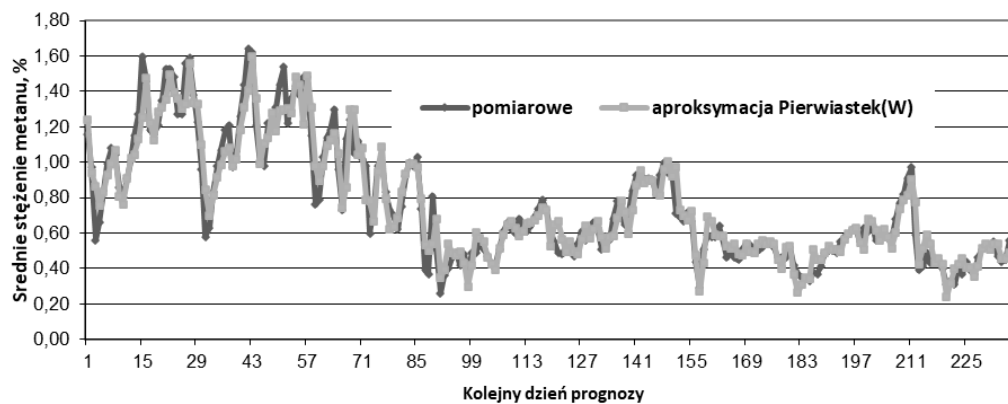
Przedstawione wykresy stężeń metanu na rysunkach 5.18 i 5.19 są prawie identyczne.

Zależność liniową pomiędzy prognozowanym średnim stężeniem metanu  $y$  obliczonym na podstawie funkcji danej wzorem  $y = S_y = f(\sqrt{W}, \sqrt{W_{-1}}, \sqrt{W_{-2}})$  a stężeniem prognozowanym  $x$ , obliczonym na podstawie funkcji danej wzorem  $x = S_x = f(W, W_{-1}, W_{-2})$  przedstawia równanie liniowe  $y = 0,9979x + 0,0016$  (rys. 5.20).



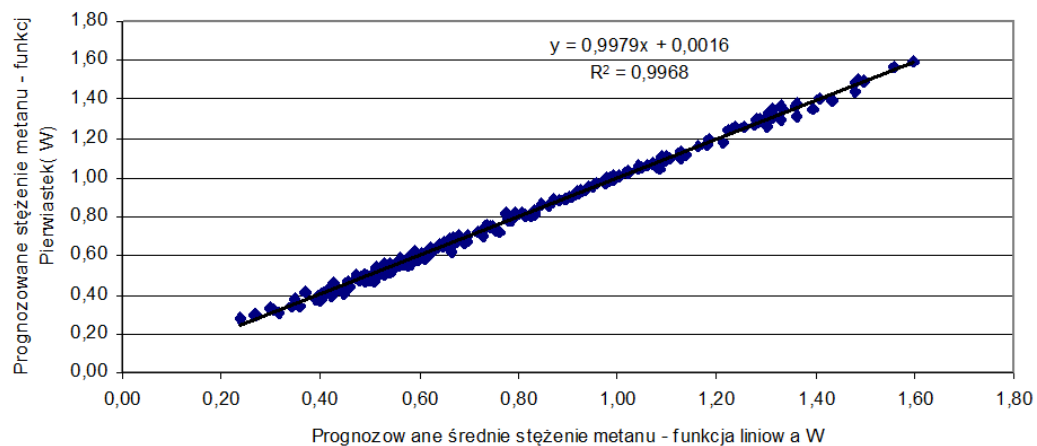
**Rys. 5.18** Wykres średnich stężeń metanu pomiarowych i prognozowanych funkcją liniową wydobywania w dniu bieżącym i w dwóch dniach poprzednich

Źródło: opracowanie własne



**Rys. 5.19** Wykres średnich stężeń metanu pomiarowych i prognozowanych funkcją liniową pierwiastków drugiego stopnia z wydobywania w dniu bieżącym i w dwóch dniach poprzednich

Źródło: opracowanie własne



**Rys. 5.20** Korelacja prognoz średniego stężenia metanu

Źródło: opracowanie własne

Wartość współczynnika kąтового powyższego równania wynosi prawie 1, a wyrazu wolnego prawie 0. Równanie to potwierdza wyżej podane stwierdzenie, że obliczenia stężenia metanu równaniami:

$$S_a = a_0 + a_1W + a_2W_{-1} + a_3W_{-2}$$

oraz:

$$S_a = a_0 + a_1\sqrt{W} + a_2\sqrt{W_{-1}} + a_3\sqrt{W_{-2}}$$

dają praktycznie takie same wyniki. Stwierdzenie to potwierdza także fakt, że wartość współczynnika determinacji obliczonego dla powyższej zależności liniowej wynosi  $R^2 = 0,9968$ .

Materiał analityczny dla ściany W-4 w pokładzie 360/1 został sporządzony na podstawie pomiarów stężenia metanu w okresie 154 następujących po sobie dni. W toku obliczeń okazało się, że istotnymi danymi dla obydwu prognoz są wielkości wydobywania z dnia bieżącego (dla którego wykonano prognozy *ex ante*) oraz z dnia poprzedniego. Funkcje prognostyczne przyjęły ostatecznie postać  $S = f(\sqrt{W}, \sqrt{W_{-1}})$  oraz  $S_x = f(W, W_{-1})$ . W tabeli 5.5 przedstawiono parametry statystyczne dotyczące danych pomiarowych średniego stężenia metanu na wylocie z wyrobiska wentylacyjnego oraz dotyczące danych wcześniej omówionych dwóch prognoz.

**Tabela 5.5**  
**Dane statystyczne dotyczące ściany W-4 w pokładzie 360/1**

| Parametr      | Stężenie średnie pomiarowe, %CH <sub>4</sub> | Stężenie średnie; prognoza 1, %CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny prognozy 1, %CH <sub>4</sub> | Błąd względny prognozy 1, % | Stężenie średnie; prognoza 2, %CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny prognozy 2, %CH <sub>4</sub> | Błąd względny prognozy 2, % |
|---------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|
| średnia       | 0,91                                         | 0,91                                           | 0,06                                          | 6,88                        | 0,91                                           | 0,06                                          | 6,99                        |
| mediana       | 0,95                                         | 0,93                                           | 0,04                                          | 4,27                        | 0,93                                           | 0,04                                          | 4,65                        |
| percent. 0,75 | 1,00                                         | 0,99                                           | 0,09                                          | 9,38                        | 0,99                                           | 0,09                                          | 9,46                        |
| percent. 0,90 | 1,06                                         | 1,03                                           | 0,14                                          | 16,47                       | 1,04                                           | 0,13                                          | 16,20                       |
| max           | 1,16                                         | 1,13                                           | 0,28                                          | 42,35                       | 1,12                                           | 0,27                                          | 40,95                       |
| min           | 0,49                                         | 0,63                                           | 0,00                                          | 0,01                        | 0,62                                           | 0,00                                          | 0,02                        |
| rozstęp       | 0,67                                         | 0,50                                           | 0,28                                          | 42,34                       | 0,50                                           | 0,27                                          | 40,93                       |
| suma          | 140,78                                       | 140,78                                         | 8,98                                          | 1060,17                     | 140,78                                         | 9,14                                          | 1076,43                     |

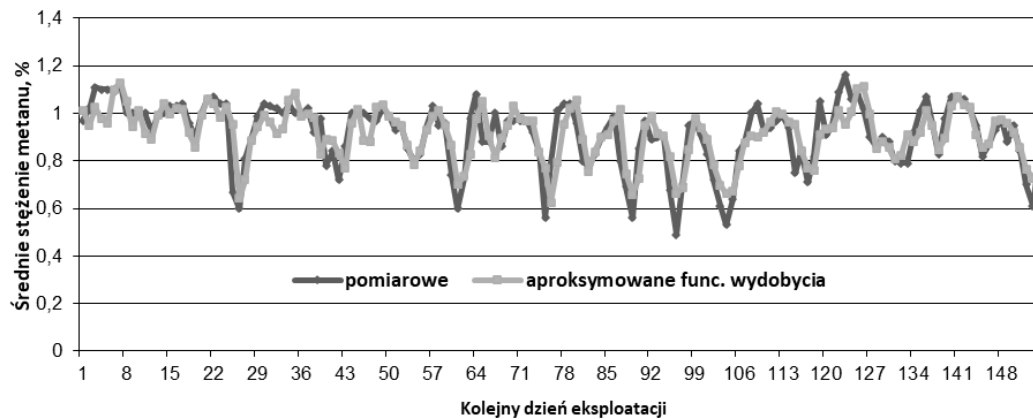
*Uwaga! Określenie „suma” oznacza sumę dobowych wartości danego parametru*

Średnie wartości średniego stężenia pomiarowego metanu oraz średnich stężeń metanu prognozy 1 i prognozy 2 są równe i wynoszą 0,91% CH<sub>4</sub>. Mediana średniego stężenia pomiarowego wynosi 0,95% CH<sub>4</sub>, a średnich stężeń prognozy 1 i prognozy 2 wynosi 0,93% CH<sub>4</sub>, czyli mediany prognoz są jedynie o 0,02% CH<sub>4</sub> niższe od mediany z pomiarów. Percentyl 0,75 średniego stężenia pomiarowego wynosi 1,00% CH<sub>4</sub>, natomiast prognoz 1 i 2 – 0,99% CH<sub>4</sub>, czyli są jedynie o 0,01% CH<sub>4</sub> niższe. Nieco większe różnice występują dla percentyli 0,90, gdyż dla danych pomiarowych średniego stężenia metanu percentyl 0,90 wynosi 1,06% CH<sub>4</sub>, dla prognozy 1 wynosi 1,03% CH<sub>4</sub>, a dla prognozy 2 – 1,04% CH<sub>4</sub>. Stężenia pomiarowe średniego stężenia metanu wahają się w granicach od 0,49% CH<sub>4</sub> do 1,16% CH<sub>4</sub>, natomiast przedział zmienności prognozy 1 zawiera się od 0,63% CH<sub>4</sub> do 1,13% CH<sub>4</sub>, a dla prognozy 2 od 0,62% CH<sub>4</sub> do 1,12% CH<sub>4</sub>. A zatem rozstęp stężenia

pomiarowego wynosi 0,67% CH<sub>4</sub> i jest większy od rozstępów prognoz 1 i 2, które wynoszą 0,5% CH<sub>4</sub>. Przedział zmienności dla prognozy 1 jest położony o 0,01% CH<sub>4</sub> wyżej od przedziału zmienności prognozy 2.

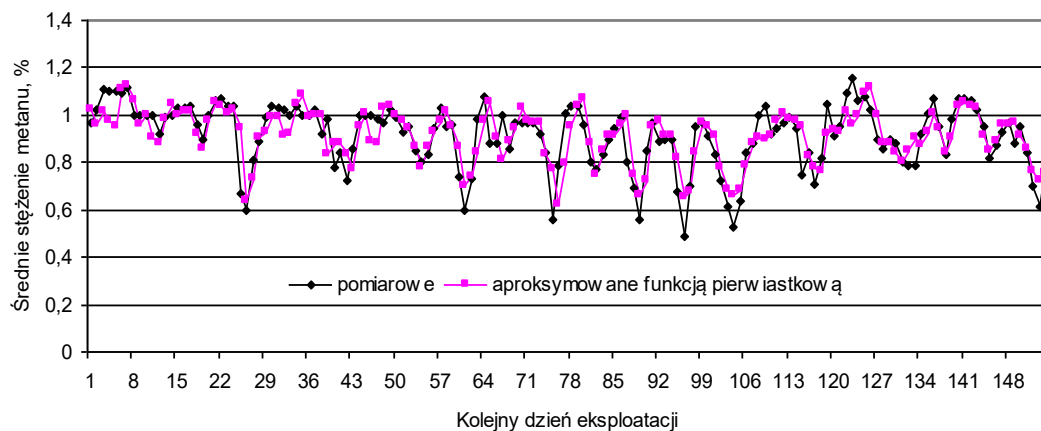
Sumaryczna wartość średnich stężeń pomiarowych, prognozy 1 i prognozy 2 jest identyczna i wynosi 140,78% CH<sub>4</sub>.

Na rysunkach 5.21 i 5.22 przedstawiono wykresy średnich stężeń pomiarowych oraz prognozy 1 (rys. 5.21) i prognozy 2 (rys. 5.22).



**Rys. 5.21 Wykres średnich stężeń metanu pomiarowych i prognozowanych funkcją liniową wydobywania w dniu bieżącym i w dwóch dniach poprzednich**

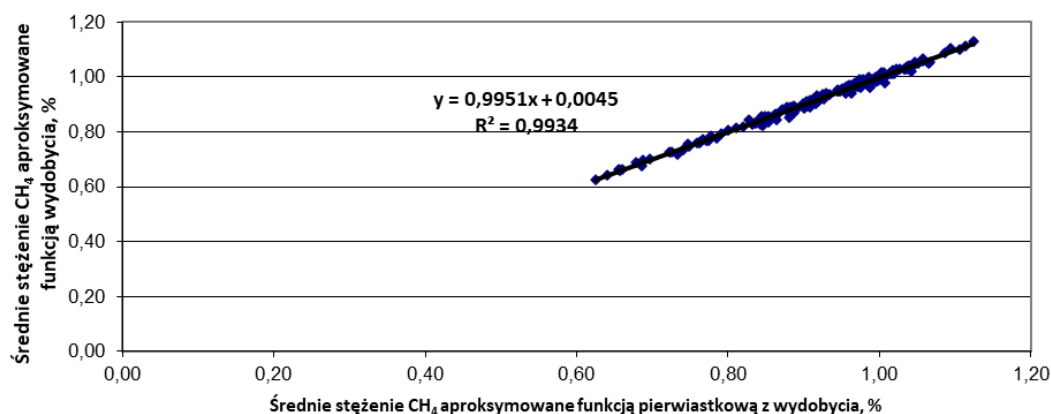
*Źródło: opracowanie własne*



**Rys. 5.22 Wykres średnich stężeń metanu pomiarowych i prognozowanych funkcją liniową pierwiastków drugiego stopnia z wydobywania w dniu bieżącym i w dwóch dniach poprzednich**

*Źródło: opracowanie własne*

Podobnie jak w przykładzie poprzednim, istnieje liniowa zależność pomiędzy stężeniami prognozy 1 i prognozy 2. Przedstawiono ją na rysunku 5.23.



**Rys. 5.23 Korelacja prognoz średniego stężenia metanu**

*Źródło: opracowanie własne*

Zależność liniową pomiędzy prognozowanym średnim stężeniem metanu  $y$  obliczonym na podstawie funkcji danej wzorem  $y = S = f(\sqrt{W}, \sqrt{W_{-1}})$  a stężeniem prognozowanym  $x$ , obliczonym na podstawie funkcji danej wzorem:

$$x = S_x = f(W, W_{-1}),$$

przedstawia równanie liniowe (rys. 5.23):

$$y = 0,9951x + 0,0045.$$

Podobnie jak w poprzednich przykładach, wartość współczynnika kąтового powyższego równania wynosi prawie 1, a wyrazu wolnego prawie 0. Oznacza to, że obydwie omówione wyżej prognozy dają prawie takie same wyniki.

Stwierdzenie to potwierdza także fakt, że wartość współczynnika determinacji obliczonego dla powyższej zależności liniowej wynosi  $R^2 = 0,9934$ .

## 5.5 Podsumowanie

Wstępne analizy średniego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego ściany wykazały, że na jego wartość w określonym dniu wpływa wydobywanie nie tylko w danym dniu lecz również w dwóch poprzednich dniach. W związku z powyższym, wykorzystując dane pomiarowe dotyczące średniego stężenia metanu odnoszące się do 258 kolejnych dni, wyznaczono metodą najmniejszych parametry dwóch funkcji wielomianowych. W pierwszej zmiennymi były wartości wydobywania w dniu bieżącym oraz w dwóch dniach poprzednich, a w drugiej zmiennymi były wartości pierwiastków drugiego stopnia z wydobywania w dniu bieżącym oraz w dwóch dniach poprzednich, co ujęto wzorami:

$$S_1 = a_0 + a_1W + a_2W_{-1} + a_3W_{-2}$$

$$S_2 = a_0 + a_1\sqrt{W} + a_2\sqrt{W_{-1}} + a_3\sqrt{W_{-2}}$$

Zastosowanie klasycznej metody najmniejszych kwadratów do aproksymacji współczynników wielomianów nie doprowadziło do uzyskania prawidłowych wyników. Było to spowodowane autokorelacją wyrazów szeregu czasowego średniego stężenia metanu.

Do wyznaczania parametrów funkcji aproksymacyjnej użyto uogólnionej metody najmniejszych kwadratów Cochrane'a-Orcutta. Wykonując obliczenia zwrócono uwagę na istotność parametrów równania aproksymacyjnego. W przypadku, gdy prawdopodobieństwo nieistotności parametru równania było większe niż 0,05, parametr odrzucano. Dzięki zastosowaniu tej metody uzyskano bardzo dobre odwzorowanie wyników pomiarowych wynikami obydwu prognoz.

Obliczenia wykazały także, że nie jest istotne, czy do prognozy stężenia metanu stosuje się funkcję zależną od wydobywania czy też od pierwiastków z wydobywania.

# 6

## PORÓWNANIE DOKŁADNOŚCI PROGNOZ STĘŻENIA METANU

### 6.1. Wstęp

Metoda prognozowania średniego stężenia metanu powinna:

- być łatwa w stosowaniu, czyli w oprogramowaniu, przygotowaniu danych i obsłudze programu obliczeniowego,
- mieć możliwość jak najszybszego zastosowania po uruchomieniu eksploatacji ścianą,
- być możliwie dokładną.

Wstępnie rozpatrywane są dwie metody: autokorelacyjna i przyczynowo skutkowa oparta na znajomości wydobywania dobowego. Aby wskazać, która z metod bardziej odpowiada postawionym wymaganiom, w oparciu o dane historyczne stężenia metanu przeprowadzono prognozy *ex post*.

### 6.2. Zastosowane modele prognostyczne

Wykorzystując dane pomiarowe stężenia metanu z czujników stężenia metanu pracujących w systemie ciągłym, na podstawie obserwacji dokonanych w dziewięciu ścianach, a obejmujących 2239 dni obserwacji, zostało sformułowanych osiem modeli autokorelacyjnych prognoz średniego stężenia metanu [15]. Posiadają one następującą postać:

$$S_i = a_0 + a_1 P_{i-1} \quad (6.1)$$

We wzorze powyższym  $S_i$  oznacza prognozowane średnie stężenie metanu w  $i$ -tym dniu (bieżącym),  $P_{i-1}$  oznacza średnie stężenie pomiarowe metanu w dniu poprzednim,  $a_0$  oraz  $a_1$  są parametrami równania wyznaczonymi dla poszczególnych dni tygodnia. Wartości parametrów  $a_0$  oraz  $a_1$  przedstawiono w tabeli 4.1.

Rzeczywiste średnie stężenie metanu można przedstawić wzorem:

$$S_{irz} = S_i + u_i = a_0 + a_1 P_{i-1} + r_i \quad (6.2)$$

gdzie:

$r_i$  – jest czynnikiem losowym, nazywanym także resztą.

Wartości średniego stężenia metanu w określonej dobie obliczono na podstawie pomiarów ciągłych stężenia metanu, dokonanych pomiędzy godziną 6:00:00 dnia bieżącego a 6:00:00 dnia następnego. W dalszej części pracy „dzień” i „dobę” należy traktować jako synonimy.

W poprzednim rozdziale wykazano, że aby określić średnie stężenie metanu w okresie jednej doby należy uwzględnić nie tylko wydobyte węgla w dobie, której obliczenia dotyczą (w dobie bieżącej) lecz także w dwóch dobach poprzednich. Z dotychczasowych prac wynika, że na stężenie metanu lub metanowość nie zawsze wpływa wydobyte z wszystkich trzech wymienionych dób. Istotność wpływu wydobywania w poszczególnych dobach była badana w trakcie estymacji parametrów modelu prognostycznego.

Uwzględniając powyższe oraz wyniki obliczeń zawarte w rozdziale 5 przyjęto w pracy następujący model prognostyczny:

$$S_i = a_0 + a_1 W_i + a_2 W_{i-1} + a_3 W_{i-2} \quad (6.3)$$

gdzie:

$S_i$  – prognozowane średnie stężenie metanu,

$W_i, W_{i-1}, W_{i-2}$  – odpowiednio wydobyte w dobie bieżącej, w dobie poprzedniej oraz sprzed dwóch dób,

$a_0, a_1, a_2, a_3$  – parametry modelu prognostycznego.

Rzeczywistą, pomiarową wartość średniego stężenia metanu  $S_{rzi}$  wyraża wzór:

$$S_{rzi} = a_0 + a_1 W_i + a_2 W_{i-1} + a_3 W_{i-2} + \varepsilon_i \quad (6.4)$$

gdzie:

$\varepsilon_i$  – jest czynnikiem losowym (resztą).

Obliczone parametry modelu prognostycznego (6.3) klasyczną metodą najmniejszych kwadratów, z uwagi na zachodzącą autokorelację, znacznie odbiegają od rzeczywistych. Z tego powodu do estymacji parametrów modelu (6.3) zastosowano metodę Cochrane’a-Orcutta. W dalszej części pracy model (6.3) będzie nazywany przyczynowo skutkowym.

Przeprowadzone prognozy obydwoma metodami są prognozami jednodniowymi. Prognozowanie metodą autoregresyjną można prowadzić od drugiej doby eksploatacji ścianą.

W statystyce przyjmuje się, że górna granica małej próby wynosi około 30. Aby uzyskać w miarę dokładny pierwszy model prognostyczny przyczynowo skutkowy dany równaniem (6.3), przyjęto że liczba danych do estymacji jego parametrów wynosi 30.

Parametry modelu (6.3) obliczano co 14 dni, przy czym za każdym razem do obliczeń użyto danych poczynając od początkowych. Zatem jeżeli pierwszy model był oparty na danych z 30 dni, to drugi na danych z 44 dni, trzeci z 58 dni i tak dalej. Każdy model służył do wykonania prognoz maksymalnie dla 14 dni.

Prognozując *ex ante*, czyli w czasie rzeczywistym za pomocą modelu (6.3), wydobyte w dniu, dla którego wykonywana jest prognoza nie jest wartością znaną lecz przewidywaną. Ponieważ omawiane prognozy zostały wykonane *ex post*,

wydobycie w dniu dla którego sporządzano prognozę przyjmowano takie, jakie było w rzeczywistości.

W celu porównania dokładności prognoz autokorelacyjnej i przyczynowo skutkowej wykorzystano dane pomiarowe stężenia metanu w rejonie wentylacyjnym ściany N-6 w pokładzie 330/2, czyli te same, które wykorzystano w rozdziale 5.

### 6.3. Charakterystyka danych pomiarowych i prognoz średniego stężenia metanu

Dane pomiarowe ze ściany N-6 w pokładzie 330/2 obejmują 257 dni. Na podstawie danych pomiarowych obliczono wartości średnie stężenia metanu w przedziale od godziny 6:00:00 dnia bieżącego do 6:00:00 dnia następnego. W tabeli 6.1 zamieszczono podstawowe parametry charakteryzujące cały zbiór średnich stężeń metanu. W tabeli „Suma” jest sumą średnich stężeń metanu w całym rozpatrywanym okresie.

**Tabela 6.1**  
**Dane statystyczne zbioru średniego stężenia metanu**  
**na wylocie z rejonu ściany N-6**

| Liczba dni | Średnia, % CH <sub>4</sub> | Mediana, % CH <sub>4</sub> | Trzeci Kwartył, % CH <sub>4</sub> | Dziewiąty Decyl, % CH <sub>4</sub> | Wartość Minimalna, %CH <sub>4</sub> | Wartość Maksymalna, %CH <sub>4</sub> | Suma, %CH <sub>4</sub> | Współczynnik autokorelacji |
|------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|----------------------------|
| 257        | 0,67                       | 0,64                       | 0,87                              | 1,03                               | 0,20                                | 1,23                                 | 172,56                 | 0,92                       |

Źródło: opracowanie własne

Tabela 6.2 zawiera dane statystyczne charakteryzujące zbiór pomiarowych wartości średniego stężenia metanu oraz zbiory prognozowanego stężenia metanu metodą autoregresyjną (prognoza 1) oraz przyczynowo skutkową (prognoza 2). Prognoza przyczynowo skutkowa obejmowała 227 dni (257 dni minus 30 dni) i w związku z tym, dane pomiarowe oraz wyniki prognozy autoregresyjnej zostały ograniczone do tego samego okresu.

Liczba punktów dotyczących pomiarów i prognoz na rysunkach 1 i 2 jest duża (227 punktów), co powoduje, że różnice pomiędzy wartościami pomiarowymi i prognozowanymi nie są możliwe do oszacowania wzrokowego. W celu lepszego zbadania zgodności między wartościami prognozowanymi a pomiarowymi średnich stężeń metanu obliczono parametry statystyczne stężenia pomiarowego i stężenia prognozowanego. Na podstawie wartości tych parametrów lepiej można także

porównać prognozy między sobą. Parametry statystyczne dotyczące wartości pomiarowych średniego stężenia metanu zawarte w tabeli 6.2 różnią się od danych zawartych w tabeli 6.1 z uwagi na mniejszą liczbę prognoz (227) w stosunku do liczby dni pomiarów (257).

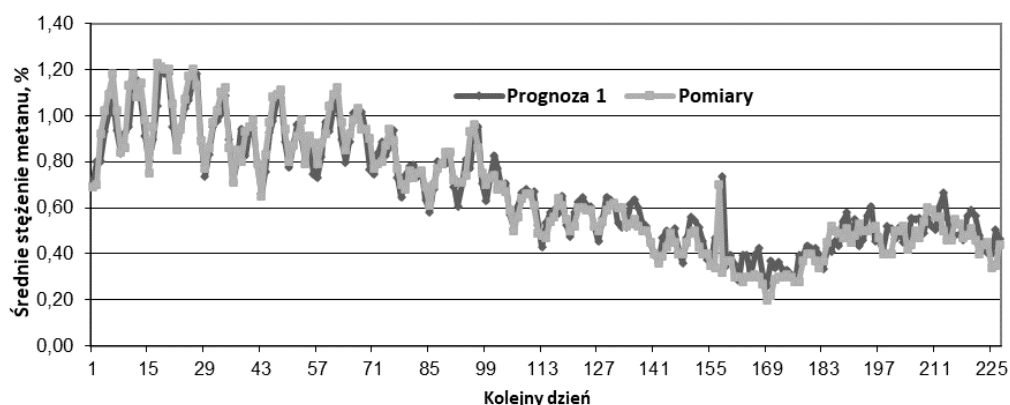
**Tabela 6.2**  
**Parametry statystyczne średniego stężenia metanu**

|            | Średnia<br>% CH <sub>4</sub> | Mediana<br>% CH <sub>4</sub> | Trzeci<br>kwartyl,<br>% CH <sub>4</sub> | Dziewiąty<br>decyl % CH <sub>4</sub> | Wartość<br>minimalna<br>% CH <sub>4</sub> | Wartość<br>maksymalna<br>% CH <sub>4</sub> | Suma % CH <sub>4</sub> |
|------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------|
| Pomiary    | 0,66                         | 0,60                         | 0,86                                    | 1,03                                 | 0,20                                      | 1,23                                       | 150,39                 |
| Prognoza 1 | 0,67                         | 0,63                         | 0,84                                    | 0,98                                 | 0,26                                      | 1,21                                       | 151,12                 |
| Prognoza 2 | 0,67                         | 0,64                         | 0,85                                    | 1,03                                 | 0,21                                      | 1,23                                       | 152,23                 |

Źródło: opracowanie własne

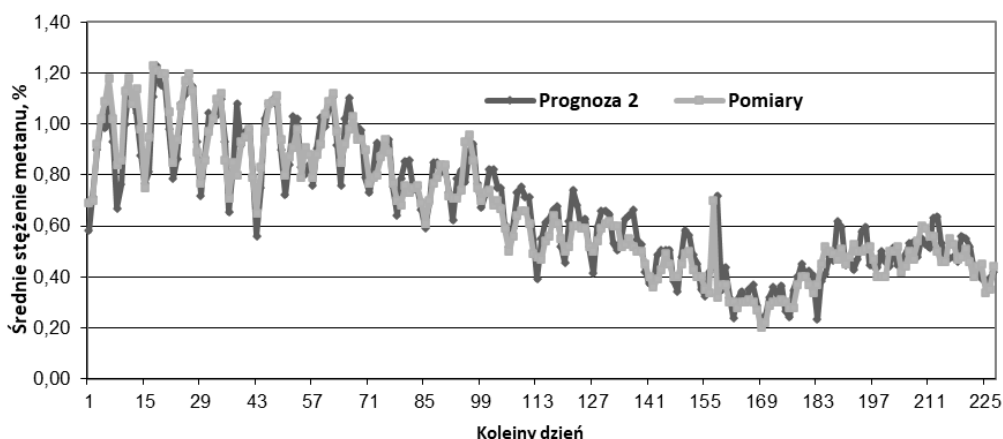
Dane zawarte w tabeli 6.2 świadczą o tym, że różnice pomiędzy pomiarami i prognozami są niewielkie. Wartości średnie prognoz są wyższe od średniej z pomiarów o 0,01% CH<sub>4</sub>, mediana prognozy 1 jest wyższa o 0,01% CH<sub>4</sub> od mediany wartości pomiarowych, a mediana prognozy 2 jest wyższa o 0,02% CH<sub>4</sub> od wartości mediany wartości pomiarowych. Trzeci kwartył stężenia pomiarowego jest wyższy od trzeciego kwartyła prognozy 1 o 0,02% CH<sub>4</sub> i 0,01% CH<sub>4</sub> od trzeciego kwartyła prognozy 2. Zakresy średniego stężenia metanu wynoszą 1,03% CH<sub>4</sub> dla wartości pomiarowych, 1,05% CH<sub>4</sub> dla prognozy 1 i 1,01% CH<sub>4</sub> dla prognozy 2. Suma średnich stężeń pomiarowych jest nieco niższa od sum prognoz.

Liczba punktów dotyczących pomiarów i prognoz na rysunkach 6.1 i 6.2 jest duża (227 punktów), co powoduje, że różnice pomiędzy wartościami pomiarowymi i prognozowanymi nie są możliwe do wzrokowego oszacowania.



**Rys. 6.1 Wykres wartości pomiarowych i prognozy autoregresyjnej średniego stężenia metanu w ścianie N-6 w pokładzie 330/2**

Źródło: opracowanie własne



Rys. 6.2 Wykresy wartości pomiarowych i prognozy przyczynowo-skutkowej średniego stężenia metanu w ścianie N-6 w pokładzie 330/2

Źródło: opracowanie własne

W celu lepszego zbadania zgodności między wartościami prognozowanymi a pomiarowymi średnich stężeń metanu obliczono błędy bezwzględne i względne prognoz. Na podstawie wartości tych błędów lepiej można ocenić stopień zgodności prognoz z pomiarami oraz porównać prognozy między sobą.

Średnie wartości błędów bezwzględnych są niskie i stanowią około 7,5% (Prognoza 1) i około 9,1% (Prognoza 2) średniej wartości pomiarowej stężenia metanu, obliczonej dla całego okresu obserwacji.

Z przytoczonych w tabeli 6.3 danych statystycznych wynika, że prognozy prawie się nie różnią pod względem wartości parametrów statystycznych opisujących błędy bezwzględne.

**Tabela 6.3**  
**Statystyczna charakterystyka błędów bezwzględnych prognoz autoregresyjnej (Prognoza 1) i przyczynowo skutkowej (Prognoza 2)**

| Błędy bezwzględne | Średnia % CH <sub>4</sub> | Mediana % CH <sub>4</sub> | Trzeci Kwartył % CH <sub>4</sub> | Dziewiąty Decyl % CH <sub>4</sub> | Wartość minimalna, % CH <sub>4</sub> | Wartość maksymalna, % CH <sub>4</sub> | Suma błędów % CH <sub>4</sub> |
|-------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| Prognoza 1        | 0,05                      | 0,05                      | 0,07                             | 0,10                              | 0,00                                 | 0,41                                  | 12,35                         |
| Prognoza 2        | 0,06                      | 0,05                      | 0,08                             | 0,11                              | 0,00                                 | 0,40                                  | 13,34                         |

Źródło: opracowanie własne

Z zawartych w tabeli 6.4 danych statystycznych dotyczących błędów względnych również wynika, że nieco lepsza jest prognoza autoregresyjna (Prognoza 1). Wynika to zarówno z mniejszej sumy błędów jak i z wartości średnich i median. Duże wartości maksymalne błędów względnych prognoz (129,3% i 124,5%) są wartościami incydentalnymi, związanymi z nagłym wzrostem stężenia metanu w 158 dniu obserwacji. Pozostałe wartości maksymalne błędów względnych nie przekraczają 41%.

**Tabela 6.4**  
**Statystyczna charakterystyka błędów względnych prognoz autoregresyjnej**  
**(Prognoza 1) i przyczynowo skutkowej (Prognoza 2)**

| Błędy względne | Średnia % | Mediana % | Trzeci Kwartyl % | Dziewiąty decyl % | Wartość Minimalna % | Wartość Maksymalna % | Suma % |
|----------------|-----------|-----------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|--------|
| Prognoza 1     | 9,9       | 7,2       | 12,6             | 18,6              | 0,0                 | 129,3                | 2237,7 |
| Prognoza 2     | 10,2      | 8,4       | 13,5             | 18,4              | 0,0                 | 124,5                | 2309,2 |

Źródło: opracowanie własne

Suma błędów bezwzględnych dla prognozy 1 wynosi 12,35% CH<sub>4</sub>, natomiast dla prognozy 2 – 13,4% CH<sub>4</sub>.

Suma błędów względnych prognozy 1 wynosi 2237,68%, a prognozy 2 – 2309,25%, czyli jest większa o 71,57% od sumy obliczonej dla prognozy 1, co wskazuje, że nieco lepsza jest prognoza 1.

W tabeli 6.5 zamieszczono zwarte zestawienie parametrów statystycznych danych pomiarowych oraz prognoz 1 i 2.

**Tabela 6.5.**  
**Parametry statystyczne średniego stężenia pomiarowego metanu oraz prognoz 1 i 2**

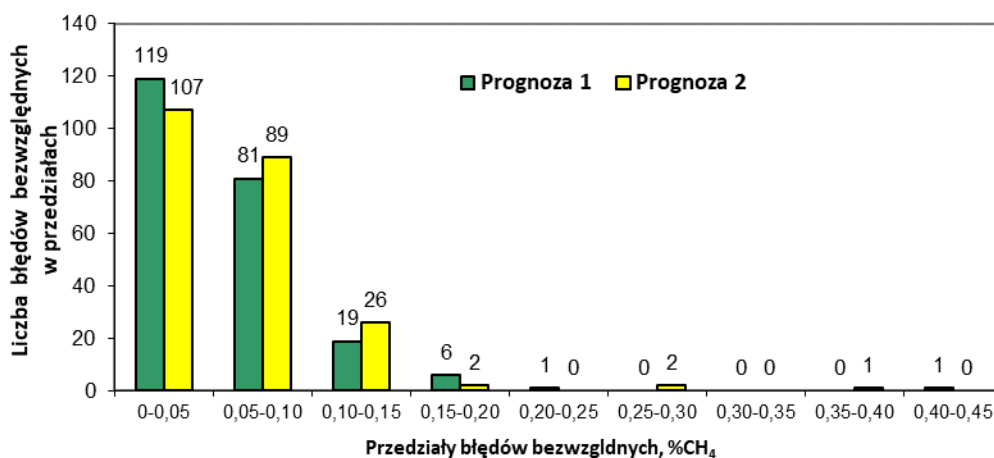
| Parametr       | Stężenie pomiarowe % CH <sub>4</sub> | Stężenie prognoza 1, % CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny % CH <sub>4</sub> | Błąd względny % | Stężenie prognoza 2, % CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny % CH <sub>4</sub> | Błąd względny % |
|----------------|--------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------|-----------------|----------------------------------------|------------------------------------|-----------------|
| średnia        | 0,66                                 | 0,67                                   | 0,05                               | 9,86            | 0,67                                   | 0,06                               | 10,17           |
| mediana        | 0,60                                 | 0,63                                   | 0,05                               | 7,23            | 0,64                                   | 0,05                               | 8,43            |
| percentyl 0,75 | 0,86                                 | 0,84                                   | 0,07                               | 12,55           | 0,85                                   | 0,08                               | 13,52           |
| percentyl 0,90 | 1,03                                 | 0,98                                   | 0,10                               | 18,56           | 1,03                                   | 0,11                               | 18,38           |
| max            | 1,23                                 | 1,21                                   | 0,41                               | 129,28          | 1,23                                   | 0,40                               | 124,52          |
| min            | 0,2                                  | 0,26                                   | 0,00                               | 0,02            | 0,21                                   | 0,00                               | 0,03            |
| zakres         | 1,03                                 | 0,95                                   | 0,41                               | 129,26          | 1,02                                   | 0,40                               | 124,49          |
| suma           | 150,39                               | 151,12                                 | 12,35                              | 2237,68         | 152,23                                 | 13,34                              | 2309,25         |

Źródło: opracowanie własne

Jeszcze inne porównanie błędów prognoz uzyskuje się na podstawie wykresów kolumnowych stanowiących rysunki 6.3 i 6.4.

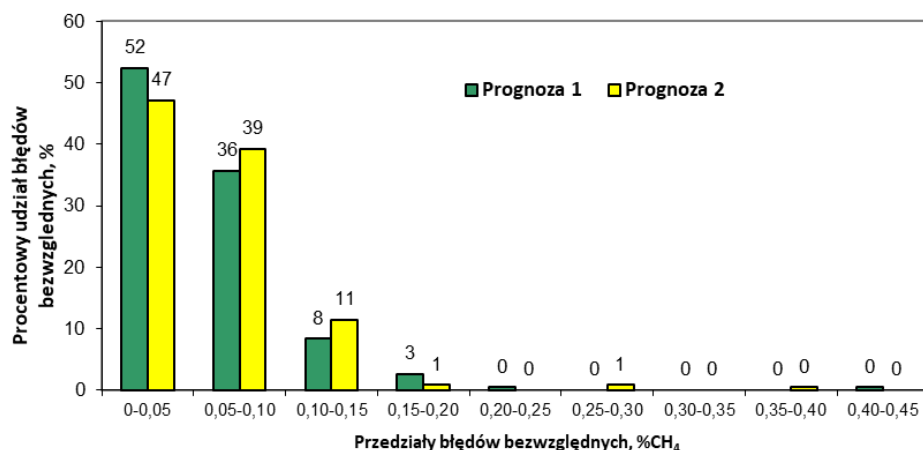
Z rysunków 6.3 i 6.4 wynika, że w przedziale wartości błędów bezwzględnych od 0,00% CH<sub>4</sub>-0,05% CH<sub>4</sub> znajduje się 119 błędów prognozy autoregresyjnej (rys.

6.3), co stanowi 52% wszystkich błędów bezwzględnych (rys. 6.4), oraz 107 błędów prognozy przyczynowo skutkowej, stanowiących 47% błędów bezwzględnych tej metody prognozy.



Rys. 6.3 Rozkłady liczby błędów bezwzględnych prognoz autoregresyjnej (Progniza 1) i przyczynowo skutkowej (Progniza 2)

Źródło: opracowanie własne



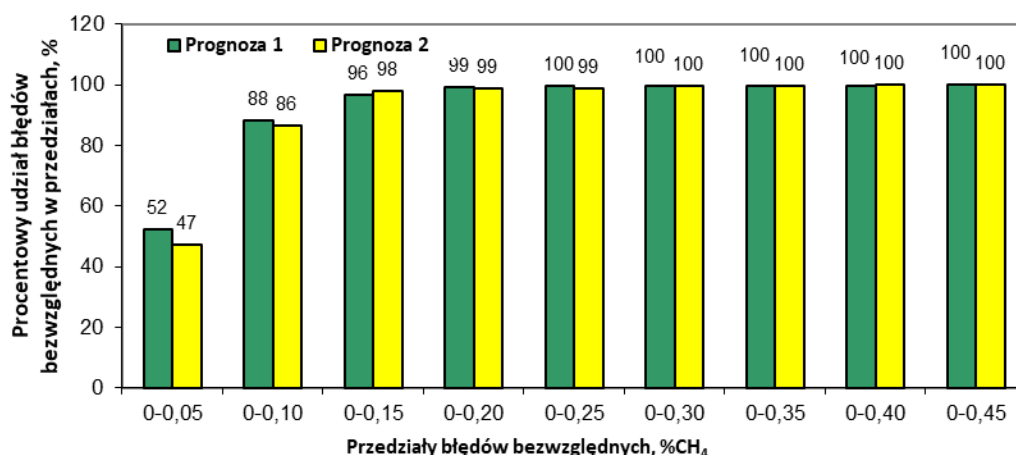
Rys. 6.4 Rozkład procentowego udziału błędów bezwzględnych prognoz we wskazanych przedziałach błędów

Źródło: opracowanie własne

W przedziale od 0,05% CH<sub>4</sub> do 0,10% CH<sub>4</sub> znajduje się 81 błędów prognozy 1 i 89 błędów bezwzględnych prognozy 2 (odpowiednio 36% i 39% wszystkich błędów bezwzględnych). W przedziale od 0,10% CH<sub>4</sub> do 0,15% CH<sub>4</sub> znajduje się 19 (prognoza 1) i 26 (prognoza 2) błędów bezwzględnych, co stanowi 8% i 11% całości błędów bezwzględnych.

Na rysunku 6.5 przedstawiono procentowy udział błędów bezwzględnych w przedziałach od 0% CH<sub>4</sub> do określonej górnej granicy przedziału.

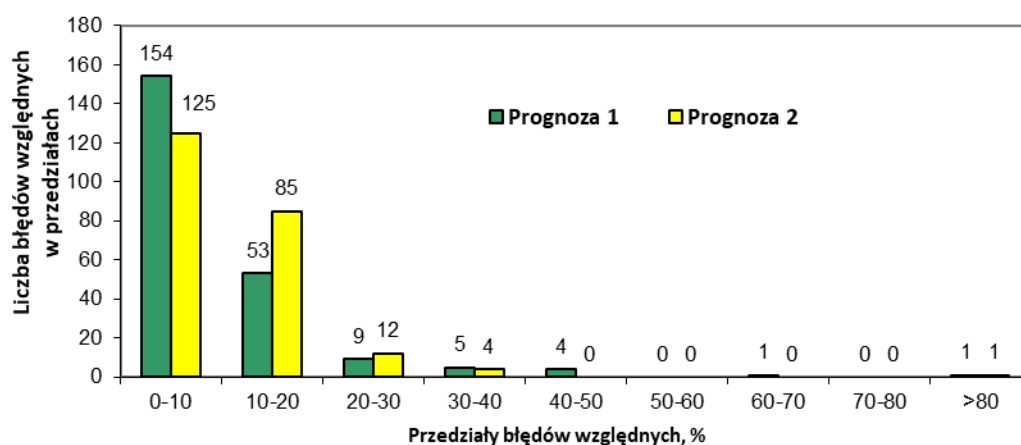
Jak wynika z rysunku 6.5, w przedziale od 0,00% CH<sub>4</sub> do 0,10% CH<sub>4</sub> znajduje się 88% błędów bezwzględnych prognozy autoregresyjnej i 86% błędów bezwzględnych prognozy przyczynowo skutkowej, a w przedziale od 0,00% CH<sub>4</sub> do 0,15% CH<sub>4</sub> znajduje się już odpowiednio 96% i 98% omawianych błędów.



**Rys. 6.5** Sumaryczny procentowy udział błędów bezwzględnych we wskazanych przedziałach

Źródło: opracowanie własne

W przedziale błędów względnych (rys. 6.6) od 0% do 10% znajdują się 154 błędy prognozy autoregresyjnej (prognoza 1) i 125 błędów prognozy przyczynowo skutkowej (prognoza 2).

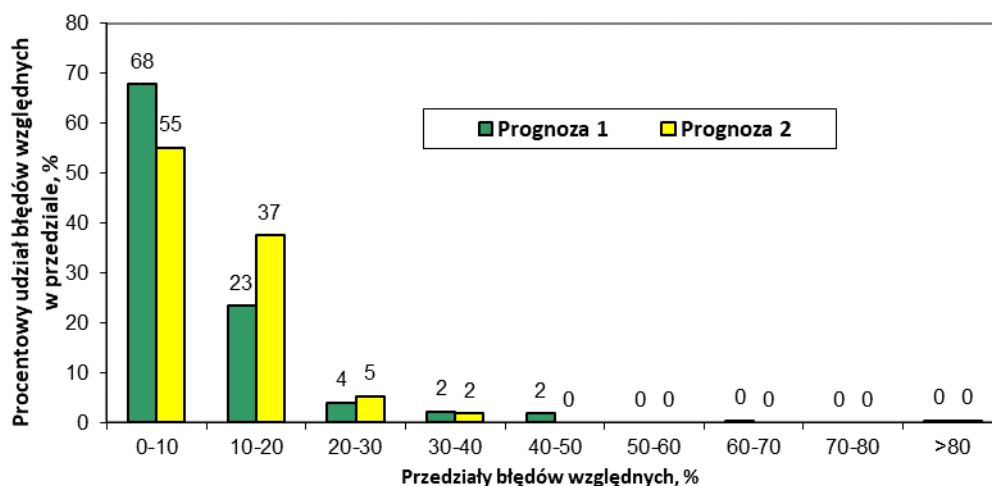


**Rys. 6.6** Rozkład błędów względnych prognozy autoregresyjnej (Prognoza 1) i przyczynowo-skutkowej (Prognoza 2)

Źródło: opracowanie własne

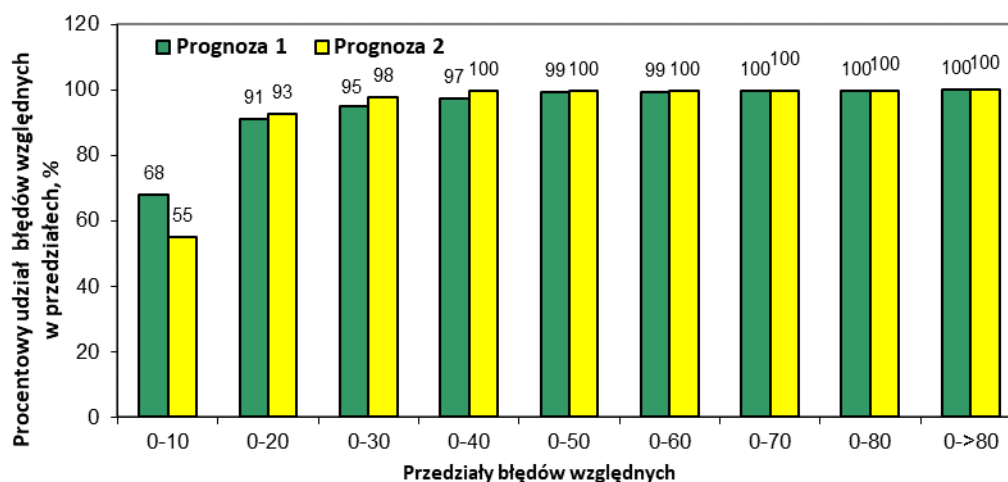
Stanowi to odpowiednio 68% (prognoza 1) i 55% (prognoza 2) wszystkich błędów względnych (rys. 6.7). W przedziale drugim, od 10% do 20% błędów względnych, znajduje się 53 (prognoza 1) i 85 błędów (prognoza 2), co stanowi odpowiednio 23% i 37% całości błędów względnych omawianych prognoz.

Natomiast z rysunku 6.8 wynika, że w przedziale od 0% do 10% błędów względnego znajduje się 68% przypadków błędów względnych prognozy 1, i 55% przypadków błędów względnych prognozy 2, a w przedziale od 0% do 20% błędów względnych jest odpowiednio 91% i 93% wszystkich błędów względnych.



Rys. 6.7 Procentowy udział błędów względnych omawianych prognoz w przyjętych przedziałach

Źródło: opracowanie własne



Rys. 6.8. Procentowy udział błędów względnych omawianych prognoz

Źródło: opracowanie własne

Analiza wykresów błędów bezwzględnych i względnych prognoz średniego stężenia metanu prowadzi do wniosku, że nieco dokładniejsza była prognoza autoregresyjna (prognoza 1), jednak obydwie przedstawione prognozy *ex post* dla omawianej ściany dają bardzo podobne wyniki.

W dalszej części przedstawiono wyniki analiz dokładności prognoz 1 i 2 dla trzech ścian.

Poniższa analiza dotyczy ściany 7 w pokładzie 409 w jednej z kopalń.

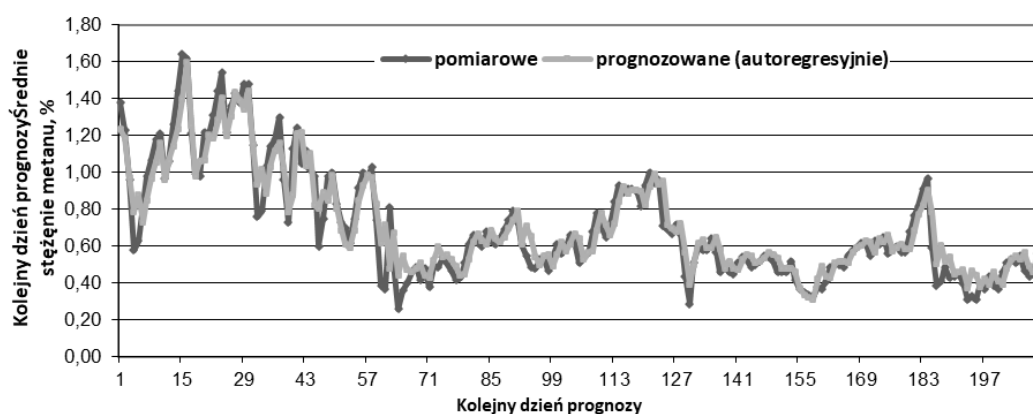
W tabeli 6.6 przedstawiono parametry statystyczne dotyczące średniego stężenia pomiarowego, prognozy 1 i prognozy 2. Tabela została sporządzona w oparciu o pomiary stężenia metanu oraz prognozy sporządzone dla 210 dni.

Wykresy prognozowanych wartości średniego stężenia metanu w połączeniu z wykresem średnich pomiarowych stężeń przedstawiono na rysunkach 6.9 i 6.10.

Tabela 6.6

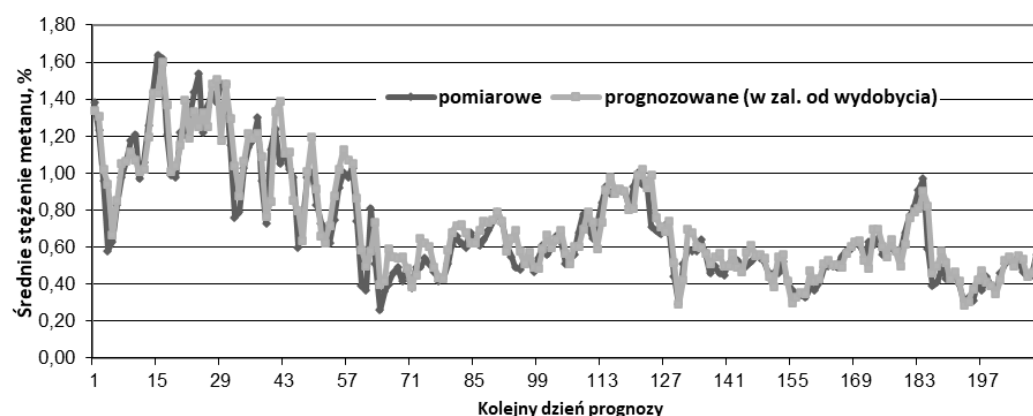
Parametry statystyczne średniego stężenia pomiarowego metanu oraz prognoz 1 i 2

| Parametr       | Stężenie pomiarowe % CH <sub>4</sub> | Stężenie prognoza 1 % CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny % CH <sub>4</sub> | Błąd względny % | Stężenie prognoza 2 % | Błąd bezwzględny % CH <sub>4</sub> | Błąd względny % |
|----------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-----------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------|
| średnia        | 0,71                                 | 0,71                                  | 0,07                               | 11,4            | 0,73                  | 0,07                               | 10,8            |
| mediana        | 0,61                                 | 0,62                                  | 0,05                               | 8,0             | 0,63                  | 0,06                               | 7,9             |
| percentyl 0,75 | 0,91                                 | 0,88                                  | 0,10                               | 13,5            | 0,91                  | 0,09                               | 14,3            |
| percentyl 0,90 | 1,18                                 | 1,15                                  | 0,16                               | 27,3            | 1,19                  | 0,14                               | 21,1            |
| max            | 1,64                                 | 1,60                                  | 0,35                               | 94,0            | 1,60                  | 0,36                               | 62,3            |
| min            | 0,26                                 | 0,31                                  | 0,00                               | 0,3             | 0,29                  | 0,00                               | 0,1             |
| zakres         | 1,38                                 | 1,29                                  | 0,35                               | 93,7            | 1,31                  | 0,36                               | 62,2            |
| suma           | 148,12                               | 149,82                                | 14,67                              | 2400,0          | 153,45                | 14,86                              | 2274,8          |



Rys. 6.9 Wykres średnich stężeń metanu pomiarowych i prognozowanych metodą autoregresyjną (prognoza 1)

Źródło: opracowanie własne



Rys. 6.10 Wykres średnich stężeń metanu pomiarowych i prognozowanych metodą przyczynowo skutkową (prognoza 2)

Źródło: opracowanie własne

Średnia pomiarowa wartość stężenia metanu wynosi 0,71% CH<sub>4</sub>. Taka sama wartość wykazuje prognoza 1 (autoregresyjna), natomiast prognoza 2 wykazała wartość 0,73% CH<sub>4</sub> tego parametru, czyli o 0,02% CH<sub>4</sub> wyższą. Najniższą wartość

mediany średniego stężenia metanu wykazały pomiary, wynosi bowiem 0,61% CH<sub>4</sub>. Wielkość ta dla prognozy 1 wynosi 0,62% CH<sub>4</sub>, zaś dla prognozy 2 – 0,63% CH<sub>4</sub>, czyli najwyższą. Najniższą wartość percentyla 0,75 wykazała prognoza 1 – 0,88% CH<sub>4</sub>. Dla wartości pomiarowych oraz dla wartości prognozy 2 wartość percentyla 0,75 wynosi 0,91% CH<sub>4</sub>. Również prognoza 1 wykazała najniższą wartość percentyla 0,9 (1,15% CH<sub>4</sub>), zaś najwyższą prognoza 2 (1,19% CH<sub>4</sub>). Wartość percentyla 0,90 dla danych pomiarowych wynosi 1,18% CH<sub>4</sub>. Maksymalna wartość średniego stężenia pomiarowego wynosiła 1,64% CH<sub>4</sub>, zaś dla obu prognoz maksymalna wartość średniego stężenia metanu wynosiła 1,60% CH<sub>4</sub>, czyli była nieco niższa (o 0,04% CH<sub>4</sub>).

Największy zakres wartości średniego stężenia metanu wykazały dane pomiarowe (1,38% CH<sub>4</sub>), dla prognozy 2 wynosi on 1,31% CH<sub>4</sub>, a dla prognozy 1 – 1,29% CH<sub>4</sub>.

Suma średnich stężeń metanu dla całego okresu obserwacji wynosi 148,12%CH<sub>4</sub>, dla prognozy 1 – 149,82% CH<sub>4</sub>, a dla prognozy 2 – 153,45% CH<sub>4</sub>, czyli jest największa.

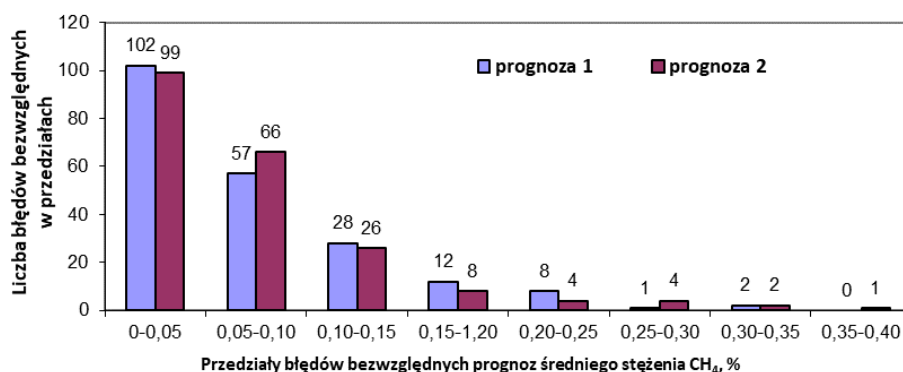
Średnie błędy bezwzględne prognoz 1 i 2 wynoszą 0,07% CH<sub>4</sub>. Natomiast średni błąd względny wynosi 11,4% dla prognozy 1 i 10,8% dla prognozy 2.

Maksymalne błędy bezwzględne wynoszą 0,35% CH<sub>4</sub> dla prognozy 1 i 0,36% CH<sub>4</sub> dla prognozy 2. Takie same wartości posiadają zakresy błędów.

Sumy wszystkich błędów bezwzględnych wynoszą 14,67 dla prognozy 1 i 14,86 dla prognozy 2, a zatem różnica między nimi jest mała.

Średni błąd względny prognozy 1 wynosi 11,4%, a zatem jest większy od błędu względnego prognozy 2, wynoszącego 10,8%. Również wartość maksymalna błędu względnego prognozy 1, wynosząca 94,0% jest znacznie większa od maksymalnej wartości błędu względnego prognozy 2, wynoszącego 62,3%.

Poniżej (rys. 6.11, 6.12), przedstawiono ilustracje dotyczące rozkładu błędów bezwzględnych i względnych prognoz 1 i 2.



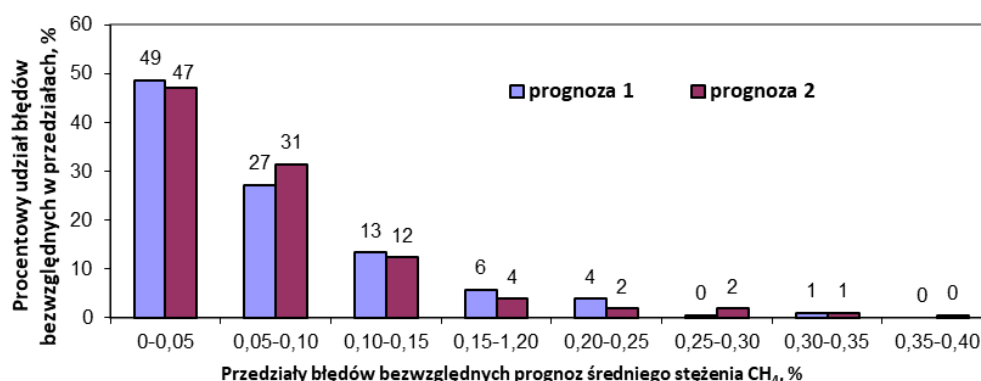
**Rys. 6.11 Porównanie liczebności błędów bezwzględnych średnich prognozowanych stężeń metanu**

*Źródło: opracowanie własne*

Z rysunku 6.11 wynika, że w przedziale błędów bezwzględnych prognoz stężenia metanu od 0% CH<sub>4</sub> do 0,05% CH<sub>4</sub> wystąpiły największe liczby błędów, przy

czym liczba błędów prognozy 1 jest o 3 większa od liczby błędów prognozy 2. W przedziale drugim 0,05-0,10 CH<sub>4</sub> liczba błędów bezwzględnych prognozy 2 przewyższa liczbę błędów prognozy 1 o 9 przypadków. W następnych trzech przedziałach liczba błędów prognozy 1 jest większa od liczby prognozy 2. W pozostałych przedziałach liczba błędów bezwzględnych prognozy 1 są mniejsze.

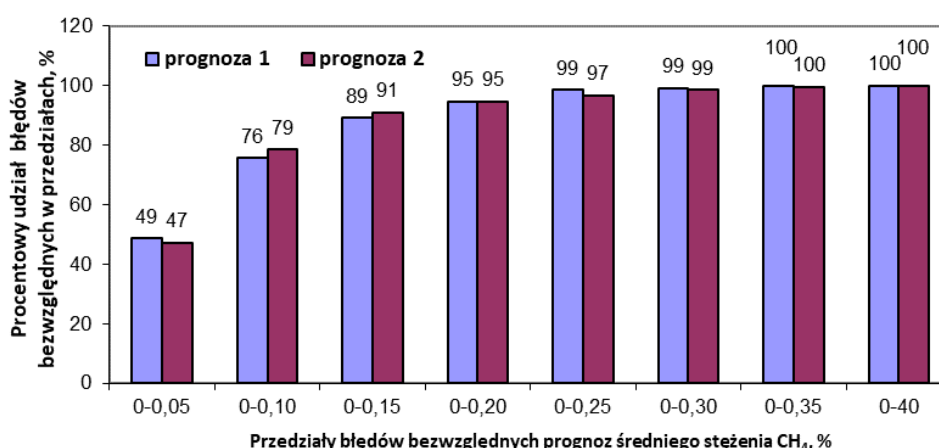
Analizując rysunek 6.12 można zauważyć, że w pierwszym przedziale błędów bezwzględnych 0-0,05% CH<sub>4</sub> znajduje się prawie 50% wszystkich przypadków (prognoza 1 – 49%, prognoza 2 – 47%). W następnych przedziałach liczba błędów silnie maleje, przy czym w przedziałach 0,05-0,10% CH<sub>4</sub> i 0,25-0,30% CH<sub>4</sub> liczba błędów prognozy 2 jest większa niż prognozy 1.



Rys. 6.12 Porównanie procentowego udziału błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu w przyjętych przedziałach wartości

Źródło: opracowanie własne

Z rysunku 6.13 wynika, że około 90% błędów bezwzględnych zawiera się w przedziale od 0-0,15% CH<sub>4</sub>, a 95% błędów bezwzględnych w przedziale 0-0,20% CH<sub>4</sub>.

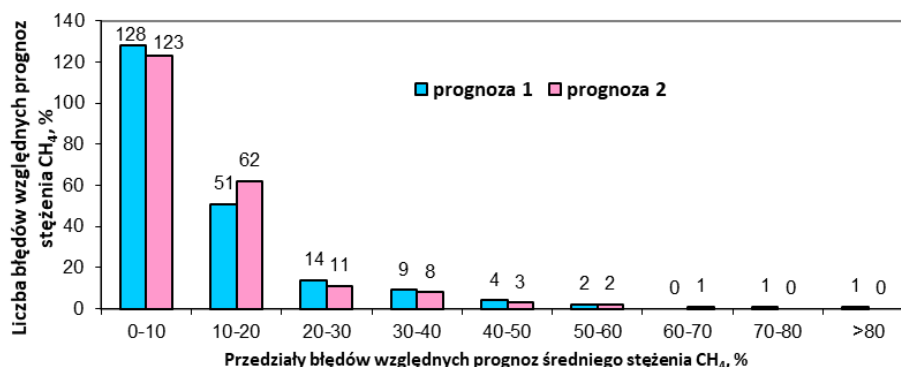


Rys. 6.13 Porównanie procentowego udziału błędów bezwzględnych prognoz dla narastającej wielkości przedziału błędów

Źródło: opracowanie własne

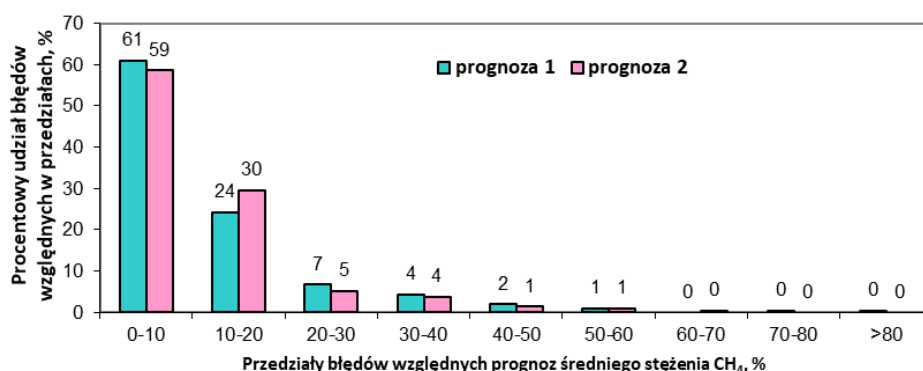
Największe liczby błędów względnych należą do przedziału od 0% do 10% i wynoszą dla prognozy 1 – 128 błędów co stanowi 61% wszystkich błędów

względnych, a dla prognozy 2 – 123 błędy, co daje 59% wszystkich błędów (rys. 6.14 i 6.15). W przedziale od 10% do 20% znajduje się 51 błędów względnych prognozy 1 (24% wszystkich błędów względnych). W tym samym przedziale znajdują się 62 błędy względne prognozy 2, co stanowi 30% wszystkich błędów względnych. W przedziałach obejmujących większe wartości błędów względnych znajduje się 31 błędów bezwzględnych prognozy 1 i 25 błędów bezwzględnych prognozy 2.



**Rys. 6.14 Porównanie liczebności błędów względnych średnich prognozowanych stężeń metanu w przyjętych przedziałach wartości**

Źródło: opracowanie własne



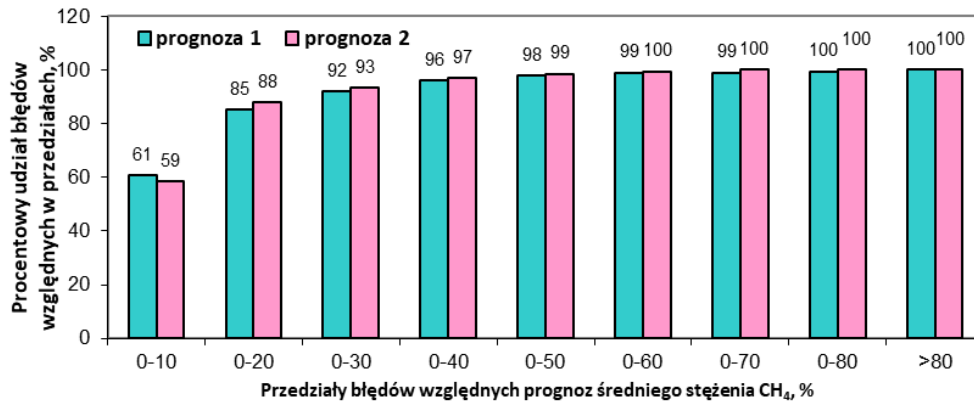
**Rys. 6.15 Porównanie procentowego udziału błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu w przyjętych przedziałach wartości**

Źródło: opracowanie własne

Rysunek 6.16 przedstawia procentowy udział błędów względnych prognozy 1 i prognozy 2 w rosnących przedziałach błędów względnych prognoz średniego stężenia metanu.

W dalszej części rozdziału przedstawiono w skróconej formie porównanie wartości pomiarowych i prognozowanych dla dwóch następnych ścian.

Ścianą W-4 eksploatowano w pokładzie 360/1. Do obliczeń parametrów stężenia metanu w rejonie ściany zastosowano dane pomiarowe z 128 kolejnych dni. Na podstawie parametrów pomiarowych sporządzono 126 prognoz średniego stężenia metanu metodą autoregresyjną (prognoza 1) i tyle samo prognoz metodą przyczynowo-skutkową (prognoza 2).



Rys. 6.16 Porównanie procentowego udziału błędów względnych prognoz dla narastającej wielkości przedziału błędów

Źródło: opracowanie własne

Tabela 6.7 przedstawia wybrane dane statystyczne dotyczące wartości pomiarowych oraz prognoz 1 i 2 średniego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego ściany W-4.

Tabela 6.7  
Parametry statystyczne średniego stężenia pomiarowego metanu oraz prognoz 1 i 2

| Parametr       | Stężenie pomiarowe % CH <sub>4</sub> | Stężenie prognoza 1, % CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny % CH <sub>4</sub> | Błąd względny % | Stężenie prognoza 2, % CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny % CH <sub>4</sub> | Błąd względny % |
|----------------|--------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------|-----------------|----------------------------------------|------------------------------------|-----------------|
| średnia        | 0,90                                 | 0,87                                   | 0,08                               | 8,66            | 0,91                                   | 0,07                               | 7,95            |
| mediana        | 0,93                                 | 0,89                                   | 0,06                               | 6,33            | 0,92                                   | 0,05                               | 5,10            |
| percentyl 0,75 | 1,00                                 | 0,97                                   | 0,12                               | 12,52           | 0,98                                   | 0,09                               | 10,34           |
| percentyl 0,90 | 1,04                                 | 1,03                                   | 0,17                               | 19,53           | 1,02                                   | 0,15                               | 18,84           |
| max            | 1,16                                 | 1,16                                   | 0,29                               | 32,67           | 1,11                                   | 0,26                               | 46,17           |
| min            | 0,49                                 | 0,57                                   | 0,00                               | 0,05            | 0,67                                   | 0,00                               | 0,05            |
| zakres         | 0,67                                 | 0,59                                   | 0,29                               | 32,62           | 0,44                                   | 0,26                               | 46,12           |
| suma           | 113,22                               | 110,01                                 | 9,65                               | 1091,10         | 114,75                                 | 8,22                               | 1002,23         |

Wartość średnia pomiarowa średniego stężenia metanu wynosi 0,90% CH<sub>4</sub>. Ten sam parametr obliczony dla prognozy 1 wynosi 0,87% CH<sub>4</sub>, a dla prognozy 2 0,91% CH<sub>4</sub>. Mediany obydwu prognoz są niższe. Różnica dla prognozy 1 wynosi – 0,4% CH<sub>4</sub>, a dla prognozy 2 – 0,01% CH<sub>4</sub>. Percentyl 0,75 dla danych pomiarowych wynosi 1,00% CH<sub>4</sub>, natomiast dla prognozy 1 jest o 0,03% CH<sub>4</sub> mniejszy, a dla prognozy 2 jest mniejszy o 0,02% CH<sub>4</sub>. Również percentyl 0,90 jest niższy dla wartości prognozowanych o 0,01% CH<sub>4</sub> dla prognozy 1 i 0,02% CH<sub>4</sub> dla prognozy 2.

Wartości maksymalne danych pomiarowych i prognozy 1 wynoszą 1,16% CH<sub>4</sub>, natomiast dla prognozy 2 wartość maksymalna jest niższa i wynosi 1,11% CH<sub>4</sub>.

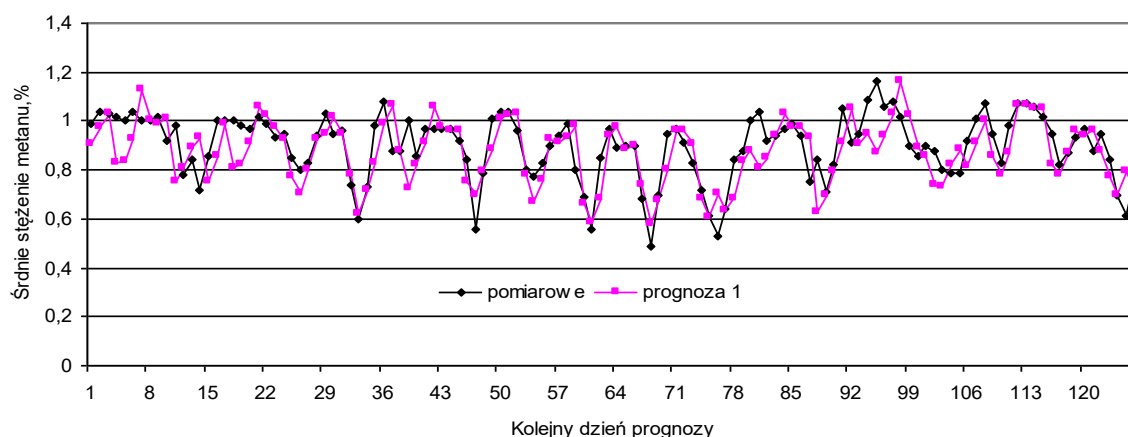
Obydwie prognozy posiadają mniejszy zakres niż dane pomiarowe. Wynosi on 0,59% CH<sub>4</sub> dla prognozy 1 i 0,44% CH<sub>4</sub> dla prognozy 2, a dla danych pomiarowych 0,67% CH<sub>4</sub>.

Błąd bezwzględny wartości średniej stężenia metanu obliczonej dla prognozy 1 wynosi 0,08% CH<sub>4</sub>, co stanowi około 8,6% wartości pomiarowej średniego stężenia metanu, natomiast błąd obliczony dla prognozy 2 wynosi 0,07% CH<sub>4</sub>, co stanowi około 8% wartości pomiarowej średniego stężenia metanu.

Suma błędów bezwzględnych prognozy 1 wynosi 9,65% CH<sub>4</sub>, a dla prognozy 2 8,22% CH<sub>4</sub>.

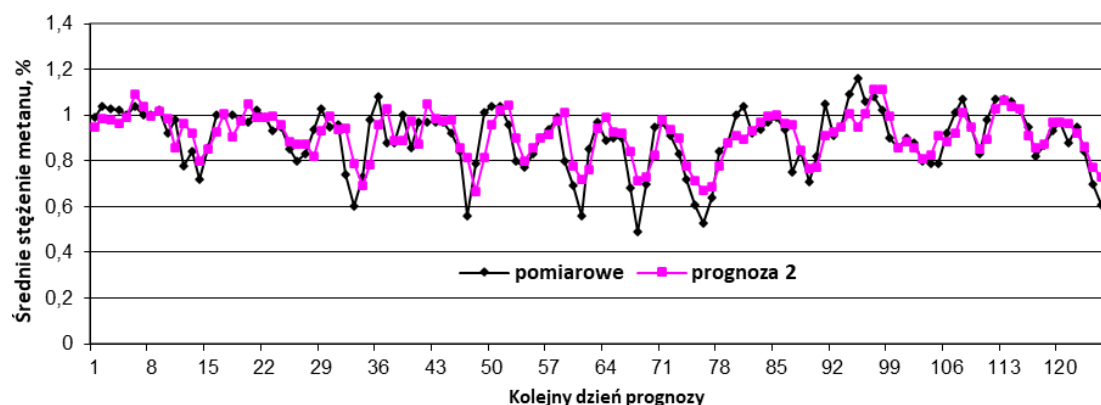
Średni błąd względny prognozy 1 wynosi 8,66%, natomiast prognozy 2 – 7,95%, czyli jest o 0,71% niższy.

Na rys. 6.17 do 6.24, przedstawiono materiał graficzny służący do porównania prognoz.



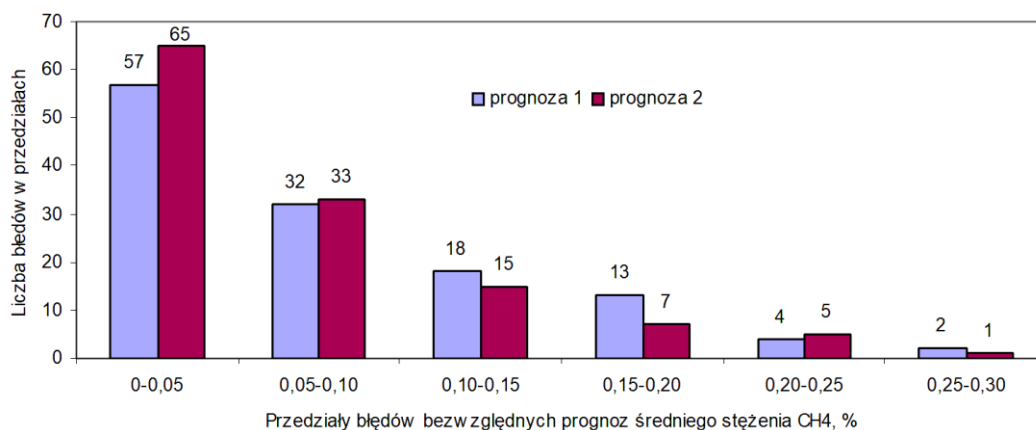
**Rys. 6.17 Wykres średnich stężeń metanu pomiarowych i prognozowanych metodą autoregresywną (prognoza 1)**

Źródło: opracowanie własne



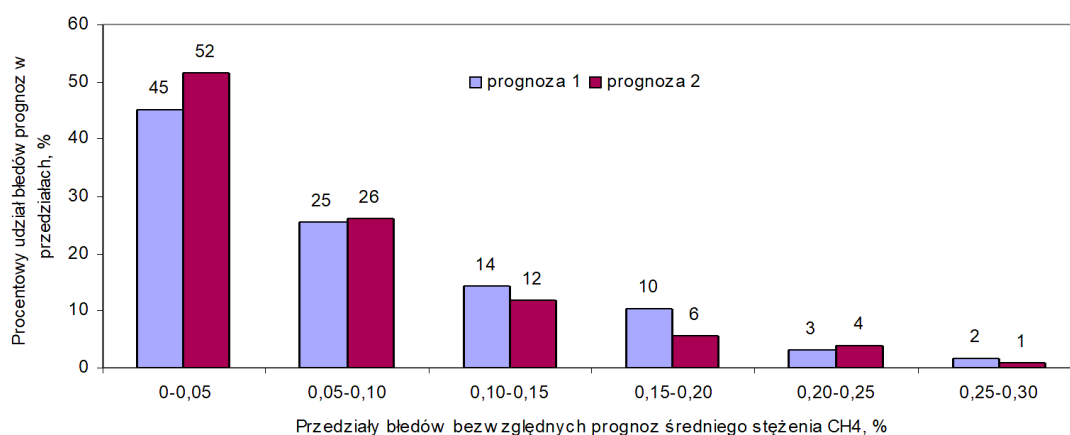
**Rys. 6.18 Wykres średnich stężeń metanu pomiarowych i prognozowanych metodą przyczynowo skutkową (prognoza 2)**

Źródło: opracowanie własne



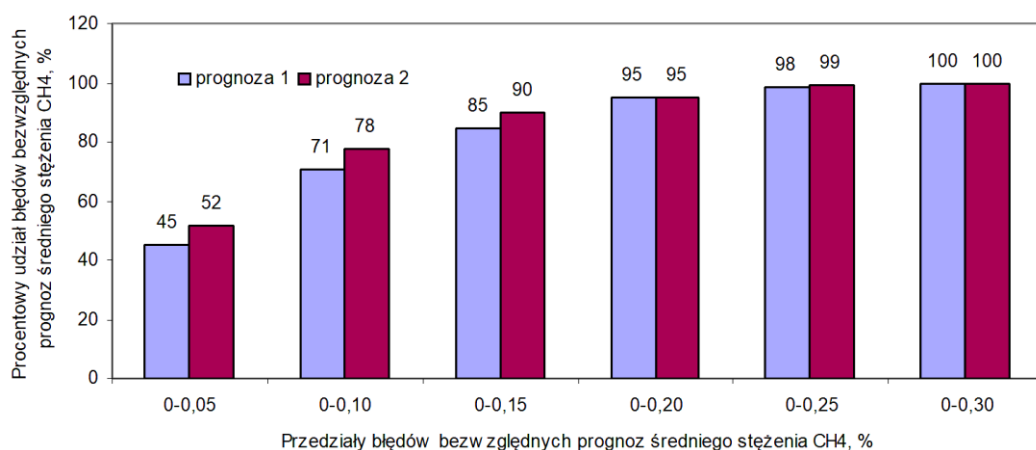
**Rys. 6.19 Porównanie liczebności błędów bezwzględnych średnich prognozowanych stężeń metanu**

Źródło: opracowanie własne



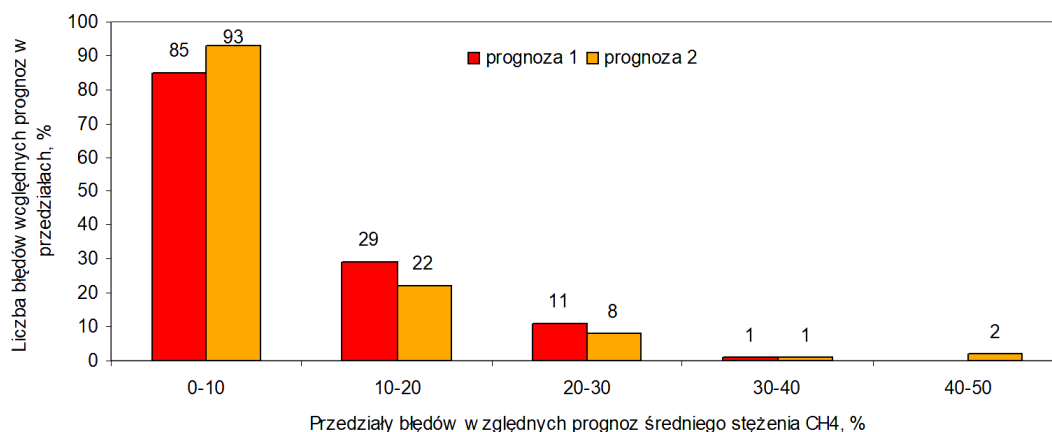
**Rys. 6.20 Porównanie procentowego udziału błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metanu**

Źródło: opracowanie własne



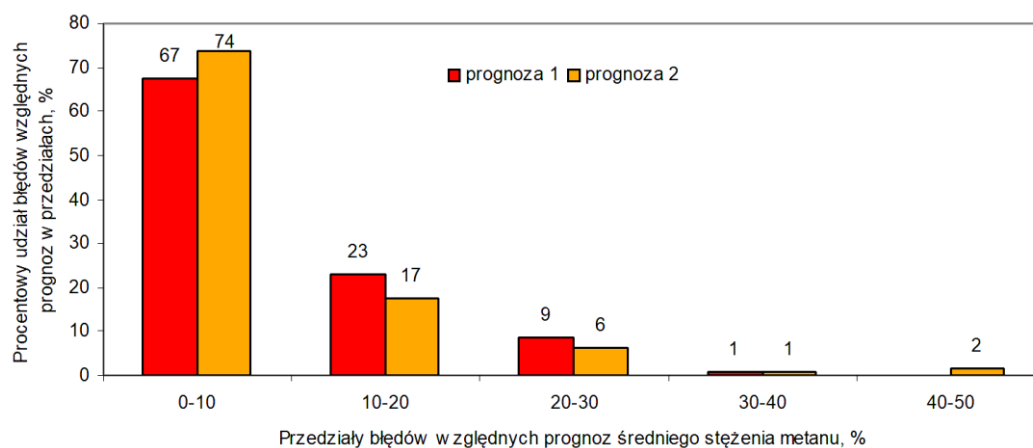
**Rys. 6.21 Porównanie procentowego udziału błędów bezwzględnych prognoz dla narastającej wielkości przedziału błędów**

Źródło: opracowanie własne



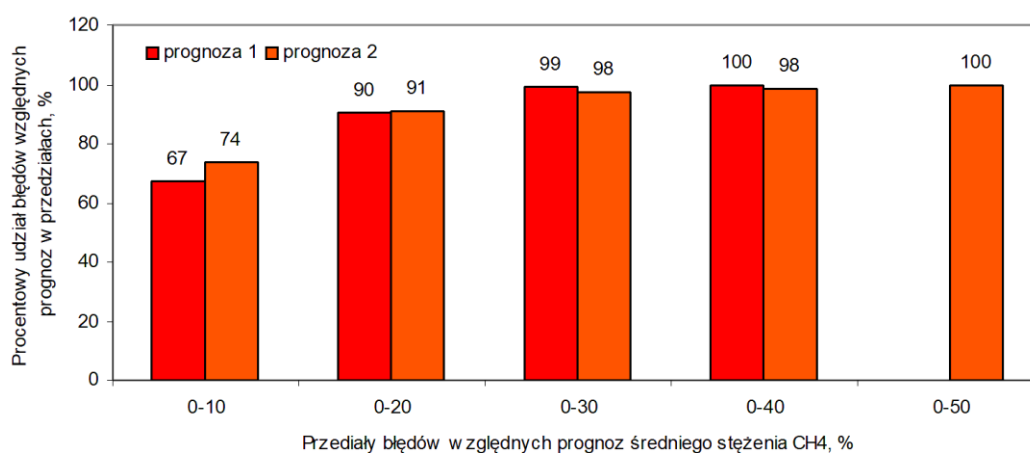
**Rys. 6.22 Porównanie liczebności błędów względnych średnich prognozowanych stężeń metanu**

Źródło: opracowanie własne



**Rys. 6.23 Porównanie procentowego udziału błędów względnych prognoz średnich stężeń metanu**

Źródło: opracowanie własne



**Rys. 6.24 Porównanie procentowego udziału błędów względnych prognoz dla narastającej wielkości przedziału błędów**

Źródło: opracowanie własne

Z analizy danych pomiarowych i parametrów statystycznych prognoz 1 i 2 wynika, że nieco dokładniejszą okazała się prognoza 2 czyli przyczynowo skutkowa.

Poniżej (tabela 6.8), przedstawiono dane statystyczne wynikające z pomiarów i prognoz 1 i 2 średniego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego ściany N-3 w pokładzie 403/1. Prognozy wykonano dla 157 kolejnych dni.

**Tabela 6.8**  
**Parametry statystyczne średniego stężenia pomiarowego metanu oraz prognoz 1 i 2**

| Parametr       | Stężenie pomiarowe % CH <sub>4</sub> | Stężenie prognoza 1, % CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny % CH <sub>4</sub> | Błąd względny % | Stężenie prognoza 2, % CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny % CH <sub>4</sub> | Błąd względny % |
|----------------|--------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------|-----------------|----------------------------------------|------------------------------------|-----------------|
| średnia        | 0,69                                 | 0,69                                   | 0,06                               | 9,76            | 0,67                                   | 0,07                               | 10,48           |
| mediana        | 0,70                                 | 0,71                                   | 0,05                               | 7,28            | 0,68                                   | 0,06                               | 8,01            |
| percentyl 0,75 | 0,82                                 | 0,81                                   | 0,09                               | 14,05           | 0,78                                   | 0,09                               | 14,10           |
| percentyl 0,90 | 0,92                                 | 0,86                                   | 0,14                               | 21,98           | 0,84                                   | 0,13                               | 21,60           |
| max            | 1,04                                 | 1,02                                   | 0,25                               | 50,20           | 1,02                                   | 0,26                               | 53,48           |
| min            | 0,20                                 | 0,21                                   | 0,00                               | 0,05            | 0,28                                   | 0,00                               | 0,07            |
| zakres         | 0,84                                 | 0,81                                   | 0,25                               | 50,15           | 0,74                                   | 0,26                               | 53,41           |
| suma           | 108,69                               | 108,21                                 | 9,76                               | 1532,34         | 104,49                                 | 10,42                              | 1645,81         |

Wartość średnia średniego stężenia metanu obliczona dla prognozy 1 wynosi 0,69% CH<sub>4</sub>, i jest równa średniej z pomiarów, natomiast obliczona dla prognozy 2 wynosi 0,67% CH<sub>4</sub>, czyli jest o 0,02% CH<sub>4</sub> niższa od średniej z pomiarów i prognozy 1.

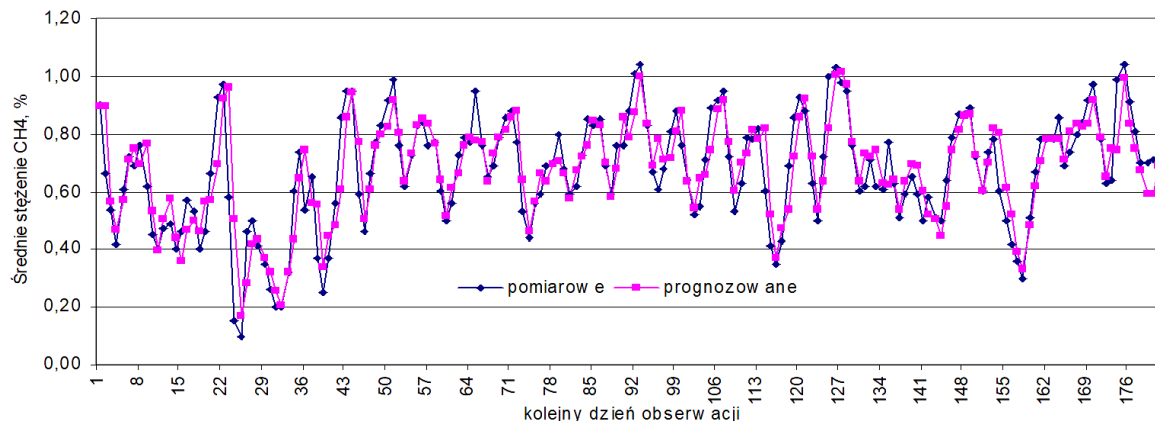
Percentyl 0,75 dla pomiarów wynosi 0,82% CH<sub>4</sub>, natomiast dla prognozy 1 jest o 0,01% CH<sub>4</sub> mniejszy, a dla prognozy 2 jest mniejszy o 0,04% CH<sub>4</sub>. Percentyl 0,90 dla prognozy 1 jest niższy od tego parametru dla pomiarów o 0,06% CH<sub>4</sub>, a dla prognozy 2 jest niższy o 0,08% CH<sub>4</sub>. Wartość maksymalna danych pomiarowych średniego stężenia metanu wynosi 1,04% CH<sub>4</sub>, natomiast dla prognoz 1 i 2 wynosi 1,02% CH<sub>4</sub>.

Zakres wartości pomiarowych średniego stężenia metanu wynosi 0,84% CH<sub>4</sub>, natomiast dla prognozy 1 wynosi 0,81% CH<sub>4</sub> a dla prognozy 2 0,74% CH<sub>4</sub>. A zatem przedział zmienności stężenia pomiarowego jest większy zarówno od przedziału zmienności prognozy 1 jak i prognozy 2. Prognozy 1i 2 zostały wykonane z pewnym niedomiarem, o czym świadczy fakt, że suma średnich stężeń metanu dla pomiarów wynosi 108,69% CH<sub>4</sub>, podczas gdy dla prognozy 1 suma ta wynosi 108,21% CH<sub>4</sub>, a dla prognozy 2 – 104,49% CH<sub>4</sub>. Średni błąd bezwzględny prognozy 1 wynosi 0,06% CH<sub>4</sub> a prognozy 2 – 0,07% CH<sub>4</sub>. Maksymalny błąd bezwzględny prognozy 1 wynosi 0,25% CH<sub>4</sub>, a dla prognozy 2 – 0,26% CH<sub>4</sub>, czyli różnią się jedynie o 0,01% CH<sub>4</sub>. Suma błędów bezwzględnych prognozy 1 wynosi 9,76% CH<sub>4</sub>, a dla prognozy 2 – 10,42% CH<sub>4</sub>. Średni błąd względny prognozy 1 wynosi 9,76%, a prognozy 2 – 10,48%, zaś maksymalne wartości błędów względnych wynoszą 50,20% dla prognozy 1 i 53,48% dla prognozy 2.

Suma błędów względnych prognozy 1 wynosi 1532,34, natomiast suma ta dla prognozy 2 jest równa 1645,81, czyli jest większa niż dla prognozy 1.

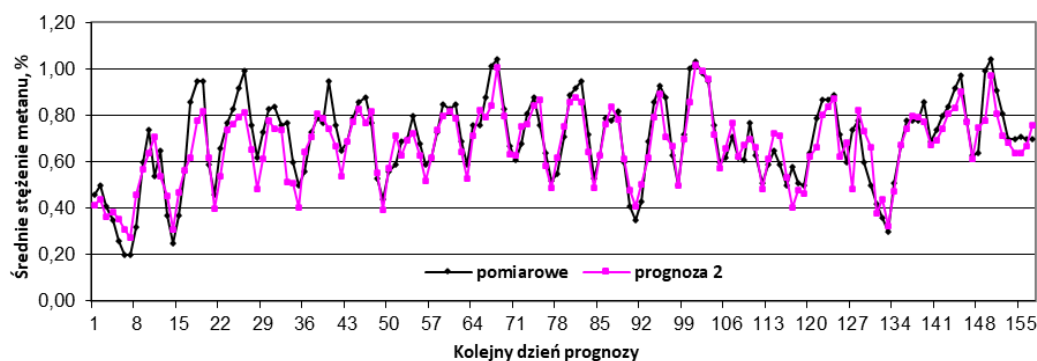
Przedstawiona analiza wykazała, że w rozpatrywanym przypadku prognozy 1 i 2 są bliskie sobie, przy czym dokładniejsza jest prognoza 1.

Na rysunkach od 6.25 do 6.32 przedstawiono wykresy średnich stężeń pomiarowych metanu oraz średnich stężeń prognozowanych.



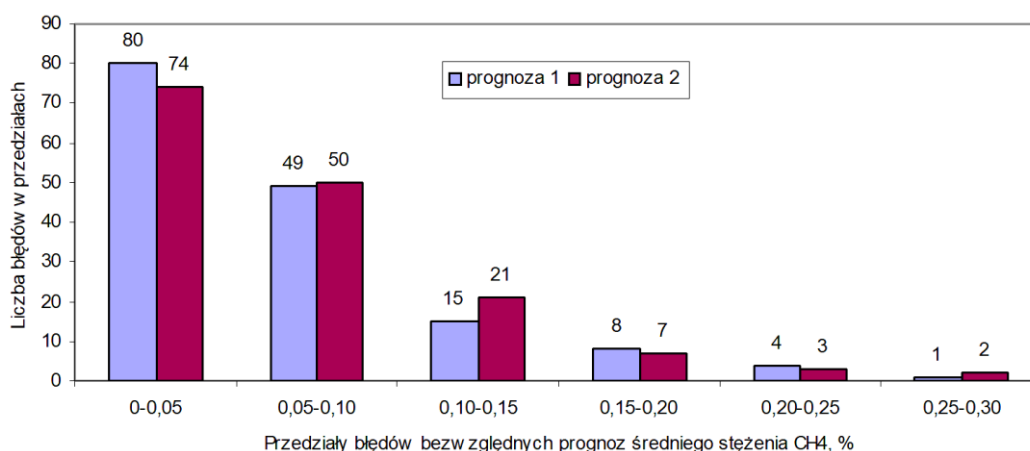
**Rys. 6.25 Wykres średnich stężeń metanu pomiarowych i prognozowanych metodą autoregresyjną**

Źródło: opracowanie własne



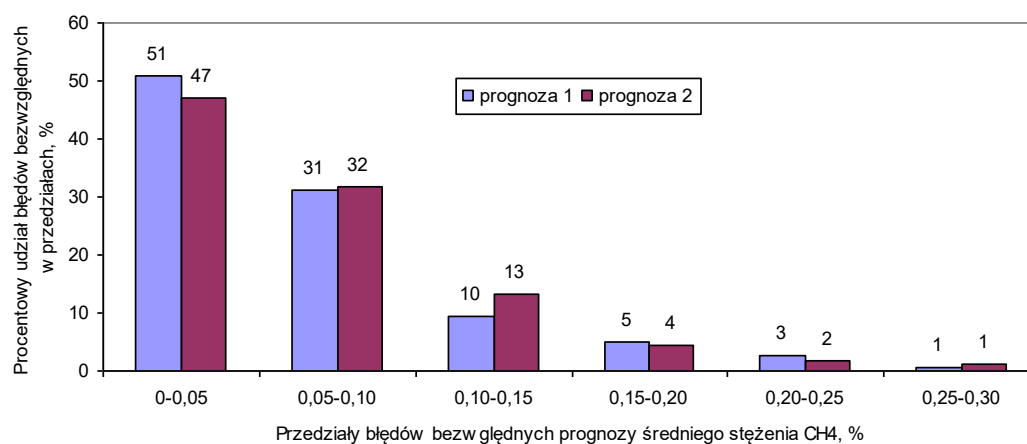
**Rys. 6. 26 Wykres średnich stężeń metanu pomiarowych i prognozowanych metodą przyczynowo skutkową**

Źródło: opracowanie własne



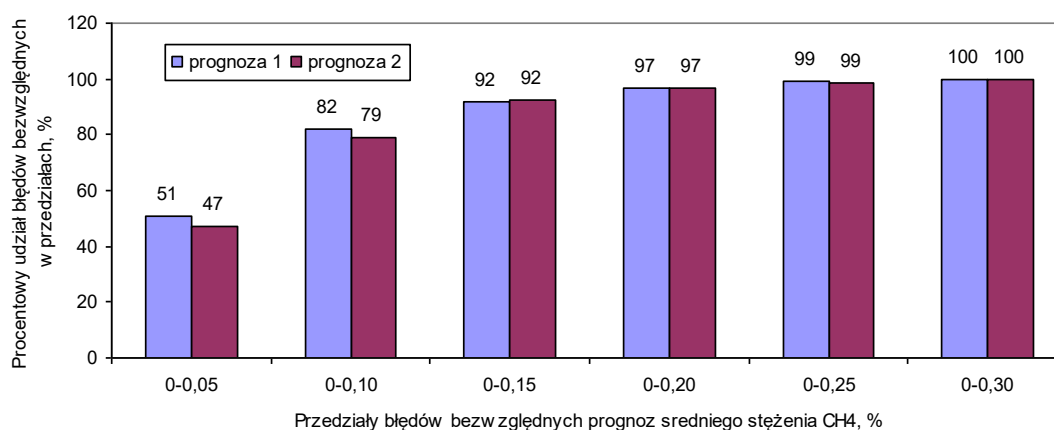
**Rys. 6.27 Porównanie liczebności błędów bezwzględnych średnich prognozowanych stężeń metanu**

Źródło: opracowanie własne



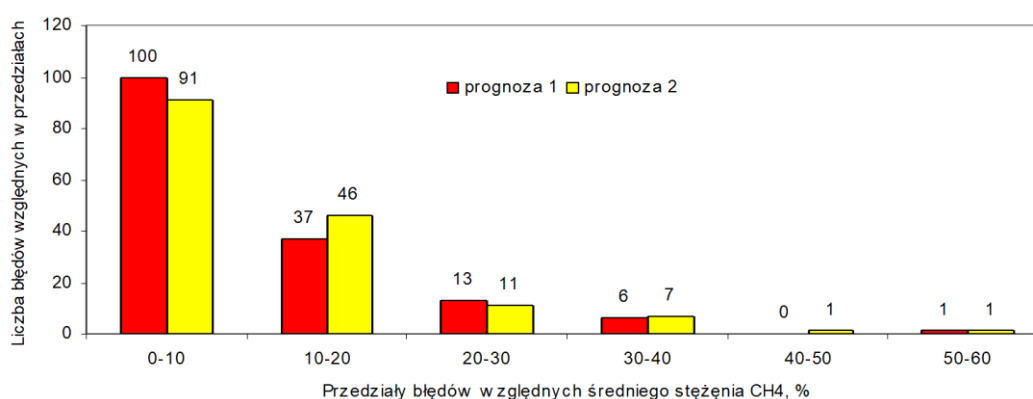
**Rys. 6.28 Porównanie procentowego udziału błędów bezwzględnych prognoz średnich stężeń metan**

Źródło: opracowanie własne



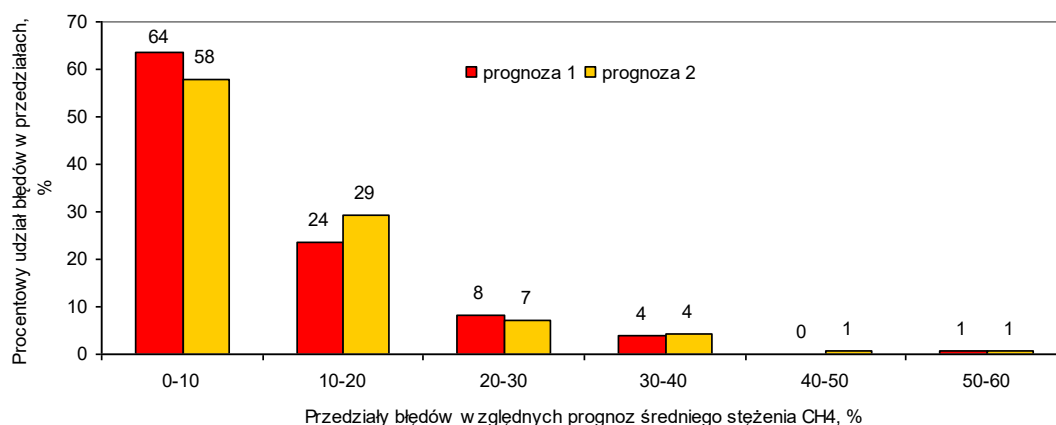
**Rys. 6.29 Porównanie procentowego udziału błędów bezwzględnych prognoz**

Źródło: opracowanie własne



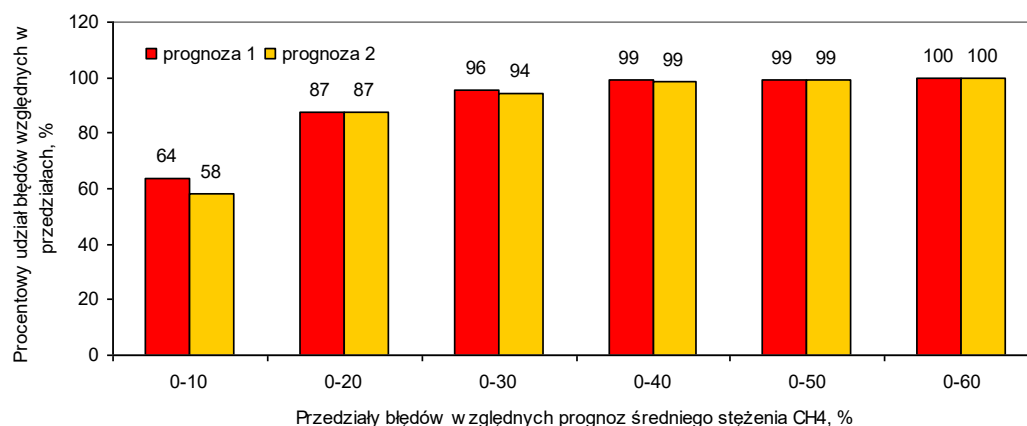
**Rys. 6.30 Porównanie liczebności błędów względnych średnich prognozowanych stężeń metanu**

Źródło: opracowanie własne



**Rys. 6.31 Porównanie procentowego udziału błędów w zględnych prognoz średnich stężeń metanu**

*Źródło: opracowanie własne*



**Rys. 6.32 Porównanie procentowego udziału błędów w zględnych**

*Źródło: opracowanie własne*

Na podstawie analizy treści rysunków od 6.25 do 6.32 można wysunąć stwierdzenie, że prognozy autoregresyjna (prognoza 1) i przyczynowo skutkowa (prognoza 2) są bardzo do siebie zbliżone.

## 6.4. Prognozy średniego stężenia metanu

W załączniku nr 1 przedstawiono zestawienie parametrów statystycznych prognoz średniego stężenia metanu dla dziesięciu ścian wykonanych metodą autoregresyjną. Spośród przedstawionych prognoz metoda ta jest najprostsza do wykonania, a jednocześnie wymaga jedynie znajomości średniego stężenia metanu z poprzedniej doby.

Oprócz parametrów statystycznych dotyczących wartości średnich stężenia pomiarowego i prognozowanego zawarto także parametry statystyczne błędów bezwzględnych i względnych. Załączone rysunki przedstawiają wykresy wartości pomiarowych i prognozowanych, położenie wartości pomiarowych średniego stężenia metanu względem przedziału, którego dolna granica wynosi 0,8 razy

średnie stężenie prognozowane, a górna granica 1,2 razy średnie stężenie prognozowane metanu, a także wykresy dotyczące błędów bezwzględnych i względnych przeprowadzonych prognoz. Dołączono także krótką analizę otrzymanych wyników.

W oparciu o dane zamieszczone w załączniku 1 sporządzono tabelę 6.9.

**Tabela 6.9**

**Zestawienie danych dotyczących podstawowych parametrów średniego stężenia metanu w przykładowych ścianach**

| Ściana,<br>pokład | Średnie stężenie pomiarowe<br>% CH <sub>4</sub> | Średnie stężenie prognozowane<br>% CH <sub>4</sub> | Liczba prognoz | Liczba średnich stężeń<br>pomiarowych w przedziale<br>prognozy | Procentowy udział śred. stężeń<br>w przedziale prognozy % | Liczba średnich stężeń<br>pomiarowych nad górną granicą<br>prognozy | Procentowy udział średnich<br>stężeń pomiarowych nad górną<br>granicą prognozy % |
|-------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 1                 | 2                                               | 3                                                  | 4              | 5                                                              | 6                                                         | 7                                                                   | 8                                                                                |
| N-6; 330/2;       | 0,67                                            | 0,67                                               | 257            | 221                                                            | 86,0                                                      | 11                                                                  | 4,3                                                                              |
| G-6; 412łg+łd     | 1,06                                            | 1,02                                               | 172            | 161                                                            | 93,6                                                      | 11                                                                  | 6,4                                                                              |
| B-1; 360/1        | 0,52                                            | 0,55                                               | 205            | 150                                                            | 73,0                                                      | 12                                                                  | 5,9                                                                              |
| W-4; 360/1        | 0,91                                            | 0,89                                               | 155            | 139                                                            | 89,7                                                      | 13                                                                  | 8,4                                                                              |
| N-3; 403/1        | 0,67                                            | 0,68                                               | 182            | 157                                                            | 86,3                                                      | 12                                                                  | 6,6                                                                              |
| A-32; 430/2       | 0,67                                            | 0,70                                               | 225            | 158                                                            | 70,2                                                      | 21                                                                  | 9,3                                                                              |
| E-4; 505/1        | 0,75                                            | 0,73                                               | 126            | 95                                                             | 75,4                                                      | 18                                                                  | 14,3                                                                             |
| G-6, 413/2        | 0,37                                            | 0,41                                               | 234            | 140                                                            | 59,8                                                      | 2                                                                   | 0,8                                                                              |
| W-5; 361          | 0,78                                            | 0,74                                               | 336            | 261                                                            | 77,7                                                      | 51                                                                  | 15,2                                                                             |
| N-4; 404/2        | 0,88                                            | 0,86                                               | 182            | 154                                                            | 84,6                                                      | 25                                                                  | 13,7                                                                             |

Pierwsza kolumna tabeli zawiera nazwy ścian i pokładów, w których były prowadzone prace wydobywcze.

Średnie wartości średnich stężeń pomiarowych metanu, obliczone dla całego okresu istnienia eksploatacji określoną ścianą, przedstawiono w kolumnie 2 tabeli 6.9. Wartości tych stężeń metanu zawarte są w przedziale od 0,37% CH<sub>4</sub> do 1,06% CH<sub>4</sub>, a trzy razy powtarza się wartość 0,67% CH<sub>4</sub>.

Średnie wartości prognozowanych średnich stężeń metanu przedstawiono w kolumnie 3 powyższej tabeli. Wartości te wahają się w przedziale od 0,41% CH<sub>4</sub> do 1,02% CH<sub>4</sub>. W pięciu przypadkach wartości prognozowane są wyższe od wartości pomiarowych średniego stężenia metanu, w jednym przypadku są równe sobie, a w pozostałych czterech są niższe niż wartości pomiarowe.

W materiale pomiarowym zauważalna jest duża zmienność liczby prognoz (kolumna 4). Najczęściej okres prognoz pokrywa się z całym okresem eksploatacji ścianą.

Najdłuższy okres obserwacji dotyczy ściany W-5 w pokładzie 361. Wynosi on 336 dni. Najkrótszy, całkowity okres eksploatacji ścianą, dotyczy ściany W-4 w pokładzie 360/1 i wynosi 155 dni.

Przyjęto, że zadowalający rezultat prognozy występuje wtedy, gdy średnie stężenie pomiarowe znajduje się w przedziale równym: wartość prognozowana średniego stężenia metanu plus/minus 20% tej wartości, czyli pomiędzy 80% a 120% wartości prognozowanej. Liczba prognoz, które spełniają ten warunek, jest zamieszczona dla każdej ściany w kolumnie 5 tabeli.

W kolumnie 6 tabeli umieszczono procentowy udział prognoz, których liczba znajduje się w kolumnie 5, w stosunku do całkowitej liczby prognoz, zawartej w kolumnie 4.

Z danych zawartych w kolumnie 6 wynika, że dla pięciu ścian ponad 80% wartości pomiarowych średniego stężenia metanu spełnia warunek przynależności do przedziału: wartość prognozowana plus/minus 20% wartości prognozowanej.

Najwyższy procent prognoz (93%) w omawianym przedziale stwierdzono dla ściany G-6 w pokładzie 412 łg+łd.

Najniższy procentowy udział prawidłowych prognoz, wynoszący 59,8%, zanotowano dla ściany G-6 w pokładzie 413/2.

Dla chybionych prognoz pomiarowe wartości stężenia metanu znajdują się poniżej dolnej granicy prognozy lub powyżej górnej granicy prognozy. Z punktu widzenia bezpieczeństwa pracy, bardziej istotne są pomiarowe wartości średniego stężenia metanu leżące ponad górną granicą prognoz. Ich liczbę zamieszczono w kolumnie 7, a ich procentowy udział w całkowitej liczbie pomiarów zapisano w kolumnie 8.

Z danych w kolumnie 7 wynika, że liczba średnich stężeń pomiarowych położonych ponad górną granicą prognozy zawiera się w przedziale od 2 do 51 przypadków. Najmniejsza liczba, dwa przypadki dotyczy ściany G-6 w pokładzie 413/2. Najwięcej przekroczeń górnej granicy prognozy (51) stwierdzono w ścianie W-5 w pokładzie 361. Pozostałe liczby przekroczeń górnej granicy prognozy zawierają się w granicach od 11 do 25.

Procentowo przekroczenia średniego pomiarowego stężenia metanu ponad górną granicę prognozy zawierają się w przedziale od 0,8% do 15,2% liczby wszystkich pomiarów w poszczególnych ścianach, przy czym jedynie dla trzech ścian odsetek ten jest większy od 10%.

Tabele od 6.10 do 6.19 zawierają parametry statystyczne stężeń pomiarowych i prognozowanych metodą autoregresyjną średniego stężenia metanu, a także błędów względnych i bezwzględnych prognoz średniego stężenia metanu w poszczególnych ścianach.

**Tabela 6.10**  
**Ściana N-6 w pokładzie 330/2**

| Parametr       | Stężenie pomiarowe<br>% CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd względny<br>% |
|----------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| średnia        | 0,67                                    | 0,67                                       | 0,07                                  | 11,39              |
| mediana        | 0,63                                    | 0,64                                       | 0,05                                  | 7,84               |
| percentyl 0,75 | 0,87                                    | 0,84                                       | 0,09                                  | 14,44              |
| percentyl 0,90 | 1,03                                    | 1,00                                       | 0,14                                  | 26,19              |
| max            | 1,23                                    | 1,31                                       | 0,48                                  | 149,75             |
| min            | 0,2                                     | 0,23                                       | 0,00                                  | 0,04               |
| zakres         | 1,03                                    | 1,08                                       | 0,48                                  | 149,71             |
| suma           | 173,12                                  | 172,92                                     | 16,91                                 | 2927,66            |

**Tabela 6.11**  
**Ściana G-6 pokład 412 łg+łd**

| Parametr       | Stężenie pomiarowe<br>% CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd względny<br>% |
|----------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| średnia        | 1,06                                    | 1,02                                       | 0,09                                  | 8,46               |
| mediana        | 1,03                                    | 1,01                                       | 0,07                                  | 7,21               |
| percentyl 0,75 | 1,29                                    | 1,23                                       | 0,11                                  | 11,59              |
| percentyl 0,90 | 1,50                                    | 1,37                                       | 0,20                                  | 16,94              |
| max            | 1,81                                    | 1,75                                       | 0,45                                  | 31,38              |
| min            | 0,45                                    | 0,45                                       | 0,00                                  | 0,12               |
| zakres         | 1,36                                    | 1,30                                       | 0,45                                  | 31,26              |
| suma           | 181,84                                  | 175,45                                     | 15,44                                 | 1454,39            |

**Tabela 6.12**  
**Ściana B-1 pokład 360/1**

| Parametr       | Stężenie pomiarowe<br>% CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd względny<br>% |
|----------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| średnia        | 0,52                                    | 0,55                                       | 0,07                                  | 15,53              |
| mediana        | 0,53                                    | 0,55                                       | 0,05                                  | 10,83              |
| percentyl 0,75 | 0,65                                    | 0,65                                       | 0,10                                  | 22,72              |
| percentyl 0,90 | 0,73                                    | 0,74                                       | 0,14                                  | 34,41              |
| max            | 0,84                                    | 0,84                                       | 0,30                                  | 143,55             |
| min            | 0,20                                    | 0,21                                       | 0,00                                  | 0,16               |
| zakres         | 0,64                                    | 0,63                                       | 0,30                                  | 143,39             |
| suma           | 105,82                                  | 111,74                                     | 13,55                                 | 3183,21            |

**Tabela 6.13**  
**Ściana W-4 pokład 360/1**

| Parametr       | Stężenie pomiarowe % CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane % CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny % CH <sub>4</sub> | Błąd względny % |
|----------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|-----------------|
| średnia        | 0,91                                 | 0,89                                    | 0,08                               | 8,58            |
| mediana        | 0,95                                 | 0,90                                    | 0,06                               | 6,50            |
| percentyl 0,75 | 1,00                                 | 0,98                                    | 0,12                               | 12,29           |
| percentyl 0,90 | 1,06                                 | 1,05                                    | 0,17                               | 19,18           |
| max            | 1,16                                 | 1,17                                    | 0,29                               | 32,67           |
| min            | 0,49                                 | 0,57                                    | 0,00                               | 0,05            |
| zakres         | 0,67                                 | 0,60                                    | 0,29                               | 32,62           |
| suma           | 141,82                               | 137,40                                  | 11,94                              | 1330,29         |

**Tabela 6.14**  
**Ściana N-3 pokład 403/1**

| Parametr       | Stężenie pomiarowe % CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane % CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny % CH <sub>4</sub> | Błąd względny % |
|----------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|-----------------|
| średnia        | 0,67                                 | 0,68                                    | 0,07                               | 12,01           |
| mediana        | 0,69                                 | 0,70                                    | 0,05                               | 7,96            |
| percentyl 0,75 | 0,80                                 | 0,80                                    | 0,09                               | 14,84           |
| percentyl 0,90 | 0,92                                 | 0,87                                    | 0,15                               | 23,72           |
| max            | 1,04                                 | 1,02                                    | 0,38                               | 236,84          |
| min            | 0,10                                 | 0,17                                    | 0,00                               | 0,05            |
| zakres         | 0,94                                 | 0,85                                    | 0,38                               | 236,79          |
| suma           | 122,63                               | 123,16                                  | 12,22                              | 2185,51         |

**Tabela 6.15**  
**Ściana A-2 pokład 430/2**

| Parametr       | Stężenie pomiarowe % CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane % CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny % CH <sub>4</sub> | Błąd względny % |
|----------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|-----------------|
| średnia        | 0,67                                 | 0,70                                    | 0,10                               | 17,03           |
| mediana        | 0,63                                 | 0,67                                    | 0,08                               | 11,94           |
| percentyl 0,75 | 0,80                                 | 0,82                                    | 0,15                               | 23,78           |
| percentyl 0,90 | 0,99                                 | 0,99                                    | 0,21                               | 39,80           |
| max            | 1,28                                 | 1,26                                    | 0,45                               | 82,61           |
| min            | 0,28                                 | 0,19                                    | 0,00                               | 0,06            |
| zakres         | 1,00                                 | 1,07                                    | 0,45                               | 82,55           |
| suma           | 150,02                               | 157,92                                  | 23,18                              | 3830,82         |

**Tabela 6.16**  
**Ściana E-4 pokład 505/1**

| Parametr       | Stężenie pomiarowe % CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane % CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny % CH <sub>4</sub> | Błąd względny % |
|----------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|-----------------|
| średnia        | 0,75                                 | 0,73                                    | 0,10                               | 14,05           |
| mediana        | 0,74                                 | 0,69                                    | 0,08                               | 11,28           |
| percentyl 0,75 | 0,87                                 | 0,84                                    | 0,15                               | 17,39           |
| percentyl 0,90 | 1,13                                 | 0,99                                    | 0,22                               | 31,14           |
| max            | 1,22                                 | 1,19                                    | 0,37                               | 51,43           |
| min            | 0,31                                 | 0,29                                    | 0,00                               | 0,23            |
| zakres         | 0,91                                 | 0,90                                    | 0,37                               | 51,20           |
| suma           | 94,85                                | 91,37                                   | 12,91                              | 1770,55         |

**Tabela 6.17**  
**Ściana G-6 pokład 413/2**

| Parametr       | Stężenie pomiarowe % CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane % CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny % CH <sub>4</sub> | Błąd względny % |
|----------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|-----------------|
| średnia        | 0,37                                 | 0,41                                    | 0,05                               | 15,89           |
| mediana        | 0,37                                 | 0,41                                    | 0,04                               | 10,42           |
| percentyl 0,75 | 0,41                                 | 0,45                                    | 0,08                               | 23,23           |
| percentyl 0,90 | 0,44                                 | 0,49                                    | 0,12                               | 38,06           |
| max            | 0,53                                 | 0,60                                    | 0,21                               | 77,64           |
| min            | 0,18                                 | 0,21                                    | 0,00                               | 0,16            |
| zakres         | 0,35                                 | 0,39                                    | 0,21                               | 77,48           |
| suma           | 85,51                                | 95,20                                   | 12,71                              | 3719,39         |

**Tabela 6.18**  
**Ściana W-5 pokład 361**

| Parametr       | Stężenie pomiarowe % CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane % CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny % CH <sub>4</sub> | Błąd względny % |
|----------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|-----------------|
| średnia        | 0,78                                 | 0,77                                    | 0,10                               | 12,73           |
| mediana        | 0,77                                 | 0,75                                    | 0,08                               | 10,14           |
| percentyl 0,75 | 0,92                                 | 0,90                                    | 0,14                               | 18,93           |
| percentyl 0,90 | 1,04                                 | 1,02                                    | 0,20                               | 26,22           |
| max            | 1,32                                 | 1,29                                    | 0,36                               | 45,25           |
| min            | 0,40                                 | 0,38                                    | 0,00                               | 0,09            |
| zakres         | 0,92                                 | 0,68                                    | 0,36                               | 45,16           |
| suma           | 262,01                               | 258,81                                  | 32,75                              | 4642,40         |

Tabela 6.19  
Ściana N-4 pokład 404/2

| Parametr       | Stężenie pomiarowe % CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane % CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny % CH <sub>4</sub> | Błąd względny % |
|----------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|-----------------|
| średnia        | 0,88                                 | 0,86                                    | 0,09                               | 10,29           |
| mediana        | 0,90                                 | 0,84                                    | 0,07                               | 8,62            |
| percentyl 0,75 | 1,01                                 | 0,99                                    | 0,12                               | 14,79           |
| percentyl 0,90 | 1,12                                 | 1,10                                    | 0,18                               | 22,09           |
| max            | 1,32                                 | 1,31                                    | 0,42                               | 43,12           |
| min            | 0,47                                 | 0,54                                    | 0,00                               | 0,06            |
| zakres         | 0,85                                 | 0,77                                    | 0,42                               | 43,06           |
| suma           | 160,63                               | 156,43                                  | 16,14                              | 1872,53         |

Średnie wartości pomiarowe stężenia metanu w jednym przypadku były równe średnim stężeniom prognozowanym, w pięciu przypadkach były wyższe od prognozowanych. Zatem w czterech przypadkach średnie wartości prognozowane były wyższe od pomiarowych.

Zakresy zmienności stężeń pomiarowych metanu w siedmiu przypadkach były wyższe niż dla stężeń prognozowanych. W pozostałych trzech przypadkach wyższe wartości zakresów zmienności odnosiły się do prognozowanych stężeń metanu.

Wartości średnie błędów bezwzględnych prognoz średniego stężenia metanu zawierają się w przedziale od 0,05% CH<sub>4</sub> do 0,10% CH<sub>4</sub>, przy czym wartości 0,07% CH<sub>4</sub> i 0,10% CH<sub>4</sub> powtarzają się trzykrotnie. Mediany błędów bezwzględnych należą do przedziału od 0,04% CH<sub>4</sub> do 0,08% CH<sub>4</sub>. Mediany o wartościach 0,05% CH<sub>4</sub> i 0,08% CH<sub>4</sub> powtarzają się trzykrotnie. Percentyle 0,90 zawierają się w granicach od 0,14% CH<sub>4</sub> do 0,22% CH<sub>4</sub>. Percentyle 0,90 o wartościach 0,14% CH<sub>4</sub> i 0,20% CH<sub>4</sub> powtarzają się dwukrotnie, a pozostałe jednokrotnie. Maksymalne wartości błędów bezwzględnych zawierają się w granicach od 0,21% CH<sub>4</sub> do 0,48% CH<sub>4</sub>. Żadna wartość się nie powtarza. Najniższa wartość zakresu błędów bezwzględnych wynosi 0,21% CH<sub>4</sub>, a najwyższa 0,48% CH<sub>4</sub>. Zbieżność wartości maksymalnych średniego stężenia metanu oraz wartości zakresów wynika z faktu, że we wszystkich ścianach minimalny błąd bezwzględny wynosił 0% CH<sub>4</sub>.

Średnie wartości błędów względnych tworzą przedział od 10,29% do 17,03%, a mediany tych błędów zawierają się w przedziale od 7,21% do 11,28%.

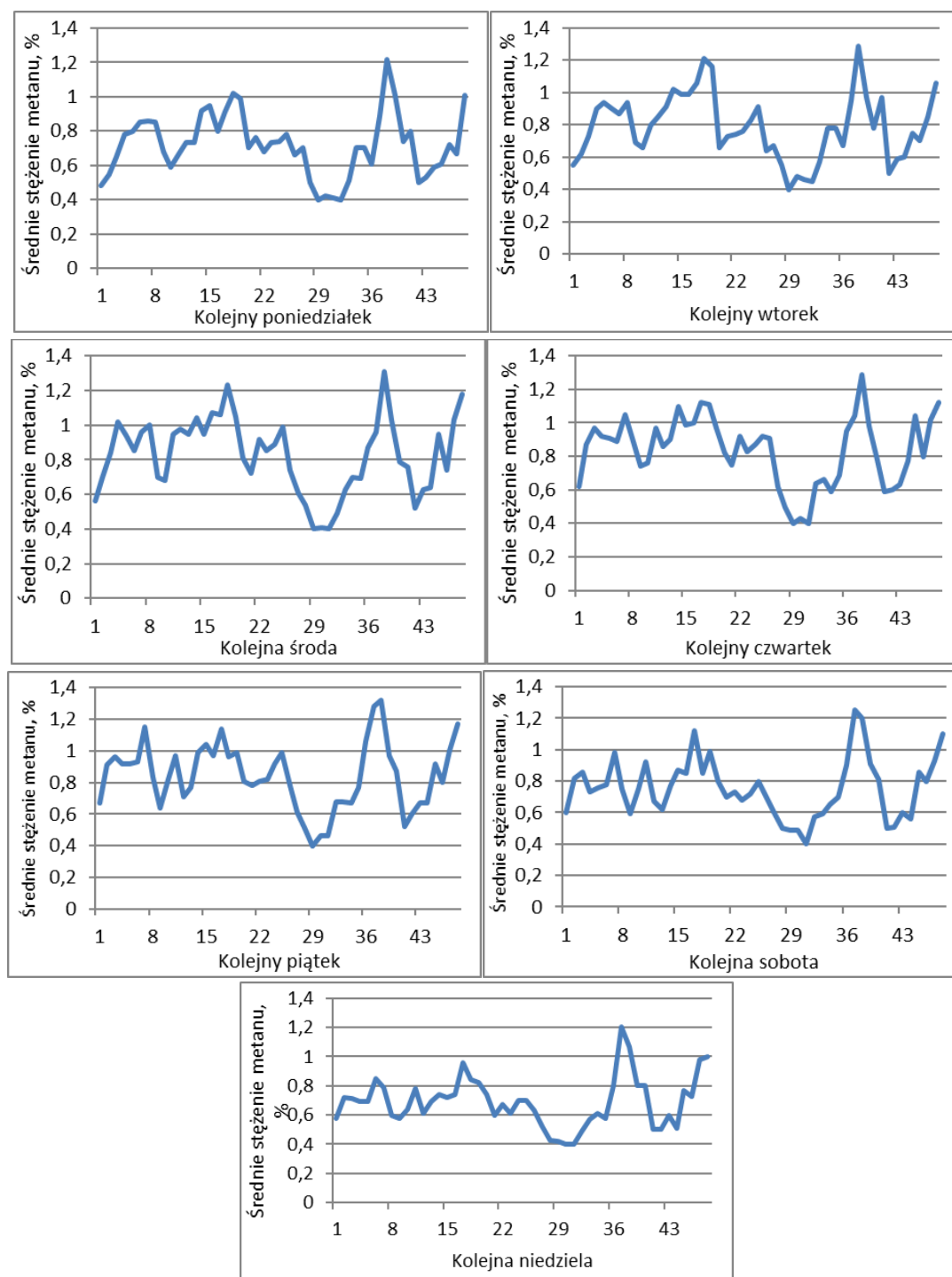
Percentyle 0,90 błędów względnych należą do przedziału od 16,94% do 39,80%.

Maksymalne błędy względne tworzą bardzo szeroki przedział od 32,67% do 236,84%. Zakresy błędów względnych bardzo mało się różnią od wartości maksymalnych. Wynika to z bardzo małych minimów błędów względnych, wahających się od 0,04% do 0,23%.

Przeprowadzone analizy wykazały, że istnieje bardzo duża zmienność metanowości wentylacyjnej. Dotyczy to zarówno zmian długookresowych jak i

krótkookresowych. Wykresy średniego stężenia metanu pomiarowego i prognozowanego dla każdej z analizowanych ścian, a także położenie wartości średnich stężeń pomiarowych względem dolnej i górnej granicy prognozy przedstawiono graficznie w załączniku 1.

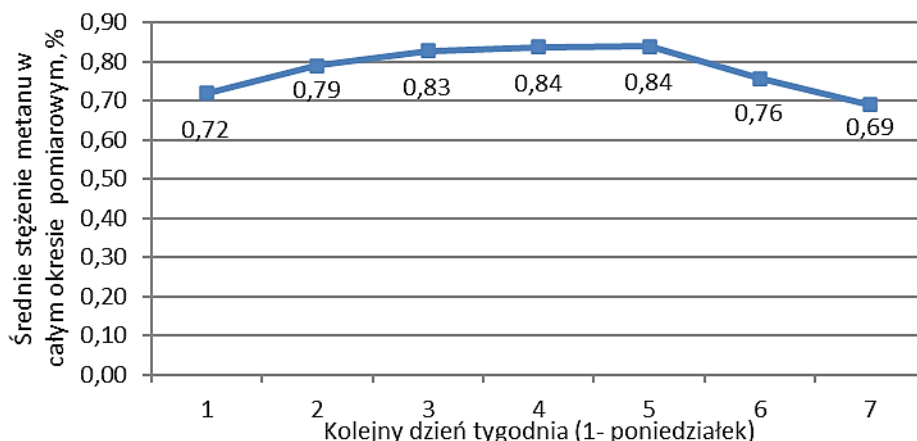
Na rysunku 6.33 przedstawiono kształtowanie się średniego stężenia metanu w poszczególne dni tygodnia w okresie 48 tygodni w ścianie W-5 w pokładzie 361.



**Rys. 6.33** Przykładowe zmiany stężenia metanu w poszczególne dni tygodnia

Źródło: opracowanie własne

Zmiany stężenia metanu jakościowo są do siebie bardzo zbliżone. Natomiast widoczne są różnice ilościowe w poszczególnych dniach należących do określonego tygodnia. W przedstawionym przypadku stężenie metanu wykazuje znaczne wahania związane z czasem eksploatacji ścianą.



**Rys. 6.34 Uśredniony rozkład średniego stężenia metanu w poszczególnych dniach tygodnia**

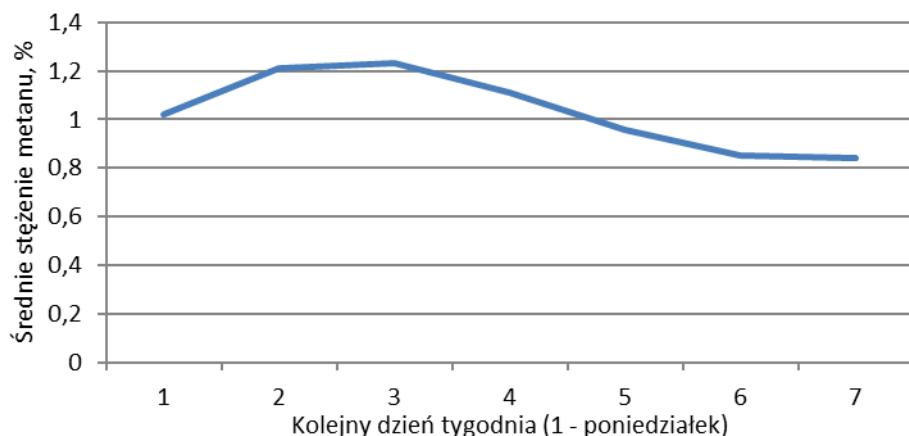
*Źródło: opracowanie własne*

Rysunek 6.34 przedstawia uśrednione wartości średniego stężenia metanu w poszczególnych dniach tygodnia (od poniedziałku do niedzieli) w całym okresie eksploatacji ścianą. Najniższą uśrednioną wartość średniego stężenia metanu uzyskano dla niedzieli (0,69%  $\text{CH}_4$ ). Jest to oczywiste z uwagi na fakt, że niedziela jest dniem wolnym od pracy, z nielicznymi wyjątkami.

Wzrost średniego stężenia metanu następował od poniedziałku do czwartku. W czwartek i piątek uśrednione stężenie metanu wynosiło 0,84%  $\text{CH}_4$ . Stężenie malało w następnych dwóch dniach.

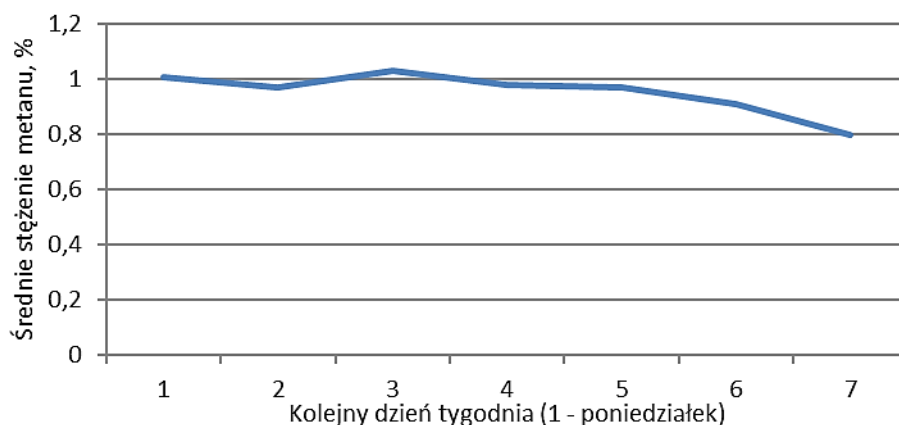
Oczywiście, takiego jak na rysunku 6.34 rozkładu średniego stężenia metanu można spodziewać się jedynie biorąc pod uwagę pomiary w dłuższym okresie czasu.

Na rysunkach 6.35 i 6.36 przedstawiono średnie stężenie metanu w losowo wybranych tygodniach.



**Rys. 6.35 Przykładowy rozkład średniego stężenia metanu**

*Źródło: opracowanie własne*



**Rys. 6.36 Przykładowy rozkład średniego stężenia metanu**

*Źródło: opracowanie własne*

Przedstawione na rysunkach 6.35 i 6.36 rozkłady średnich wartości stężenia metanu w wybranych losowo tygodniach znacznie odbiegają od rozkładu dotyczącego uśrednionych wartości, przedstawionego na rysunku 6.34. Wpływ na kształtowanie się rozkładu stężenia metanu w danym tygodniu ma wielkość wydobywania w poszczególne dni tygodnia, wydobywanie w poprzednim tygodniu (w szczególności w piątki, soboty i niedziele), metanonośność pokładu w strefie urabiania, dopływ metanu z warstw stropowych i spągowych, intensywność przewietrzania ścian, system przewietrzania i inne, mniej znaczące czynniki. Część z wymienionych czynników kształtowana jest bezpośrednio przez górników np. intensywność i równomierność prac wydobywczych. Jednak głównymi czynnikami kształtującymi zagrożenie metanowe w ścianach są warunki naturalne w części górotworu, w której jest prowadzone wydobywanie. Przeprowadzone w kopalniach oznaczenia metanonośności wykazały, że nawet w obrębie jednego pola wybierkowego może być ona bardzo zmienna.

## 6.5 Prognozy maksymalnego stężenia metanu

Wartości średnie stężenia metanu w określonym dniu są obliczane jako średnie ważone na podstawie zanotowanych wartości stężenia w czasie 24 godzin. Inaczej jest natomiast ze stężeniami maksymalnymi. Czas trwania maksymalnej wartości stężenia może trwać od 1 sekundy do 24 godzin. Oczywiście na całkowity okres istnienia określonej wartości stężenia maksymalnego w danej dobie mogło się składać kilka przedziałów czasowych lub tylko jeden. Wynikiem działania programu PROGNET dla określonego dwudziestoczworgodzinnego okresu są następujące dane:

- data,
- maksymalne stężenia metanu, wartości średnie, minimalne i maksymalne,

- czasy trwania stężeń metanu w przedziałach zmieniających się o 0,1% CH<sub>4</sub> od 0% CH<sub>4</sub> do 1,9% CH<sub>4</sub> oraz w jednym przedziale zawierającym czas występowania stężenia 2% i powyżej tej wartości,
- liczba zmian stężenia metanu o wartość niemniejszą niż 0,1%.

Tabela 6.20 zawiera przykłady sumarycznych czasów istnienia określonego stężenia metanu w piętnastu następujących po sobie dniach, przy czym dzień pierwszy to niedziela.

**Tabela 6.20**

**Zestawienie czasów występowania określonych wartości stężenia metanu  
w następujących po sobie piętnastu dniach**

| Stężenie metanu | 0,4%  | 0,5%  | 0,6%  | 0,7%  | 0,8%  | 0,9%  | 1,0%  | 1,1%  | 1,2% | 1,3% |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| Dzień 1         | 0     | 38009 | 48391 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    |
| Dzień 2         | 828   | 30832 | 34394 | 18869 | 1477  | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    |
| Dzień 3         | 2     | 0     | 17259 | 29726 | 31144 | 8269  | 0     | 0     | 0    | 0    |
| Dzień 4         | 0     | 0     | 9872  | 7949  | 35836 | 27540 | 5203  | 0     | 0    | 0    |
| Dzień 5         | 0     | 0     | 0     | 4707  | 26079 | 37212 | 15178 | 3224  | 0    | 0    |
| Dzień 6         | 0     | 0     | 0     | 170   | 17988 | 32145 | 30671 | 4697  | 729  | 0    |
| Dzień 7         | 0     | 2881  | 29043 | 14608 | 30456 | 5317  | 4095  | 0     | 0    | 0    |
| Dzień 8         | 16948 | 69111 | 341   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    |
| Dzień 9         | 8424  | 14434 | 25346 | 26954 | 10661 | 581   | 0     | 0     | 0    | 0    |
| Dzień 10        | 0     | 316   | 13144 | 14074 | 33890 | 21847 | 3032  | 97    | 0    | 0    |
| Dzień 11        | 0     | 0     | 0     | 0     | 2182  | 11965 | 47458 | 22560 | 1940 | 295  |
| Dzień 12        | 0     | 0     | 0     | 294   | 21792 | 13012 | 22005 | 26255 | 3042 | 0    |
| Dzień 13        | 0     | 0     | 0     | 4882  | 20128 | 27139 | 25969 | 8209  | 73   | 0    |
| Dzień 14        | 0     | 0     | 5450  | 47702 | 23871 | 5681  | 3397  | 299   | 0    | 0    |
| Dzień 15        | 0     | 18063 | 61957 | 663   | 5717  | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    |

W poszczególnych pionowych rubrykach zanotowano czasy trwania (w sekundach) określonych w pierwszym wierszu tabeli stężeń metanu. Ostatnia liczba różna od zera dotycząca określonego dnia zawiera czas występowania maksymalnego stężenia metanu w danym dniu, a wartość stężenia jest podana w pierwszym wierszu danej rubryki. Przykładowo maksymalna wartość stężenia metanu w czwartym dniu wynosi 1,0%, a sumaryczny czas trwania tego stężenia wynosił 5203 sekundy. Najniższe stężenie metanu w tabeli wynosi 0,4%. Oczywiście czasy występowania stężenia metanu o wartościach niższych niż 0,4% CH<sub>4</sub> były zerowe w każdym z przykładowo przedstawionych dni.

Analizując powyższy krótki przedział czasu eksploatacji ścianą zauważa się, że występuje bardzo duża różnica pomiędzy czasami istnienia maksymalnych stężeń metanu w poszczególnych dniach jak również pomiędzy wartościami maksymalnych stężeń metanu. Przykładowo najmniejsza wartość maksymalnego stężenia metanu w analizowanych piętnastu dniach wystąpiła w pierwszym oraz ósmym dniu zawartym w tabeli i wynosiła 0,6% CH<sub>4</sub>. Sumaryczny czas występowania stężenia metanu o takiej wartości wynosił w pierwszym dniu 48391 sekund, natomiast w ósmym – 341 sekund.

Najwyższe stężenie metanu, wynoszące 1,3%, wystąpiło w dniu 11, a jego sumaryczny czas trwania wynosił 295 sekund. Natomiast najkrótszy czas występowania maksymalnego stężenia metanu w analizowanym okresie wynosił 73 sekundy (dzień 13), przy czym maksymalne stężenie metanu było równe 1,2%.

Duża zmienność maksymalnego stężenia metanu znacznie ogranicza możliwość jego dokładnej prognozy. Z tego względu założono, że dla celów praktycznych górna granica prognozy będzie podnoszona do wartości powiększonej o 30% od wyznaczonej za pomocą wzorów prognostycznych dotyczących poszczególnych dni tygodnia (górna granica prognozy = 1,3 razy prognoza stężenia maksymalnego na dany dzień).

W tabeli 6.21 zawarto informacje odnośnie uśrednionych wartości maksymalnego stężenia pomiarowego i prognozowanego, liczby prognoz oraz liczby przypadków wystąpienia maksymalnego stężenia o wartości wyższej niż założona górna granica prawidłowej prognozy i procentowy udział chybionych prognoz w całkowitej liczbie prognoz wykonanych dla danej ściany.

Pod pojęciem „uśrednione maksymalne stężenie metanu” należy rozumieć średnią arytmetyczną z maksymalnych stężeń w daniach objętych pomiarami, których liczba podana jest w rubryce 4 tabeli 6.21. Analogicznie „uśrednione maksymalne stężenie prognozowane” jest średnią arytmetyczną prognozowanych maksymalnych stężeń metanu.

**Tabela 6.21**

**Parametry charakteryzujące maksymalne pomiarowe i prognozowane stężenia metanu**

| Ściana, pokład | Uśrednione maksymalne stężenie pomiarowe % CH <sub>4</sub> | Uśrednione maksymalne stężenie prognozowane % CH <sub>4</sub> | Liczba prognoz | Liczba maksym. stężeń pomiarowych nad górną granicą prognozy | Udział maksym. stężeń nad górną granicą prognozy % |
|----------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 1              | 2                                                          | 3                                                             | 4              | 5                                                            | 6                                                  |
| N-6; 330/2     | 0,9                                                        | 0,9                                                           | 255            | 0                                                            | 0                                                  |
| G-6; 412łg+łd  | 1,3                                                        | 1,3                                                           | 172            | 0                                                            | 0                                                  |
| B-1; 360/1     | 0,8                                                        | 0,7                                                           | 205            | 17                                                           | 8,3                                                |
| W-4; 360/1     | 1,1                                                        | 1,1                                                           | 155            | 7                                                            | 4,5                                                |
| N-3; 403/1     | 0,9                                                        | 0,9                                                           | 182            | 1                                                            | 0,5                                                |
| A-32; 430/2    | 0,9                                                        | 0,9                                                           | 225            | 19                                                           | 8,4                                                |
| E-4; 505/1     | 0,9                                                        | 1,0                                                           | 126            | 1                                                            | 0,8                                                |
| G-6, 413/2     | 0,5                                                        | 0,6                                                           | 234            | 2                                                            | 0,9                                                |
| W-5;361        | 0,9                                                        | 1,0                                                           | 336            | 3                                                            | 0,9                                                |
| N-4; 404/2     | 1,17                                                       | 1,14                                                          | 182            | 10                                                           | 5,5                                                |

W dwóch ścianach pomiarowe wartości maksymalne stężenia metanu nie przekroczyły górnej granicy prognozy (ściany: N-6 w pokładzie 330/2 i G-6 w pokładzie 412łg+łd), w pięciu ścianach wystąpiło od dwóch do siedmiu przekroczeń. Najwyższa liczba przekroczeń wystąpiła w ścianie A-32 w pokładzie 430/2 – 19 przekroczeń, co stanowi 8,4% wszystkich prognoz. W sześciu ścianach procentowy

udział dni, w których nastąpiło przekroczenie górnej granicy prognozy był mniejszy niż 1%.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że przyjęcie trzydziestoprocentowego przedziału ponad wartość prognozowaną maksymalnego stężenia metanu pozwoli na łatwiejszą ocenę prawdopodobieństwa przekroczenia dopuszczalnego stężenia metanu.

Taka ocena może mieć wpływ na decyzje odnośnie wielkości wydobywania w określonej dobie, aby jednocześnie sprostać wymogom bezpieczeństwa i ekonomii eksploatacji.

Przekroczenie dopuszczalnej wartości stężenia metanu powoduje wyłączenie prądu elektrycznego w rejonie ściany. Stężenie metanu powyżej dopuszczalnego poziomu może trwać od kilku sekund do kilkunastu godzin. Ponowne włączenie prądu następuje po obniżeniu stężenia metanu w powietrzu wentylacyjnym do wartości niższych niż wartość dopuszczalna. Na wylocie z przyścianowego wyrobiska wentylacyjnego dopuszczalna wartość stężenia metanu wynosi 1,5%. Natomiast w rejonie wylotu ze ściany dopuszczalne stężenie wynosi 2%, jednak często jest obniżane przez służby wentylacyjne również do 1,5%. Po przekroczeniu stężenia dopuszczalnego ponowne włączenie prądu elektrycznego, a zatem i ponowne prowadzenie wydobywania, następuje dopiero po obniżeniu się stężenia metanu dość znacznie poniżej dopuszczalnej wartości, gdyż w przeciwnym przypadku dochodziłoby do ponownego przekroczenia jego wartości dopuszczalnej.

W tabelach od 6.22 do 6.31 przedstawiono parametry statystyczne dotyczące stężeń pomiarowego i prognozowanego oraz błędów bezwzględnych i względnych przeprowadzonych prognoz.

W wierszu „suma” znajdują się sumy maksymalnych stężeń pomiarowych i prognozowanych, a także sumy wartości błędów bezwzględnych i względnych przeprowadzonych prognoz obliczone dla całego okresu obserwacji.

**Tabela 6.22**

**Parametry statystyczne dotyczące maksymalnego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego ściany N-6 w pokładzie 330/2**

| Parametr       | Stężenie pomiarowe<br>% CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd względny<br>% |
|----------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| średnia        | 0,9                                     | 0,9                                        | 0,1                                   | 18,1               |
| mediana        | 0,8                                     | 0,8                                        | 0,1                                   | 15,0               |
| percentyl 0,75 | 1,2                                     | 1,1                                        | 0,2                                   | 25,2               |
| percentyl 0,90 | 1,3                                     | 1,3                                        | 0,2                                   | 37,6               |
| min            | 0,3                                     | 0,3                                        | 0,0                                   | 0,3                |
| max            | 1,5                                     | 1,6                                        | 0,7                                   | 150,1              |
| zakres         | 1,2                                     | 1,3                                        | 0,7                                   | 149,8              |
| suma           | 219,3                                   | 223,5                                      | 33,0                                  | 4607,3             |

**Tabela 6.23**

*Parametry statystyczne dotyczące maksymalnego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego ściany G-6 w pokładzie 412 łg+łd*

| Parametr       | Stężenie pomiarowe<br>% CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd względny<br>% |
|----------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| średnia        | 1,3                                     | 1,3                                        | 0,1                                   | 12,3               |
| mediana        | 1,2                                     | 1,3                                        | 0,1                                   | 10,4               |
| percentyl 0,75 | 1,5                                     | 1,6                                        | 0,2                                   | 16,1               |
| percentyl 0,90 | 1,8                                     | 1,8                                        | 0,3                                   | 23,4               |
| max            | 1,9                                     | 2,2                                        | 0,5                                   | 52,2               |
| min            | 0,5                                     | 0,6                                        | 0,0                                   | 0,0                |
| zakres         | 1,4                                     | 1,6                                        | 0,5                                   | 52,0               |
| suma           | 214,80                                  | 226,5                                      | 24,9                                  | 2107,1             |

**Tabela 6.24**

*Parametry statystyczne dotyczące maksymalnego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego ściany B-1 w pokładzie 360/1*

| Parametr     | Stężenie pomiarowe<br>% CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd względny<br>% |
|--------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| średnia      | 0,8                                     | 0,7                                        | 0,1                                   | 18,9               |
| mediana      | 0,9                                     | 0,8                                        | 0,1                                   | 15,1               |
| percentyl 75 | 1,0                                     | 0,9                                        | 0,2                                   | 23,5               |
| percentyl 90 | 1,1                                     | 1,0                                        | 0,3                                   | 35,3               |
| max          | 1,4                                     | 1,1                                        | 0,6                                   | 140,4              |
| min          | 0,2                                     | 0,3                                        | 0,0                                   | 0,1                |
| zakres       | 1,2                                     | 0,8                                        | 0,6                                   | 140,3              |
| suma         | 163,2                                   | 151,1                                      | 27,6                                  | 3875,2             |

**Tabela 6.25**

*Parametry statystyczne dotyczące maksymalnego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego ściany W-4 w pokładzie 360/1*

| Parametr       | Stężenie pomiarowe<br>% CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd względny<br>% |
|----------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| średnia        | 1,1                                     | 1,1                                        | 0,2                                   | 25,8               |
| mediana        | 1,1                                     | 1,2                                        | 0,2                                   | 25,9               |
| percentyl 0,75 | 1,2                                     | 1,3                                        | 0,3                                   | 35,4               |
| percentyl 0,90 | 1,3                                     | 1,4                                        | 0,4                                   | 45,5               |
| max            | 1,7                                     | 1,6                                        | 0,5                                   | 75,2               |
| min            | 0,6                                     | 0,7                                        | 0,0                                   | 0,0                |
| zakres         | 1,1                                     | 0,9                                        | 0,5                                   | 75,2               |
| suma           | 170,0                                   | 177,0                                      | 35,8                                  | 3996,0             |

**Tabela 6.26**  
**Parametry statystyczne dotyczące maksymalnego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego ściany N-3 w pokładzie 403/1**

| Parametr     | Stężenie pomiarowe<br>% CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd względny<br>% |
|--------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| średnia      | 0,9                                     | 0,9                                        | 0,1                                   | 16,3               |
| mediana      | 0,9                                     | 0,9                                        | 0,1                                   | 13,9               |
| percentyl 75 | 1,0                                     | 1,1                                        | 0,2                                   | 20,8               |
| percentyl 90 | 1,2                                     | 1,1                                        | 0,2                                   | 32,4               |
| max          | 1,4                                     | 1,3                                        | 0,5                                   | 125,6              |
| min          | 0,1                                     | 0,2                                        | 0,0                                   | 0,0                |
| zakres       | 1,3                                     | 1,1                                        | 0,5                                   | 125,6              |
| suma         | 156,9                                   | 161,8                                      | 22,4                                  | 2960,9             |

**Tabela 6.27**  
**Parametry statystyczne dotyczące maksymalnego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego ściany A-32 w pokładzie 430/2**

| Parametr     | Stężenie pomiarowe<br>% CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd względny<br>% |
|--------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| średnia      | 0,9                                     | 0,9                                        | 0,1                                   | 17,0               |
| mediana      | 0,8                                     | 0,9                                        | 0,1                                   | 13,2               |
| percentyl 75 | 1,1                                     | 1,0                                        | 0,2                                   | 23,5               |
| percentyl 90 | 1,4                                     | 1,2                                        | 0,3                                   | 35,1               |
| max          | 1,9                                     | 1,6                                        | 1,1                                   | 83,3               |
| min          | 0,3                                     | 0,4                                        | 0,0                                   | 0,1                |
| zakres       | 1,6                                     | 1,2                                        | 1,1                                   | 83,2               |
| suma         | 202,4                                   | 202,2                                      | 32,8                                  | 3831,0             |

**Tabela 6.28**  
**Parametry statystyczne dotyczące maksymalnego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego ściany E-4 w pokładzie 505/1**

| Parametr       | Stężenie pomiarowe<br>% CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd względny<br>% |
|----------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| średnia        | 0,9                                     | 1,0                                        | 0,1                                   | 17,4               |
| mediana        | 0,9                                     | 0,9                                        | 0,1                                   | 12,7               |
| percentyl 0,75 | 1,1                                     | 1,1                                        | 0,2                                   | 21,5               |
| percentyl 0,90 | 1,4                                     | 1,3                                        | 0,3                                   | 35,6               |
| max            | 1,6                                     | 1,5                                        | 0,6                                   | 92,7               |
| min            | 0,4                                     | 0,4                                        | 0,0                                   | 0,5                |
| zakres         | 1,2                                     | 1,1                                        | 0,6                                   | 92,2               |
| suma           | 118,4                                   | 120,8                                      | 18,8                                  | 2187,9             |

Tabela 6.29

*Parametry statystyczne dotyczące maksymalnego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego ściany G-6 w pokładzie 413/2*

| Parametr       | Stężenie pomiarowe<br>% CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd względny<br>% |
|----------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| średnia        | 0,5                                     | 0,6                                        | 0,1                                   | 20,7               |
| mediana        | 0,5                                     | 0,6                                        | 0,1                                   | 16,2               |
| percentyl 0,75 | 0,6                                     | 0,6                                        | 0,1                                   | 26,3               |
| percentyl 0,90 | 0,6                                     | 0,7                                        | 0,2                                   | 44,8               |
| max            | 1,6                                     | 0,8                                        | 1,2                                   | 136,6              |
| min            | 0,2                                     | 0,3                                        | 0,0                                   | 0,3                |
| zakres         | 1,4                                     | 0,5                                        | 1,2                                   | 136,3              |
| suma           | 118,5                                   | 130,0                                      | 22,6                                  | 4842,5             |

Tabela 6.30

*Parametry statystyczne dotyczące maksymalnego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego ściany W-5 w pokładzie 361*

| Parametr     | Stężenie pomiarowe<br>% CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd względny<br>% |
|--------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| średnia      | 0,9                                     | 1,0                                        | 0,1                                   | 14,5               |
| mediana      | 0,9                                     | 1,0                                        | 0,1                                   | 10,0               |
| percentyl 75 | 1,1                                     | 1,2                                        | 0,2                                   | 19,6               |
| percentyl 90 | 1,3                                     | 1,3                                        | 0,2                                   | 35,7               |
| max          | 1,8                                     | 1,7                                        | 0,6                                   | 85,3               |
| min          | 0,4                                     | 0,5                                        | 0,0                                   | 0,0                |
| zakres       | 1,4                                     | 1,2                                        | 0,6                                   | 85,3               |
| suma         | 314,2                                   | 340,5                                      | 39,8                                  | 4842,4             |

Tabela 6.31

*Parametry statystyczne dotyczące maksymalnego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego ściany N-4 w pokładzie 404/2*

| Parametr       | Stężenie pomiarowe<br>% CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd względny<br>% |
|----------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| średnia        | 1,17                                    | 1,14                                       | 0,1                                   | 11,6               |
| mediana        | 1,2                                     | 1,1                                        | 0,1                                   | 8,8                |
| percentyl 0,75 | 1,3                                     | 1,3                                        | 0,2                                   | 16,4               |
| percentyl 0,90 | 1,5                                     | 1,4                                        | 0,3                                   | 25,1               |
| max            | 1,7                                     | 1,7                                        | 0,7                                   | 50,4               |
| min            | 0,6                                     | 0,7                                        | 0,0                                   | 0,0                |
| zakres         | 1,1                                     | 1,0                                        | 0,7                                   | 50,4               |
| suma           | 214,8                                   | 207,2                                      | 24,6                                  | 2116,8             |

Analiza danych zawartych w tabelach od 6.22 do 6.31 wykazała, że średnie pomiarowe wartości maksymalnego stężenia metanu, obliczone dla całego okresu eksploatacji poszczególnymi ścianami zawierają się w granicach od 0,8% CH<sub>4</sub> do 1,17% CH<sub>4</sub>, przy czym najczęściej (w 5 przypadkach na 10) wynosi ono 0,9% CH<sub>4</sub>.

Natomiast średnie prognozowane wartości omawianego stężenia znajdują się w przedziale od 0,6% CH<sub>4</sub> do 1,14% CH<sub>4</sub>.

W pięciu przypadkach średnie wartości maksymalnego stężenia metanu są sobie równe, w dwóch przypadkach wyższe są dla stężenia pomiarowego, a w trzech przypadkach są wyższe dla stężenia prognozowanego. Różnice nie przekraczają 0,1% CH<sub>4</sub>.

Najwyższe pomiarowe wartości maksymalnego stężenia metanu zawierają się w granicach od 1,4% CH<sub>4</sub> do 1,9% CH<sub>4</sub>. Wartości prognozowane omawianej kategorii stężenia metanu tworzą przedział od 0,8% CH<sub>4</sub> do 2,2% CH<sub>4</sub>. W jednym przypadku wartość pomiarowa jest równa wartości prognozowanej, w dwóch przypadkach wartości pomiarowe są niższe od prognozowanych, natomiast w pozostałych siedmiu przypadkach wartości pomiarowe są wyższe od prognozowanych.

Średnie wartości błędów bezwzględnych są niskie i dla dziewięciu ścian wynoszą 0,1% CH<sub>4</sub>, a dla jednej 0,2% CH<sub>4</sub>. Natomiast zakresy błędów bezwzględnych wahają się od 0,5% CH<sub>4</sub> do 1,2% CH<sub>4</sub>.

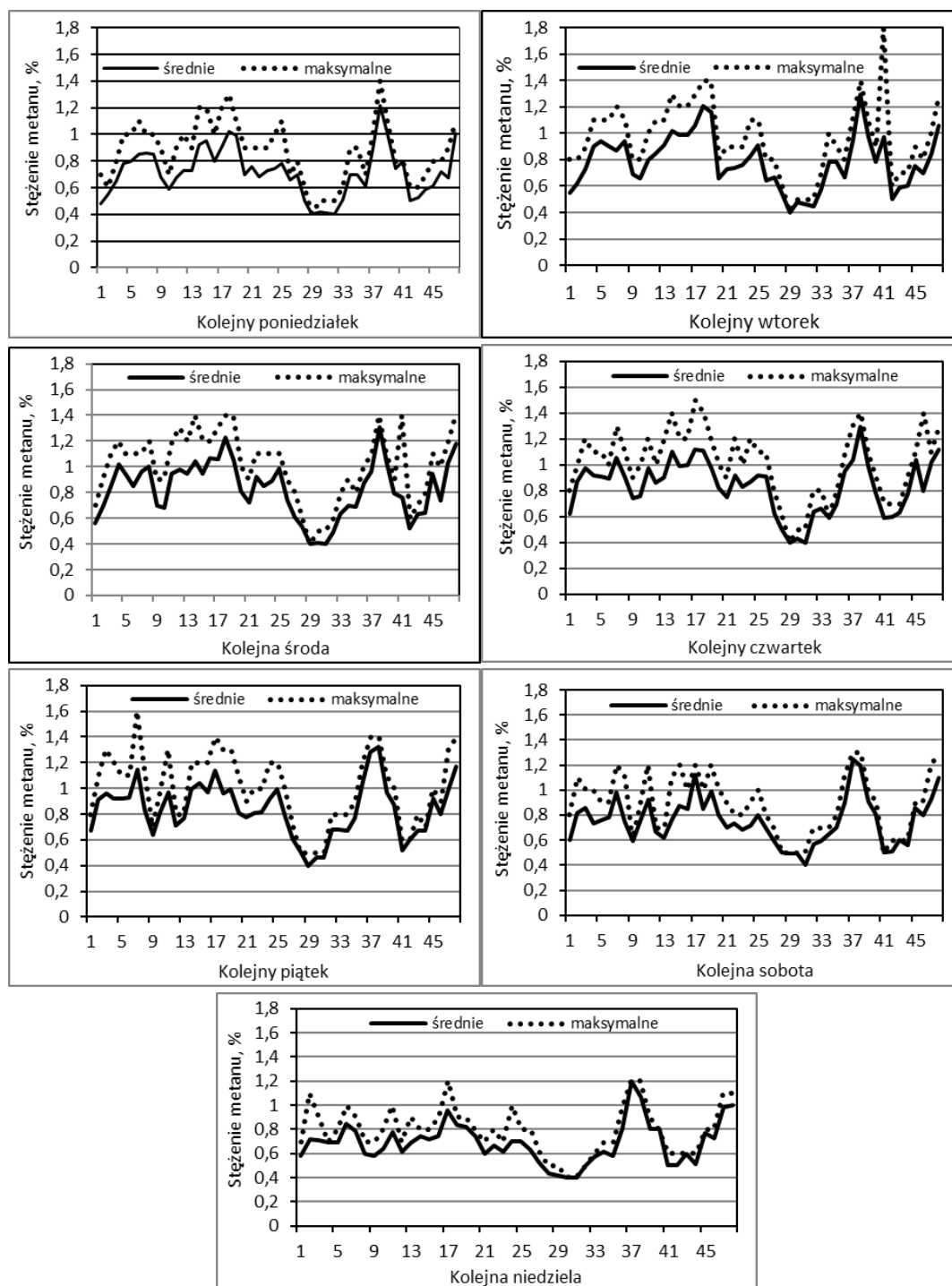
Podobnie średnie wartości błędów względnych zawierają się w granicach od 11,6% do 25,8%, lecz ich maksymalne wartości należą do przedziału od 50,4% do 149,5%.

Pomiarowy zakres zmian maksymalnego stężenia, czyli różnica pomiędzy najwyższą i najniższą wartością stężenia maksymalnego w odniesieniu do całego okresu obserwacji w danej ścianie, przyjmował wartości z przedziału od 1,1% CH<sub>4</sub> do 1,6% CH<sub>4</sub>. Natomiast zakres zmian prognozowanego maksymalnego stężenia metanu zawiera się w granicach od 0,5% CH<sub>4</sub> do 1,6% CH<sub>4</sub>. Tylko w jednym przypadku zakres zmian prognozowanego maksymalnego stężenia metanu był wyższy od zakresu wartości pomiarowych.

Z powyższego wynika, że z uwagi na dużą zmienność maksymalnego stężenia metanu przyjęcie górnej granicy prognozy podwyższonej o 30% w stosunku do wartości prognozowanej jest uzasadnione. Parametry modeli prognostycznych zostały ustalone na podstawie danych pomiarowych z kilku ścian, a zatem wynikiem prognoz są wartości najbardziej prawdopodobne, co nie oznacza, że są w stu procentach zgodne z pomiarowymi.

Na rysunku 6.37 przedstawiono kształtowanie się średniego i maksymalnego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego ściany W-5 w pokładzie 361. W początkowym okresie obserwacji, do 27 tygodnia, wartości maksymalnego stężenia metanu znacznie przekraczają średnie stężenia metanu a ich wahania posiadają większą amplitudę niż wahania średniego stężenia metanu.

Sytuacja się zmienia od 28 tygodnia, gdyż wartości stężenia maksymalnego znacznie zbliżają się do wartości stężenia średniego. Świadczą o tym fakcie różnice pomiędzy wartościami maksymalnymi i średnimi. Dla pierwszej połowy okresu eksploatacji, czyli do końca 28 tygodnia, suma tych różnic wynosi 32,99% CH<sub>4</sub>, przy czym wartość maksymalna różnic wynosi 0,45% CH<sub>4</sub>, minimalna 0,01% CH<sub>4</sub>, a wartość średnia 0,20% CH<sub>4</sub>.



**Rys. 6.37** Przykładowe zmiany stężenia metanu w poszczególne dni tygodnia

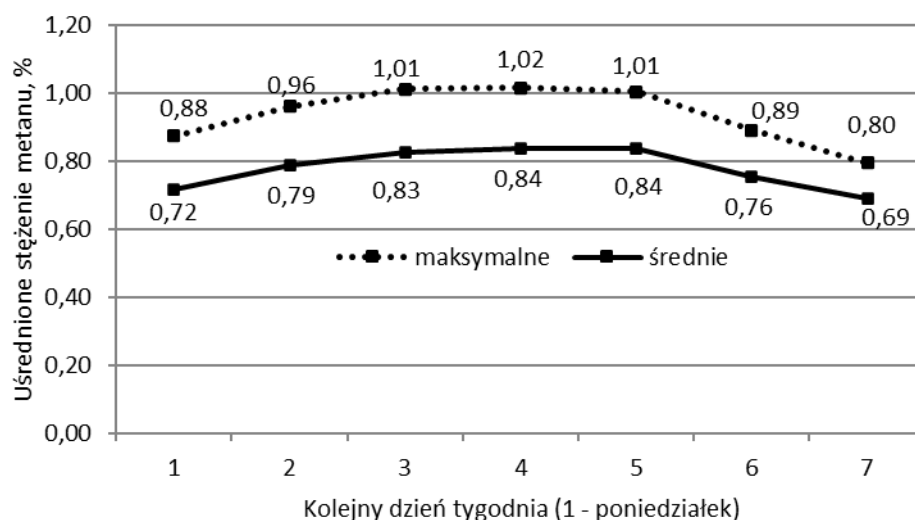
Źródło: opracowanie własne

Natomiast dla drugiego okresu powyższe parametry przyjmują następujące wartości: suma różnic wynosi 19,90%  $\text{CH}_4$ , ich wartość maksymalna 0,83%  $\text{CH}_4$ , wartość minimalna 0%  $\text{CH}_4$ , a wartość średnia 0,12%  $\text{CH}_4$ . W drugim okresie, w dwóch dniach, nastąpił zwiększony wypływ metanu. Zarówno wartości średnie jak i maksymalne są znacznie wyższe niż w pozostałych dniach. Jeżeli nie uwzględnić tych dni w statystyce dotyczącej drugiego okresu to suma różnic zmniejsza się do

18,43% CH<sub>4</sub>, ich wartość maksymalna wynosi 0,6% CH<sub>4</sub>, minimalna 0,0% CH<sub>4</sub>, a wartość średnia 0,11% CH<sub>4</sub>.

W kilku przypadkach w drugiej połowie okresu obserwacji różnice pomiędzy wartościami maksymalnymi a średnimi są zerowe, co świadczy o przerwach w prowadzeniu eksploatacji.

Na rysunku 6.38. odnoszącego się do uśrednionych wartości maksymalnego i średniego stężenia metanu w poszczególnych dni tygodnia można zauważyć, że przebiegi zmian maksymalnego i średniego stężenia metanu są do siebie zbliżone, szczególnie w dni robocze od poniedziałku do piątku.



**Rys. 6.38 Uśredniony rozkład średniego i maksymalnego stężenia metanu w poszczególnych dniach tygodnia**

Źródło: opracowanie własne

Średnie wartości stężeń maksymalnego i średniego w soboty i niedziele zbliżają się do siebie, co jest wynikiem zmniejszenia lub rezygnacji z wydobywania w wymienione dni. Brak wydobywania powoduje, że nie rozszerza się strefa spękań lub rozszerza się w niewielkim zakresie, a co za tym idzie nie tworzą się kanały dopływu metanu z nieodprężonej części górotworu.

## 6.6 Podsumowanie

W szóstym rozdziale omówiono zastosowanie metody autoregresyjnej (prognoza 1) i metody przyczynowo skutkowej (prognoza 2) do przeprowadzenia prognoz stężenia metanu. W metodzie autoregresyjnej zmienną opisującą było średnie stężenie metanu w dobie poprzedniej, natomiast w metodzie przyczynowo skutkowej zmiennymi opisującymi były wartości wydobywania w dniu, którego prognoza dotyczyła oraz maksymalnie w dwóch dniach poprzednich.

Do przeprowadzenia prognozy autoregresyjnej wykorzystano modele prognostyczne, których parametry wyznaczono w pracy [15]. Wartości tych parametrów przedstawiono w rozdziale 4. Prognoza autoregresyjna jest prognozą

jednodniową. Może ona być stosowana do prognozowania średniego i maksymalnego stężenia metanu już od drugiego dnia prowadzenia eksploatacji ścianą, gdyż wykorzystuje wartości pomiarowe stężeń metanu jedynie z dnia poprzedniego.

Parametry modeli prognoz przyczynowo skutkowych były obliczane na bieżąco. Do wyznaczania parametrów równań prognostycznych nie można użyć klasycznej metody najmniejszych kwadratów, gdyż zachodzi korelacja różnic między wartościami pomiarowymi a prognozowanymi, co implikuje błędy wyznaczania parametrów. Dlatego parametry równań prognostycznych wyznaczano metodą Cochrane'a-Orcutta. Opis tej metody jest dostępny w niektórych podręcznikach ekonometrycznych [55, 56, 61].

Do wyznaczania parametrów równania prognostycznego dla metody przyczynowo skutkowej wykorzystywano, podobnie jak w metodzie autoregresyjnej, dane pomiarowe średniego stężenia metanu. Doświadczalnie ustalono, że metoda przyczynowo skutkowa wymaga obliczenia maksymalnie czterech parametrów równania prognostycznego – wyrazu wolnego oraz stojących przy wartościach wydobywania w dniu bieżącym oraz dwóch dniach poprzednich. Rzeczywistą liczbę parametrów ustalano biorąc pod uwagę ich istotność. Przyjęto, że parametr jest nieistotny, jeżeli prawdopodobieństwo jego zerowania się wynosi 5% i więcej.

Z uwagi na dokładność modelu prognostycznego wykonanie pierwszej prognozy stężenia metanu jest opóźnione w stosunku do dnia rozpoczęcia eksploatacji daną ścianą. W celu estymacji parametrów pierwszego modelu prognostycznego wykorzystano dane pomiarowe z 30 dni.

Wyznaczone parametry służyły do sporządzenia prognoz stężenia metanu dla 14 kolejnych dni.

W celu przeprowadzenia dalszych prognoz, poprzedni przedział danych służących do wyznaczania parametrów funkcji prognostycznej powiększono liczbę stężeń pomiarowych metanu dotyczących 14 dni, dla których uprzednio wykonywano prognozę, a następnie wyznaczano nowe parametry równania prognostycznego. Dysponując zaktualizowanym równaniem prognostycznym wykonywano prognozę na następne 14 dni. Powyższe czynności powtarzano do wyczerpania danych.

Stosowanie metody autoregresyjnej jest znacznie prostsze, a nagła, długookresowa zmiana średniego stężenia metanu spowoduje znaczne obniżenie dokładności prognozy jedynie w okresie dwóch dni. Natomiast w przypadku stosowania metody przyczynowo skutkowej wymagane jest utworzenie nowego modelu prognostycznego, dostosowanego do nowej sytuacji wydzielania się metanu. Oznacza to, że przez okres około 30 dni prognozy średniego stężenia metanu mogą znacznie odbiegać od wartości pomiarowych.

Jeżeli średnie wartości pomiarowe stężenia metanu posiadają długookresową tendencję rosnącą lub malejącą, wskazane jest tworzenie modeli prognozy przyczynowo skutkowej na podstawie ograniczonej do trzydziestu lub tylko nieco

większej liczby pomiarów licząc wstecz od ostatniego dnia poprzedniej prognozy. Tak utworzone prognozy są dokładniejsze.

Dla prognoz autoregresyjnych długookresowe tendencje wzrostowe lub malejące nie mają istotnego znaczenia.

W zaprezentowanych w pracy prognozach przyczynowo skutkowych wartości wydobywania w poszczególne dni okresu, na który były sporządzane prognozy, były znane. Natomiast w praktyce wartości wydobywania będą wartościami przyjętymi, prognozowanymi. W przypadku dużych różnic pomiędzy wartościami wydobywania rzeczywistymi a przyjętymi do obliczeń, prognozy przyczynowo skutkowe mogą znacznie odbiegać od wartości rzeczywistych średniego stężenia metanu. Jeżeli do prognozy zostaną przyjęte wartości wydobywania niższe niż osiągnięte, pomiarowe stężenia metanu mogą znacznie przekroczyć wartości prognozowane. W takim przypadku prognozę dla części dni przyjętego okresu należy powtórzyć, a okres na który sporządza się prognozy należy skrócić.

Z przeprowadzonej w punkcie 6.4 analizy wyników prognoz średniego stężenia metanu metodami przyczynowo skutkową i autoregresyjną wynika, że obydwie metody prognozy prowadzą do bardzo zbliżonych wyników. W praktyce górniczej metoda przyczynowo skutkowa może być wykorzystywana do projektowania górnej granicy wartości wydobywania lub do orientacyjnego planowania środków profilaktyki, które wymagają dłuższego okresu przygotowania np. planowania liczby otworów odmetanowania wierconych z jednego stanowiska i odległości pomiędzy stanowiskami wykonywania wierceń czy też stosowania środków wentylacji pomocniczej.

Natomiast metoda autoregresyjna powinna odnosić się do stosowania rodzaju i intensywności doraźnych środków profilaktyki metanowej, co może obniżyć koszty tej profilaktyki. Jest ona także niezbędna przy planowaniu środków profilaktyki w przypadku nagłego wzrostu ilości wydzielanego do ściany metanu. Metoda autoregresyjna powinna być także wykorzystywana w przypadku potrzeby nagłego wzrostu wydobywania w określonej ścianie.

Metoda autoregresyjna stosowana do prognozowania maksymalnego stężenia metanu może ułatwić prognozę maksymalnego wydobywania, które nie spowoduje przekroczenia dopuszczalnego stężenia metanu. Jeżeli dopuszczalna wartość stężenia metanu będzie niższa niż prognozowane maksymalne stężenie metanu, należy się liczyć z jej przekroczeniami.

Na rzeczywiste wartości średniego stężenia metanu w określony dzień ma wpływ wiele czynników, jednak ich oddziaływanie jest bardzo zmienne i trudne do formalnego, ilościowego określenia. Właściwe rozpoznanie tych czynników wymagałoby przeprowadzenia ciągłych badań i pomiarów *in situ*, co spowodowałoby bardzo duży wzrost kosztów związanych z eksploatacją węgla.

Zaprezentowane w niniejszej pracy prognozy dotyczą stężenia metanu na wylocie z przyścianowego wyrobiska wentylacyjnego (chodnika lub pochylni).

Istotne dla praktyki górniczej jest opracowanie metody prognozy stężenia metanu w chodniku wentylacyjnym w odległości do 10 m przed czołem ściany.

Dotychczasowe próby adaptacji prognoz zaprezentowanych w niniejszej pracy dały pozytywne rezultaty. Niemniej, przede wszystkim z uwagi na duże prawdopodobieństwo występowanie w miejscu położenia czujnika niejednorodnej mieszaniny powietrznometanowej, należy się liczyć ze zwiększonym stężeniem metanu niż na wylocie z przyścianowego wyrobiska wentylacyjnego i z większymi błędami prognozy średniego i maksymalnego stężenia metanu.



**ZESTAWIENIE  
PROGNOZ ŚREDNIEGO  
STĘŻENIA METANU**

## Ściana N-6 w pokładzie 330/2

**Tabela 1**  
*Parametry statystyczne dotyczące średniego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego*

| Parametr        | Stężenie pomiarowe<br>% CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd względny<br>% |
|-----------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| średnia         | 0,67                                    | 0,67                                       | 0,07                                  | 11,39              |
| mediana         | 0,63                                    | 0,64                                       | 0,05                                  | 7,84               |
| percentyl 0,75  | 0,87                                    | 0,84                                       | 0,09                                  | 14,44              |
| percentyl 0, 90 | 1,03                                    | 1,00                                       | 0,14                                  | 26,19              |
| max             | 1,23                                    | 1,31                                       | 0,48                                  | 149,75             |
| min             | 0,2                                     | 0,23                                       | 0,00                                  | 0,04               |
| zakres          | 1,03                                    | 1,08                                       | 0,48                                  | 149,71             |
| suma            | 173,12                                  | 172,92                                     | 16,91                                 | 2927,66            |

Dane pomiarowe odnosiły się do 258 dni. Prognozę autoregresyjną wykonano dla 257 dni (za wyjątkiem pierwszego dnia).

Współczynnik korelacji pomiędzy wartościami średnimi pomiarowymi i prognozowanymi średniego stężenia metanu jest wysoki i wynosi ponad  $r = 0,93$ . Wartość współczynnika determinacji wynosząca  $R^2 = 0,87$  informuje, że z prawdopodobieństwem 87% istnieje zależność liniowa między wartościami pomiarowymi i prognozowanymi średniego stężenia metanu.

Średnia wartość prognozowanych i pomiarowych średnich stężeń metanu wynosi 0,67% CH<sub>4</sub> (tabela 1).

Dla średnich wartości pomiarowych wartość mediany wynosi 0,63% CH<sub>4</sub>, percentyla 0,75 – 0,87% CH<sub>4</sub>, percentyla 0,90 – 1,03% CH<sub>4</sub>, natomiast dla średnich stężeń prognozowanych wartości tych parametrów wynoszą odpowiednio 0,64% CH<sub>4</sub>, 0,84% CH<sub>4</sub> i 1,00% CH<sub>4</sub>, są zatem niższe niż dla stężeń pomiarowych.

Maksymalna wartość średniego stężenia pomiarowego metanu wynosi 1,23% CH<sub>4</sub>, natomiast stężenia prognozowanego 1,31% CH<sub>4</sub>, czyli jest o 0,08% CH<sub>4</sub> wyższa.

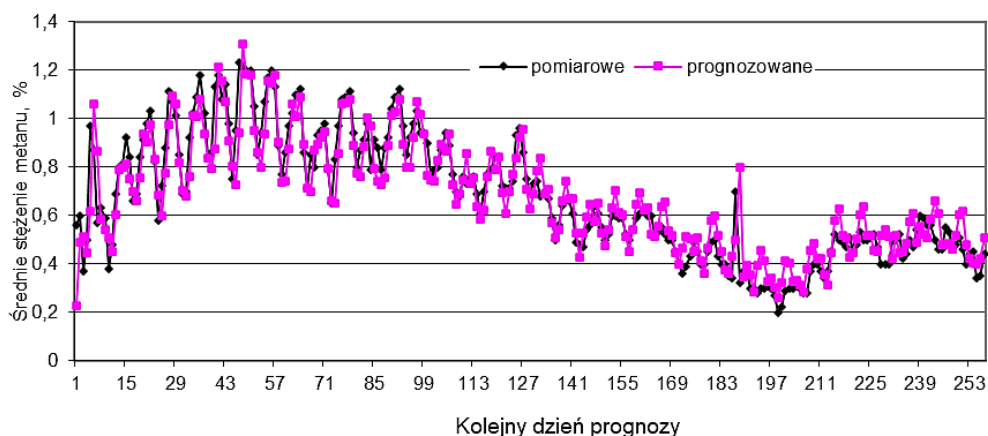
Zakres zmienności średniego pomiarowego stężenia metanu wynosi 1,03% CH<sub>4</sub>, a dla stężenia prognozowanego – 1,08% CH<sub>4</sub>. Można zatem stwierdzić, że zakres zmian średniego stężenia prognozowanego jest o 0,05% CH<sub>4</sub> wyższy od zakresu zmian stężenia pomiarowego.

Suma średnich stężeń pomiarowych wynosi 173,12% CH<sub>4</sub>, a stężeń prognozowanych jest nieco niższa i wynosi 172,92% CH<sub>4</sub>. Sumy różnią się o 0,20% CH<sub>4</sub>, czyli o bardzo małą wartość.

Średnia wartość obliczona dla błędów bezwzględnych prognozy wynosi 0,07% CH<sub>4</sub>, a obliczona dla błędów względnych 11,39%.

Z wartości median wynika, że co najmniej 50% błędów bezwzględnych jest nie większych od 0,05% CH<sub>4</sub>, a co najmniej 50% błędów względnych jest nie większych niż 7,84%.

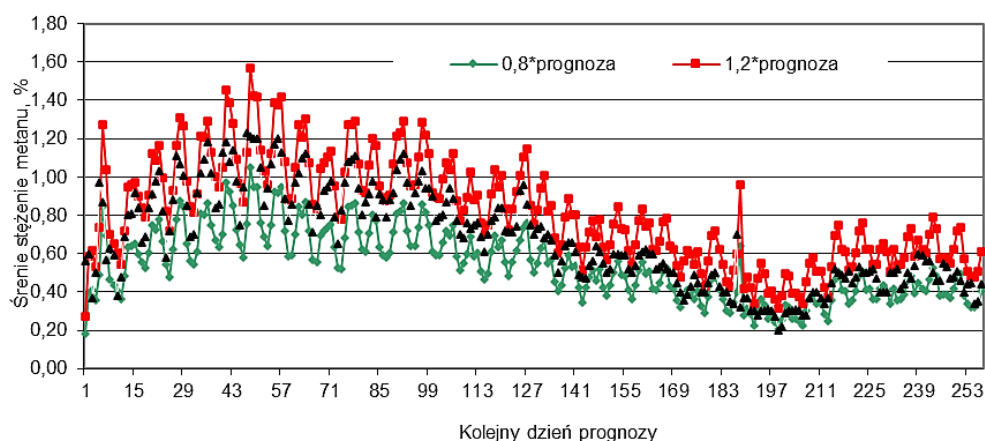
Maksymalny błąd bezwzględny prognozy wynosi 0,48% CH<sub>4</sub>, natomiast maksymalny błąd względny 149,75%. Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że prognoza dobrze odwzorowuje rzeczywiste wartości średniego stężenia metanu, co obrazuje również rysunek 1. Jednak istnieje jeden przypadek, który znacznie odbiega od ogólnej tendencji kształtowania się średniego stężenia metanu – dotyczy 188 dnia prognoz (rys. 1).



**Rys. 1 Pomiarowe i prognozowane wartości średniego stężenia metanu**

*Źródło: opracowanie własne*

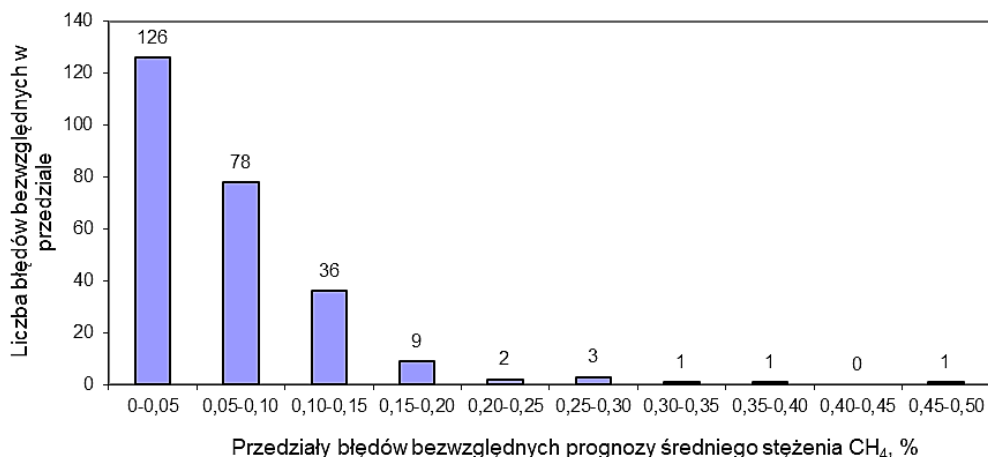
Rysunek 2 przedstawia przedział prognozy, którego górna granica wynosi 1,2 wartości prognozowanego stężenia, a dolna granica 0,8 wartości tego stężenia. Czarne punkty oznaczają pomiarowe stężenia metanu. Z rysunku wynika, że większość pomiarów znajduje się w granicach prognozy. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że 221 na 257 przypadków prognozowanych stężeń metanu, czyli 86% znajduje się w granicach prognozy. W 11 przypadkach na 257 (4,3% wszystkich prognoz) wartości pomiarowe są wyższe od górnej granicy prognozy.



**Rys. 2 Pomiarowe średnie stężenie metanu i granice górna i dolna prognozy**

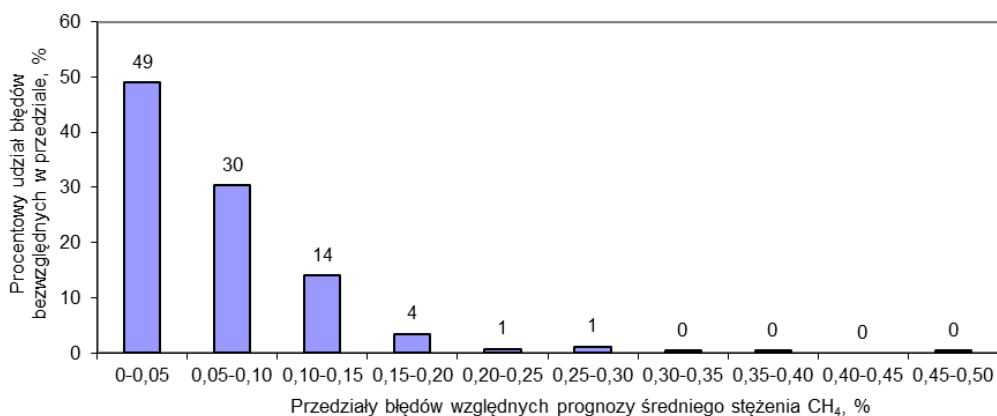
*Źródło: opracowanie własne*

Na rys. 3, 4, 5 przedstawiono wykresy błędów bezwzględnych i względnych prognozy.



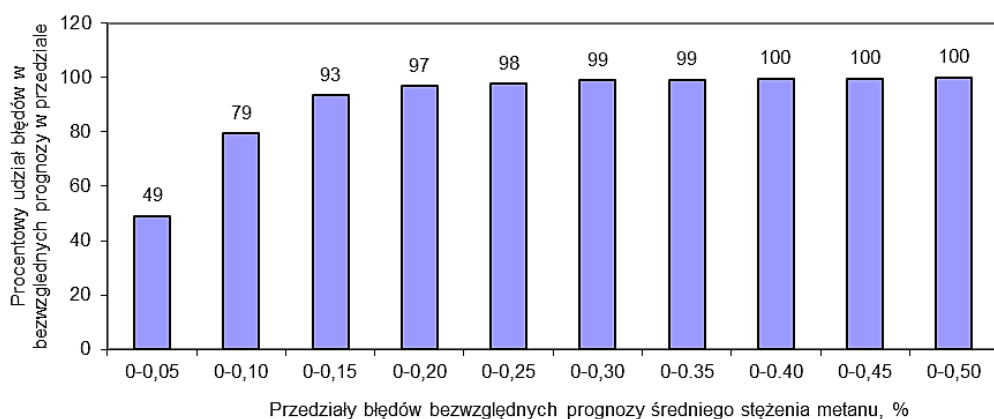
**Rys. 3 Liczby błędów bezwzględnych prognozy w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne



**Rys. 4 Procentowy udział błędów bezwzględnych prognozy w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne

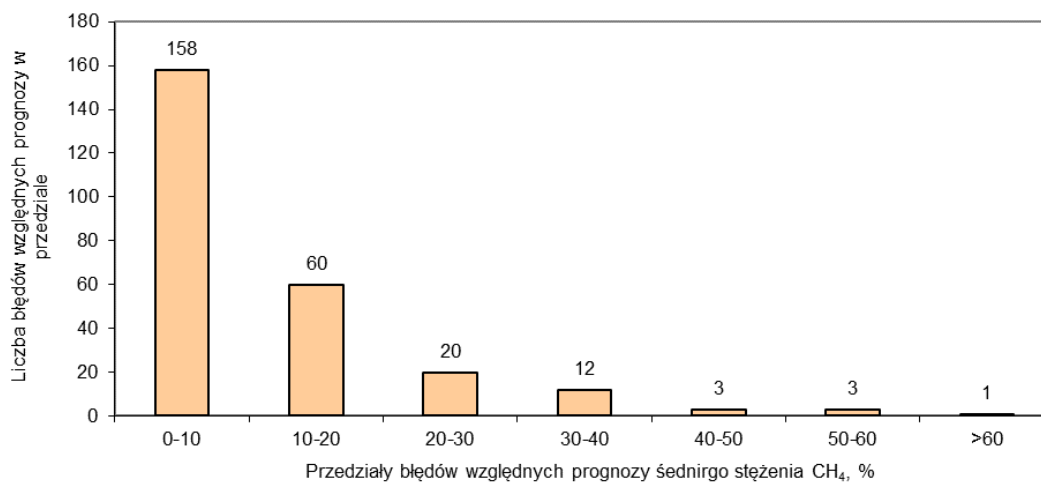


**Rys. 5 Procentowy udział błędów bezwzględnych prognozy w rosnących przedziałach**

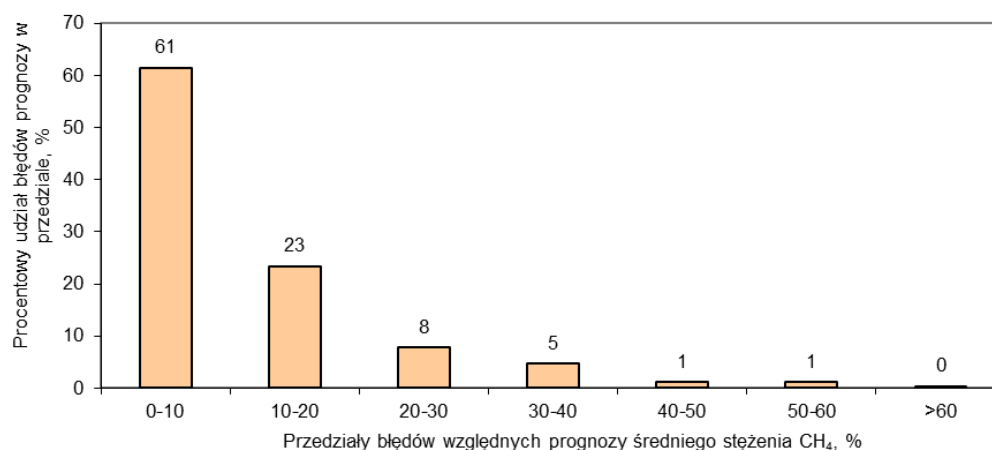
Źródło: opracowanie własne

Najwięcej błędów bezwzględnych prognozy (rys. 3, 4) bo aż 126 (49% wszystkich błędów bezwzględnych) znajduje się w przedziale od 0%  $\text{CH}_4$  do 0,05%  $\text{CH}_4$ , do przedziału od 0,05%  $\text{CH}_4$  do 0,10%  $\text{CH}_4$  należy 78 błędów bezwzględnych (30% wszystkich), a w przedziale od 0,10%  $\text{CH}_4$  do 0,15%  $\text{CH}_4$  znajduje się 36 błędów (14% wszystkich). Błędy bezwzględne o wartościach do 0,1%  $\text{CH}_4$  stanowią

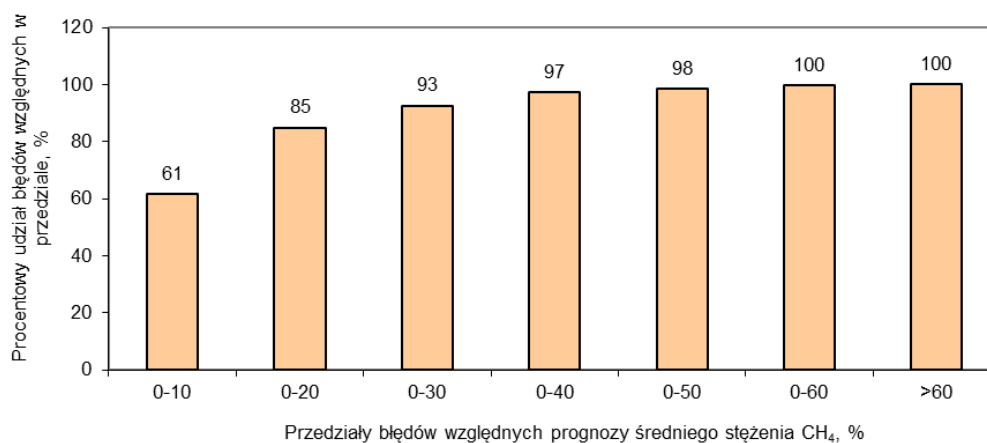
79% wszystkich błędów (rys. 5). W przedziale do 0,20% CH<sub>4</sub> znajduje się 97% błędów bezwzględnych.



**Rys. 6 Liczby błędów względnych prognozy w poszczególnych przedziałach błędów**  
Źródło: opracowanie własne



**Rys. 7 Procentowy udział błędów względnych prognozy w przedziałach błędów**  
Źródło: opracowanie własne



**Rys. 8 Procentowy udział błędów względnych prognozy w rosnących przedziałach błędów**  
Źródło: opracowanie własne

Z analizy rysunków 6 i 7 wynika, że w przedziale błędów względnych od 0% do 10% znajduje się 158 przypadków (61% wszystkich błędów względnych), w przedziale od 10% do 20% znajduje się 60 błędów względnych (23% błędów względnych), a w przedziale od 20% do 30% – 20 błędów względnych (8% wszystkich).

Liczba błędów względnych (rys. 8) w przedziale od 0% do 10% wartości pomiarowej średniego stężenia metanu stanowi 61% błędów, w przedziale błędów od 0% do 20% znajduje się 85% błędów względnych, a w przedziale od 0% do 30% znajduje się 93% tych błędów.

# Ściana G-6 pokład 412 łg+łd i 412łg

**Tabela 2**  
*Parametry statystyczne dotyczące średniego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego*

| Parametr       | Stężenie pomiarowe<br>% CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd względny<br>% |
|----------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| średnia        | 1,06                                    | 1,02                                       | 0,09                                  | 8,46               |
| mediana        | 1,03                                    | 1,01                                       | 0,07                                  | 7,21               |
| percentyl 0,75 | 1,29                                    | 1,23                                       | 0,11                                  | 11,59              |
| percentyl 0,90 | 1,50                                    | 1,37                                       | 0,20                                  | 16,94              |
| max            | 1,81                                    | 1,75                                       | 0,45                                  | 31,38              |
| min            | 0,45                                    | 0,45                                       | 0,00                                  | 0,12               |
| zakres         | 1,36                                    | 1,30                                       | 0,45                                  | 31,26              |
| suma           | 181,84                                  | 175,45                                     | 15,44                                 | 1454,39            |

Dane pomiarowe odnosiły się do 173 dni. Prognozę autoregresyjną wykonano dla 172 dni (za wyjątkiem pierwszego dnia). Współczynnik korelacji pomiędzy wartościami pomiarowymi a prognozowanymi średniego stężenia metanu wynosi ponad  $r = 0,93$  czyli jest wysoki. Wartość współczynnika determinacji  $R^2 = 0,87$  sugeruje, że w 87% istnieje zależność liniowa między pomiarowymi i prognozowanymi średnimi stężeniami metanu.

Różnica średniej wartości stężenia pomiarowego i prognozowanego wynosi około 0,04% CH<sub>4</sub>, mediany około 0,02% CH<sub>4</sub> (tabela 2). Percentyle 75 różnią się o 0,06% CH<sub>4</sub>, natomiast percentyle 90 różnią się o 0,13% CH<sub>4</sub>.

Maksymalna wartość średniego stężenia pomiarowego metanu wynosi 1,81% CH<sub>4</sub>, natomiast stężenia prognozowanego 1,75% CH<sub>4</sub>, czyli jest o 0,06% CH<sub>4</sub> niższa.

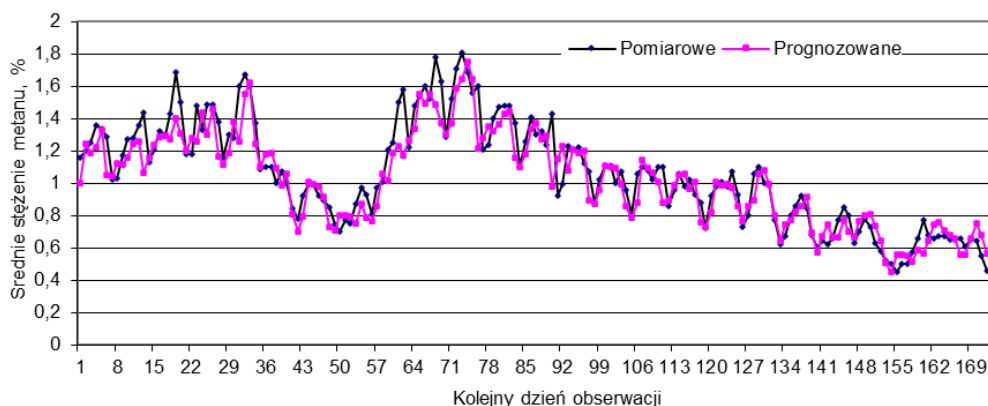
Zakres zmienności średniego pomiarowego stężenia metanu wynosi 1,36% CH<sub>4</sub>, a dla stężenia prognozowanego – 1,30% CH<sub>4</sub>. Można zatem stwierdzić, że zakres zmian stężenia pomiarowego jest o 0,06% CH<sub>4</sub> wyższy od zakresu zmian stężenia prognozowanego.

Suma średnich stężeń pomiarowych wynosi 181,84% CH<sub>4</sub>, natomiast prognozowanych jest niższa i wynosi 175,45% CH<sub>4</sub>. Zatem sumy różnią się o 6,39% CH<sub>4</sub>, co stanowi około 3,5% wartości sumy średnich stężeń pomiarowych.

Średni błąd bezwzględny i względny jest niski. Błędy te wynoszą odpowiednio 0,09% CH<sub>4</sub> i 8,46%. Z wartości mediany wynika, że co najmniej 50% błędów bezwzględnych jest nie większych od 0,07% CH<sub>4</sub>, a co najmniej 50% błędów względnych jest nie większych niż 7,21%.

Zakres zmienności błędów bezwzględnych prognoz wynosi 0,45% CH<sub>4</sub> i jest równy wartości maksymalnej tych błędów. Natomiast zakres zmienności błędów względnych prognoz wynosi 31,26%.

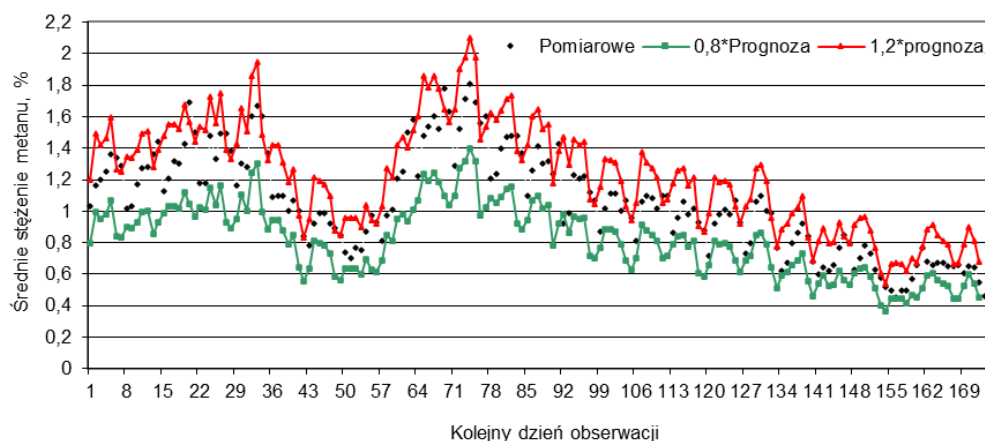
Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że prognoza dobrze odwzorowuje rzeczywiste wartości średniego stężenia metanu, co obrazuje również rysunek 9.



**Rys. 9 Pomiarowe i prognozowane wartości średniego stężenia metanu**

Źródło: opracowanie własne

Rysunek 10 przedstawia przedział prognozy, którego górna granica wynosi 1,2 wartości prognozowanego stężenia, a dolna granica 0,8 wartości tego stężenia.

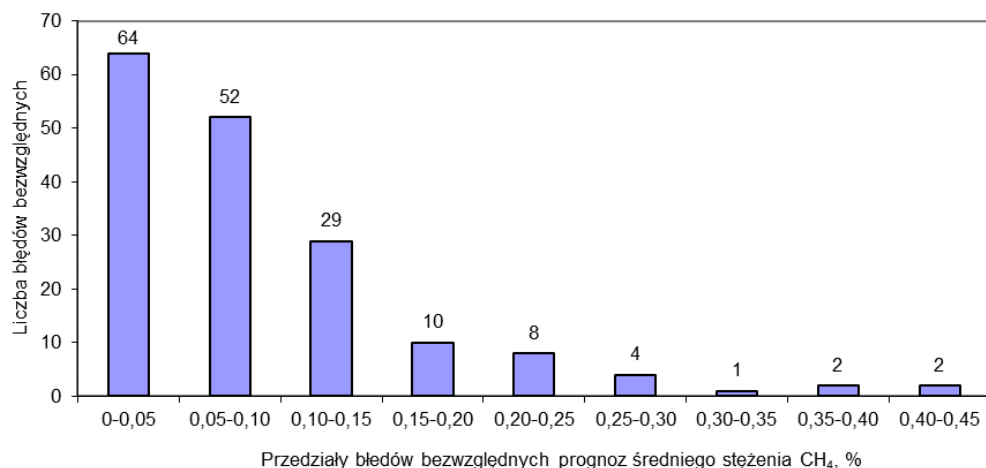


**Rys. 10 Pomiarowe średnie stężenie metanu i granice górna i dolna prognozy**

Źródło: opracowanie własne

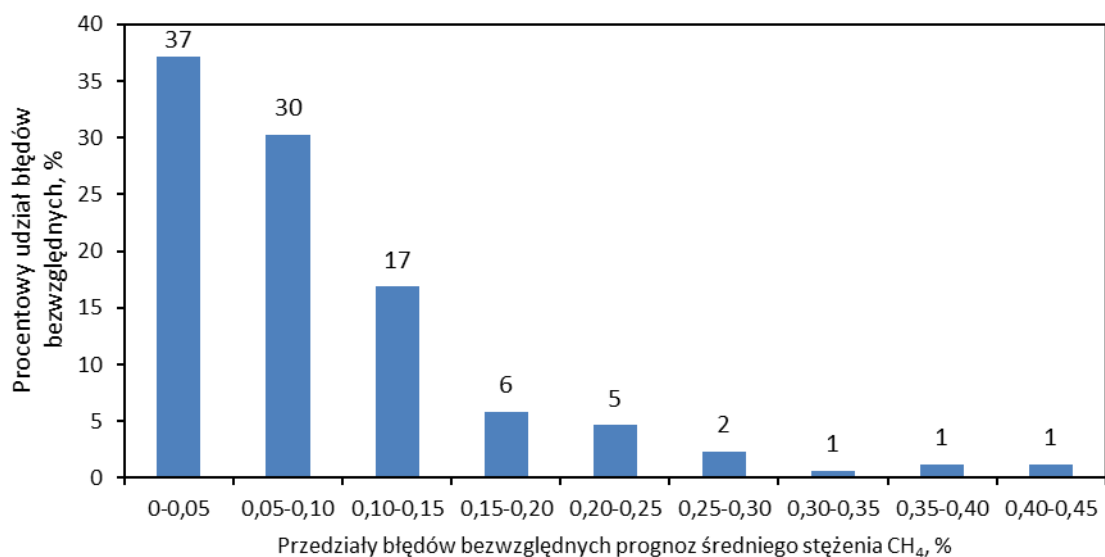
Czarne punkty oznaczają pomiarowe stężenia metanu. Z rysunku wynika, że większość pomiarów znajduje się w granicach prognozy. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że 161 na 172 przypadków prognozowanych stężeń metanu, czyli 93,6% znajduje się w granicach prognozy. W 11 przypadkach na 172 (6,4% wszystkich prognoz) wartości pomiarowe są wyższe od górnej granicy prognozy.

Poniżej (rys. 11, 12, 13), przedstawiono wykresy błędów bezwzględnych i względnych prognoz.



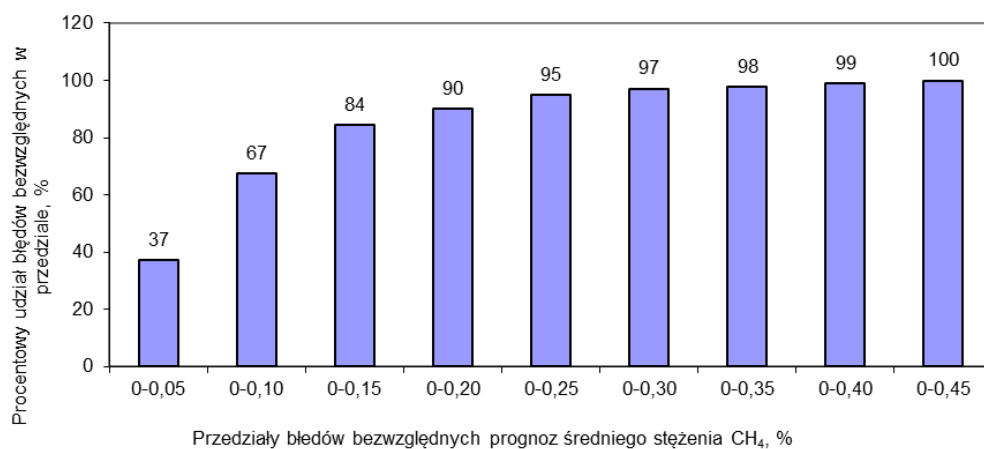
**Rys. 11 Liczby błędów bezwzględnych prognoz w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne



**Rys. 12 Procentowy udział błędów bezwzględnych prognoz w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne



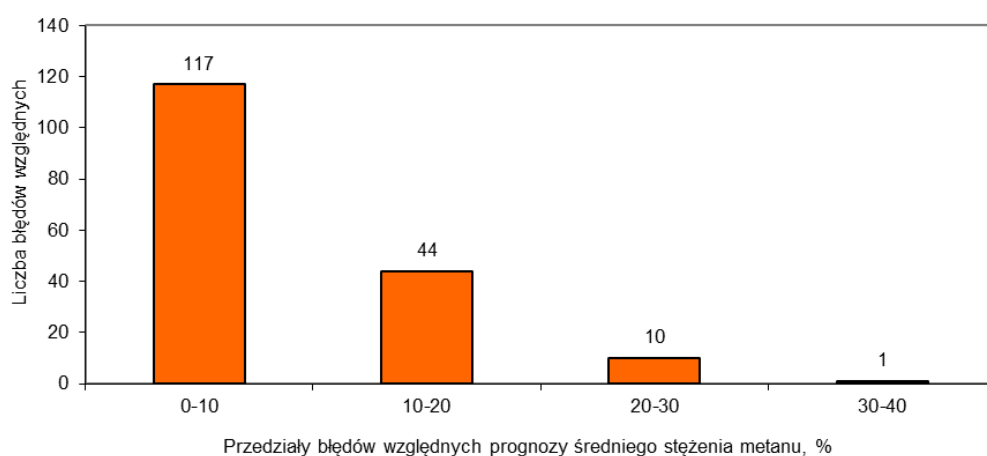
**Rys. 13 Procentowy udział błędów bezwzględnych prognozy w rosnących przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne

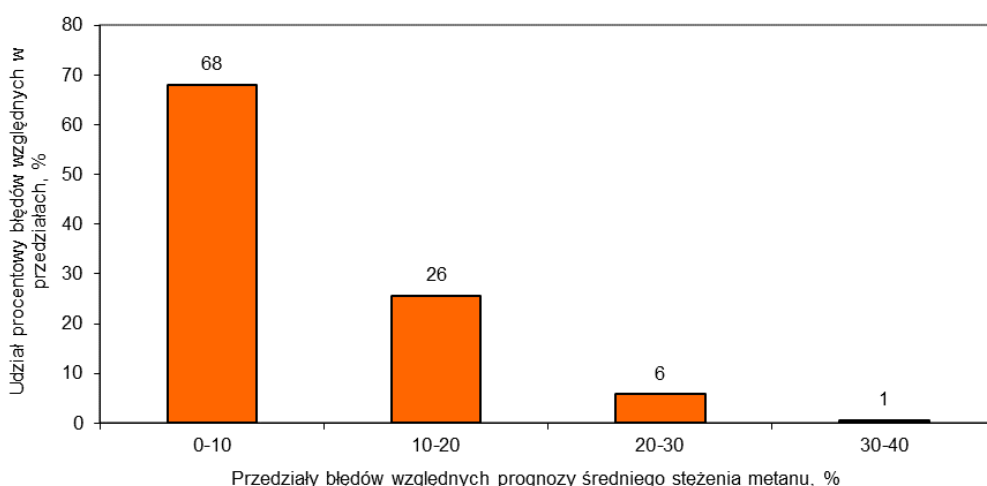
Z rysunków 11 i 12 wynika, że w przedziale od 0% CH<sub>4</sub> do 0,05% CH<sub>4</sub> znajdują się 64 błędy bezwzględne (37% wszystkich błędów bezwzględnych). W przedziale od 0,05% CH<sub>4</sub> do 0,10% CH<sub>4</sub> znajdują się 52 błędy bezwzględne (30% wszystkich błędów bezwzględnych).

Błędy bezwzględne o wartościach od 0% CH<sub>4</sub> do 0,1% CH<sub>4</sub> stanowią 67% wszystkich błędów. W przedziale od 0% CH<sub>4</sub> do 0,20% CH<sub>4</sub> znajduje się 90% błędów bezwzględnych (rys. 13).

Błędy względne prognoz (rys. 14 i 15) w przedziale od 0% do 10% stanowią 68% wszystkich błędów (117 błędów), w przedziale od 10% do 20% znajduje się 26% całości błędów (44 błędy), a w przedziale od 20% do 30% – 6% błędów względnych prognozy (10 błędów).

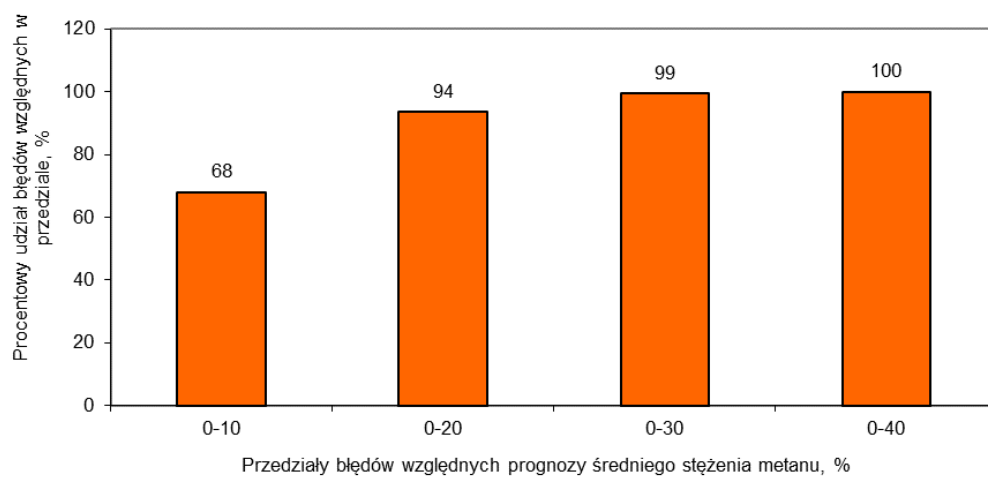


**Rys. 14 Liczby błędów względnych prognozy w poszczególnych przedziałach błędów**  
Źródło: opracowanie własne



**Rys. 15 Procentowy udział błędów względnych prognozy w poszczególnych przedziałach błędów**  
Źródło: opracowanie własne

W przedziale błędów względnych od 0% do 20% (rys. 16) znajduje się 94% wszystkich błędów względnych.



**Rys. 16. Procentowy udział błędów względnych prognozy w rosnących przedziałach błędów**

*Źródło: opracowanie własne*

# Ściana B-1 w pokładzie 360/1

**Tabela 3**  
*Parametry statystyczne dotyczące średniego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego*

| Parametr       | Stężenie pomiarowe % CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane % CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny % CH <sub>4</sub> | Błąd względny % |
|----------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|-----------------|
| średnia        | 0,52                                 | 0,55                                    | 0,07                               | 15,53           |
| mediana        | 0,53                                 | 0,55                                    | 0,05                               | 10,83           |
| percentyl 0,75 | 0,65                                 | 0,65                                    | 0,10                               | 22,72           |
| percentyl 0,90 | 0,73                                 | 0,74                                    | 0,14                               | 34,41           |
| max            | 0,84                                 | 0,84                                    | 0,30                               | 143,55          |
| min            | 0,20                                 | 0,21                                    | 0,00                               | 0,16            |
| zakres         | 0,64                                 | 0,63                                    | 0,30                               | 143,39          |
| suma           | 105,82                               | 111,74                                  | 13,55                              | 3183,21         |

Dane pomiarowe odnosiły się do 206 dni. Prognozę autoregresyjną wykonano dla 205 dni (za wyjątkiem pierwszego dnia). Współczynnik korelacji pomiędzy pomiarowymi i prognozowanymi stężeniami metanu wynosi  $r = 0,87$  natomiast wartość współczynnika determinacji wynosi  $R^2 = 76\%$ . Wartość współczynnika determinacji sugeruje, że prawdopodobieństwo istnienia zależności liniowej pomiędzy średnim stężeniem pomiarowym i prognozowanym wynosi około 76%.

Średnia wartość średniego pomiarowego stężenia metanu jest dosyć niska (tabela 3) i wynosi 0,52% CH<sub>4</sub>, a ten sam parametr dla prognozowanego stężenia wynosi 0,55% CH<sub>4</sub>. Różnica średnich wartości stężenia metanu pomiarowego i prognozowanego wynosi 0,03%, mediany około 0,02%, przy czym wartości obydwu parametrów są większe dla stężenia pomiarowego. Percentyle 0,75 są sobie równe i wynoszą 0,65% CH<sub>4</sub>, natomiast percentyle 0,90 różnią się o 0,01% CH<sub>4</sub>.

Maksymalne wartości stężeń są równe i wynoszą 0,84% CH<sub>4</sub>. Zakres zmienności średniego stężenia metanu wynosi dla wartości pomiarowych wynosi 0,64% CH<sub>4</sub>, natomiast dla wartości prognozowanych – 0,63% CH<sub>4</sub>.

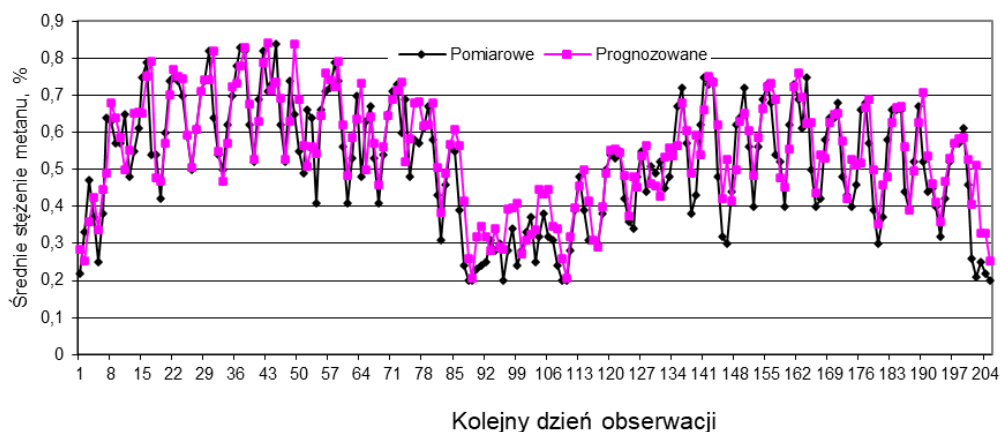
Suma stężeń pomiarowych wynosi 105,82% CH<sub>4</sub>, natomiast stężeń prognozowanych jest wyższa i wynosi 111,74% CH<sub>4</sub>, zatem sumy różnią się o 5,92% CH<sub>4</sub>.

Średnie błędów bezwzględnych i względnych wynoszą odpowiednio 0,07% CH<sub>4</sub> i 15,53%. Z uwagi na niskie wartości średniego stężenia metanu są to wartości dość duże. Z wartości mediany wynika, że co najmniej 50% błędów bezwzględnych jest nie większych od 0,05% CH<sub>4</sub>, a co najmniej 50% błędów względnych jest nie większych niż 10,83%.

Percentyl 0,75 błędów bezwzględnych wynosi 0,10% CH<sub>4</sub>, percentyl 0,90 – 0,14% CH<sub>4</sub>, maksymalny błąd względny wynosi 0,30% CH<sub>4</sub>, a zakres błędów wynosi 0,30% CH<sub>4</sub>.

Wartości maksymalnego błędu względnego i zakresu błędów względnych są duże, wynoszą odpowiednio 143,55% i 143,39%. Są to jednak wartości przypadkowe, dotyczące jednego pomiaru.

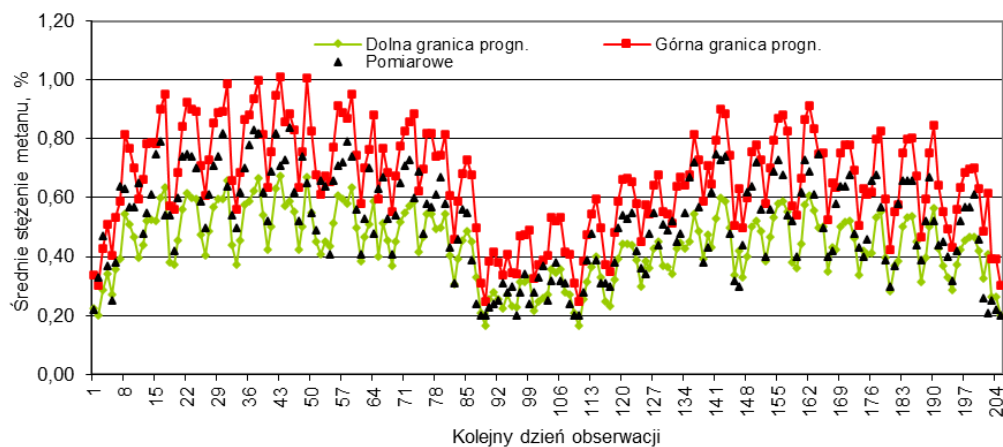
Rysunek 17 przedstawia rozkład pomiarowych i prognozowanych wartości średnich stężenia metanu.



**Rys. 17 Pomiarowe i prognozowane wartości średniego stężenia metanu**

Źródło: opracowanie własne

Rysunek 18 przedstawia przedział prognozy, którego górna granica wynosi 1,2 wartości prognozowanego stężenia, a dolna granica 0,8 wartości tego stężenia.

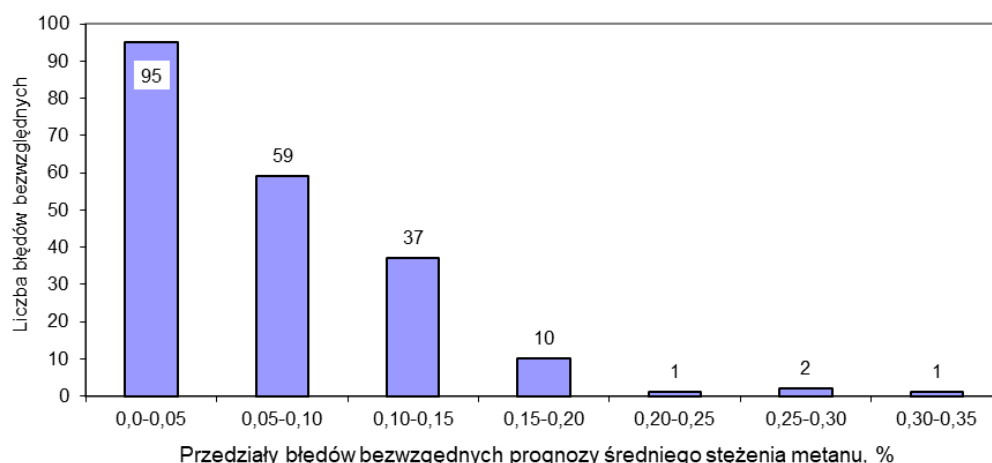


**Rys. 18 Pomiarowe średnie stężenie metanu i granice górna i dolna prognozy**

Źródło: opracowanie własne

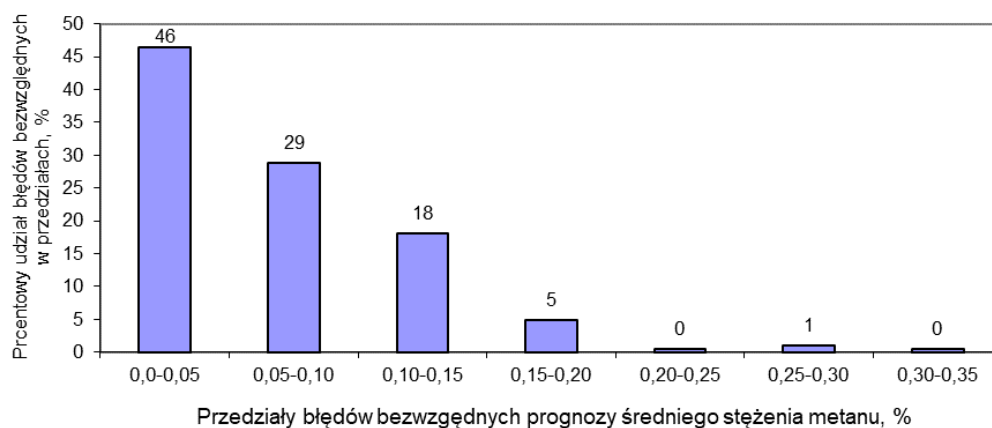
Czarne punkty oznaczają pomiarowe stężenia metanu. Z rysunku wynika, że większość pomiarów znajduje się w granicach prognozy. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że 150 na 205 przypadków prognozowanych stężeń metanu, czyli 73% znajduje się w przyjętych granicach prognoz. W 12 przypadkach na 205 (5,9% wszystkich prognoz) wartości pomiarowe są wyższe od górnej granicy prognoz.

Najwięcej błędów bezwzględnych prognozy (rys. 19 i 20), bo aż 95 (46% wszystkich błędów bezwzględnych) należy do przedziału od 0% CH<sub>4</sub> do 0,05% CH<sub>4</sub>.



**Rys. 19 Liczby błędów bezwzględnych prognozy w przedziałach błędów**

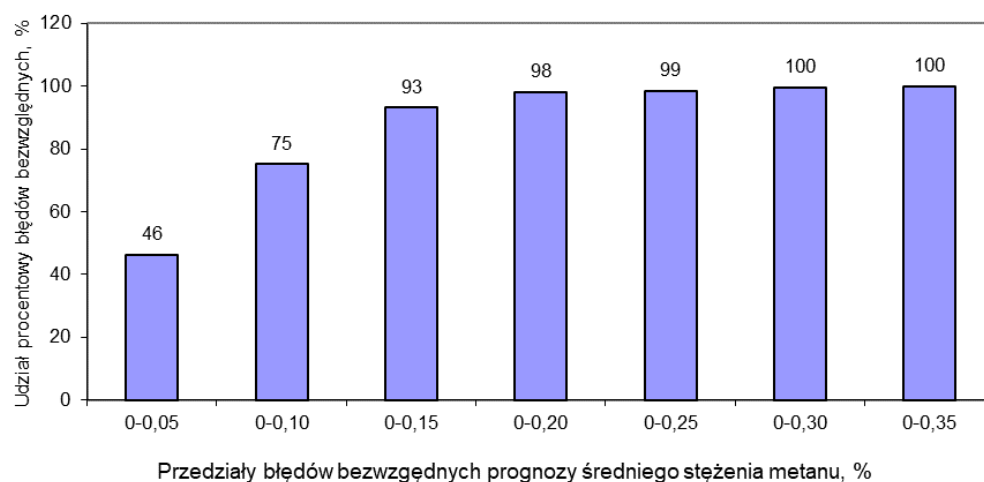
Źródło: opracowanie własne



**Rys. 20 Procentowy udział błędów bezwzględnych prognozy w przedziałach błędów**

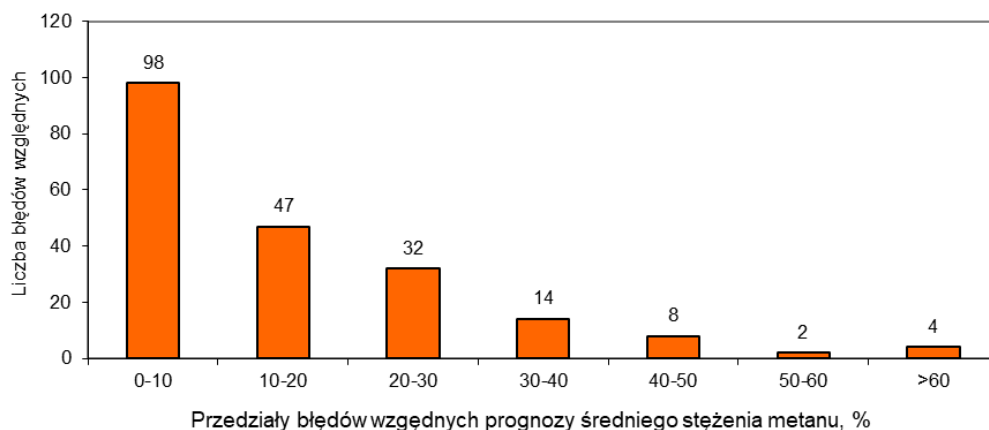
Źródło: opracowanie własne

Błędy bezwzględne o wartościach od 0% CH<sub>4</sub> do 0,1% CH<sub>4</sub> stanowią 75% wszystkich błędów (rys. 21). W przedziale od 0% do 0,20% CH<sub>4</sub> znajduje się 98% błędów bezwzględnych.

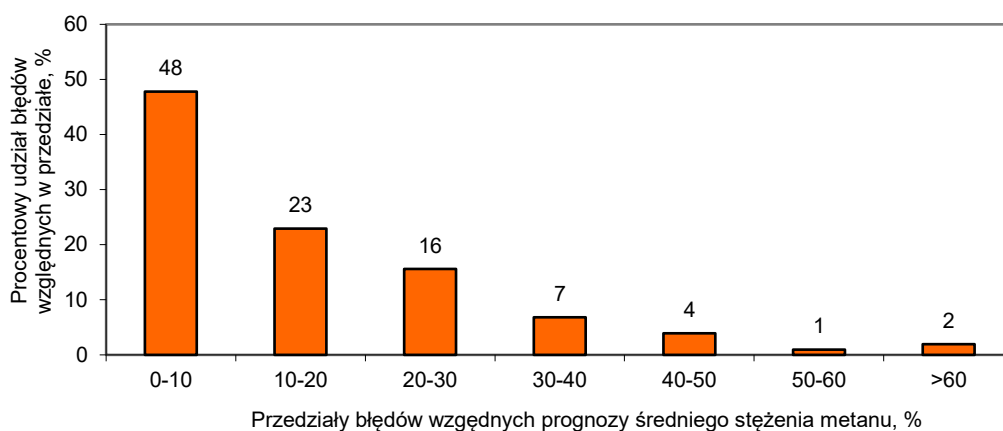


**Rys. 21 Procentowy udział błędów bezwzględnych prognozy w rosnących przedziałach błędów**

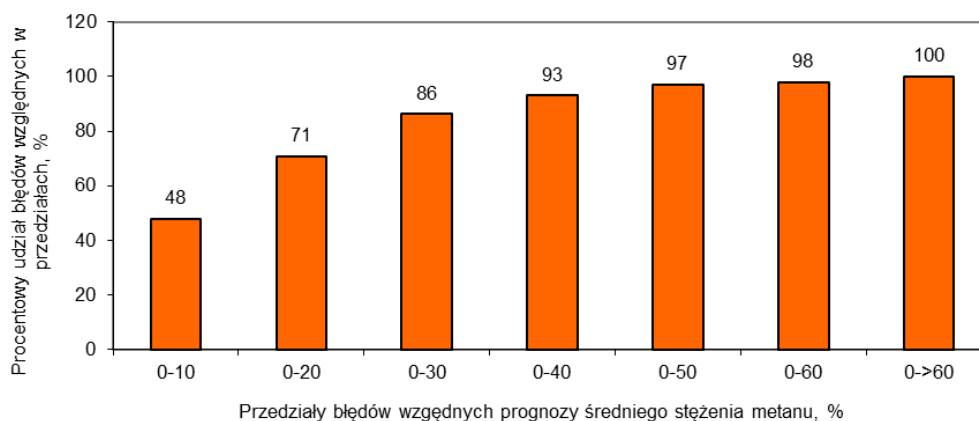
Źródło: opracowanie własne



**Rys. 22 Liczby błędów względnych prognozy w poszczególnych przedziałach błędów**  
*Źródło: opracowanie własne*



**Rys. 23 Procentowy udział błędów względnych prognozy w poszczególnych przedziałach błędów**  
*Źródło: opracowanie własne*



**Rys. 24 Procentowy udział błędów względnych prognozy w rosnących przedziałach błędów**  
*Źródło: opracowanie własne*

98 błędów względnych (48% wszystkich – rys. 22 i 23) nie przekracza 10%. Do przedziału od 10% do 20% należy 47 błędów względnych (23% całości błędów), a w przedziale od 20% do 30% znajdują się 32 błędy względne (16% błędów).

Błędy względne w przedziale od 0% do 20% stanowią 71% wszystkich błędów względnych, Do przedziału od 0% do 30% należy 86% wszystkich błędów względnych, a 93% błędów należy do przedziału od 0% do 40% (rys. 24).

# Ściana W-4 w pokładzie 360/1

**Tabela 4**  
*Parametry statystyczne dotyczące średniego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego*

| Parametr       | Stężenie pomiarowe<br>% CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd względny<br>% |
|----------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| średnia        | 0,91                                    | 0,89                                       | 0,08                                  | 8,58               |
| mediana        | 0,95                                    | 0,90                                       | 0,06                                  | 6,50               |
| percentyl 0,75 | 1,00                                    | 0,98                                       | 0,12                                  | 12,29              |
| percentyl 0,90 | 1,06                                    | 1,05                                       | 0,17                                  | 19,18              |
| max            | 1,16                                    | 1,17                                       | 0,29                                  | 32,67              |
| min            | 0,49                                    | 0,57                                       | 0,00                                  | 0,05               |
| zakres         | 0,67                                    | 0,60                                       | 0,29                                  | 32,62              |
| suma           | 141,82                                  | 137,40                                     | 11,94                                 | 1330,29            |

Dane pomiarowe odnosiły się do 156 dni. Prognozę autoregresyjną wykonano dla 155 dni (za wyjątkiem pierwszego dnia). Współczynnik korelacji wartości pomiarowych średniego stężenia metanu i wartości prognozowanych wynosi  $r = 0,74$ . Współczynnik determinacji wynosi 0,54 co oznacza, że prawdopodobieństwo istnienia zależności liniowej pomiędzy średnim stężeniem pomiarowym i prognozowanym wynosi około 54%, jest zatem dość niskie.

Z danych w tabeli 4 wynika, że różnica średniej wartości stężenia pomiarowego i prognozowanego wynosi około 0,02% CH<sub>4</sub>, mediany około 0,05% CH<sub>4</sub>, przy czym wartości tych parametrów dla danych pomiarowych są wyższe niż dla prognoz. Percentyle 0,75 różnią się o 0,02% CH<sub>4</sub>, natomiast percentyle 0,90 różnią się o 0,01% CH<sub>4</sub>.

Maksymalna wartość średniego stężenia pomiarowego wynosi 1,16% CH<sub>4</sub>, natomiast parametr ten dla średniego stężenia prognozowanego jest o 0,01% CH<sub>4</sub> wyższy, czyli wynosi 1,17% CH<sub>4</sub>.

Zakres średnich stężeń pomiarowych metanu wynosi 0,67% CH<sub>4</sub>, a dla wartości prognozowanych jest równy 0,60% CH<sub>4</sub> (czyli jest niższy o 0,07% CH<sub>4</sub>).

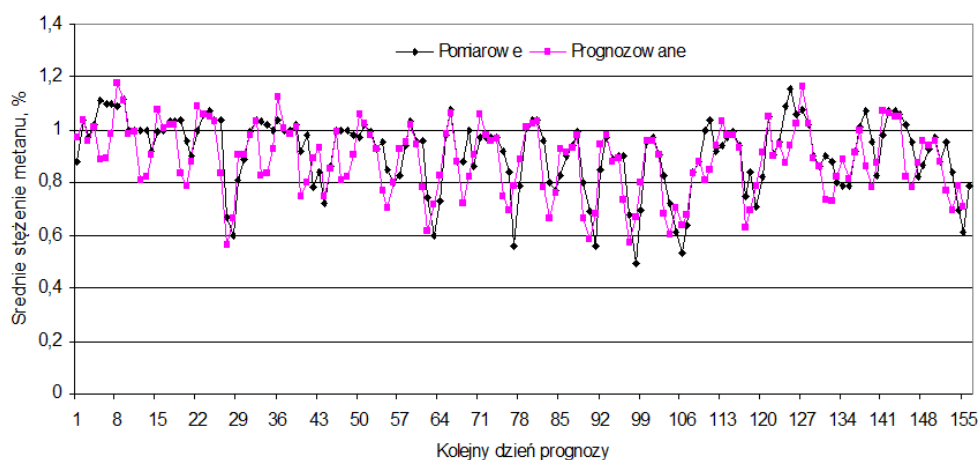
Suma stężeń pomiarowych wynosi 141,82%, a stężeń prognozowanych jest niższa i jest równa 137,40%. Zatem sumy różnią się jedynie o 4,42% CH<sub>4</sub>.

Średni błąd bezwzględny jest równy 0,08% CH<sub>4</sub>, a średni błąd względny – 8,58%.

Z wartości mediany wynika, że co najmniej 50% błędów bezwzględnych jest nie większych od 0,06% CH<sub>4</sub>, a co najmniej 50% błędów względnych jest nie większa niż 6,50%.

Maksymalny błąd bezwzględny prognozy wynosi 0,29% CH<sub>4</sub>, zaś maksymalny błąd względny 32,67%. Zakres błędów bezwzględnych wynosi 0,29% CH<sub>4</sub>, a błędów względnych 32,62%.

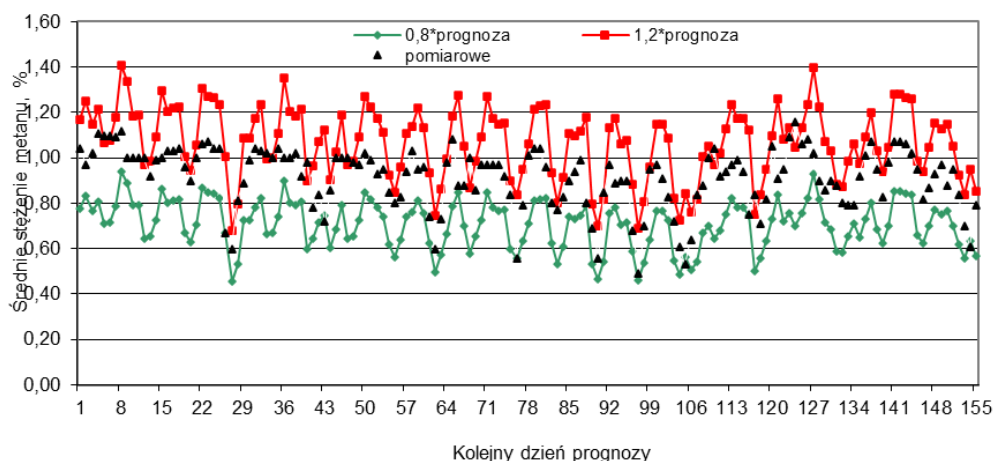
Z porównania wykresów pomiarowych i prognozowanych (rys. 25) stężeń metanu wynika, że prognozy z dość dobrze odwzorowują rzeczywiste wartości stężenia metanu.



**Rys. 25 Pomiarowe średnie stężenie metanu i granice górna i dolna prognozy**

Źródło: opracowanie własne

Rysunek 26 przedstawia przedział prognozy, którego górna granica wynosi 1,2 wartości prognozowanego stężenia, a dolna granica 0,8 wartości tego stężenia. Czarne punkty oznaczają pomiarowe stężenia metanu. Z rysunku wynika, że większość pomiarów znajduje się w granicach prognozy.



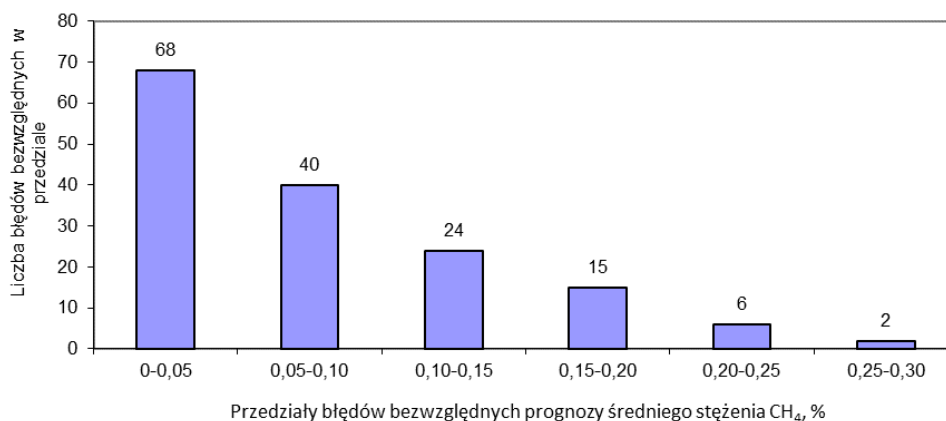
**Rys. 26 Pomiarowe stężenie metanu i granice górna i dolna prognozy**

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że 139 na 155 przypadków prognozowanych stężeń metanu, czyli 89,7%, znajduje się w granicach prognozy. W 13 przypadkach na 155 (8,4% wszystkich prognoz) wartości pomiarowe są wyższe od górnej granicy prognozy.

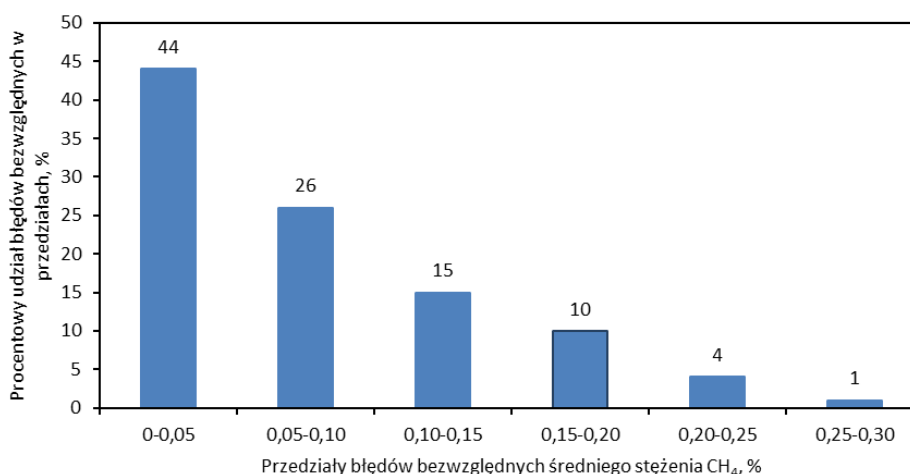
Najwięcej błędów bezwzględnych prognozy, (68 co stanowi 44% wszystkich błędów bezwzględnych) znajduje się w przedziale od 0% CH<sub>4</sub> do 0,05% CH<sub>4</sub> (rys. 27

i 28). W przedziale 0,05-0,10% CH<sub>4</sub> znajduje się 40 błędów (26% błędów). Liczby błędów bezwzględnych wolno maleją wraz ze wzrostem granic przedziałów.



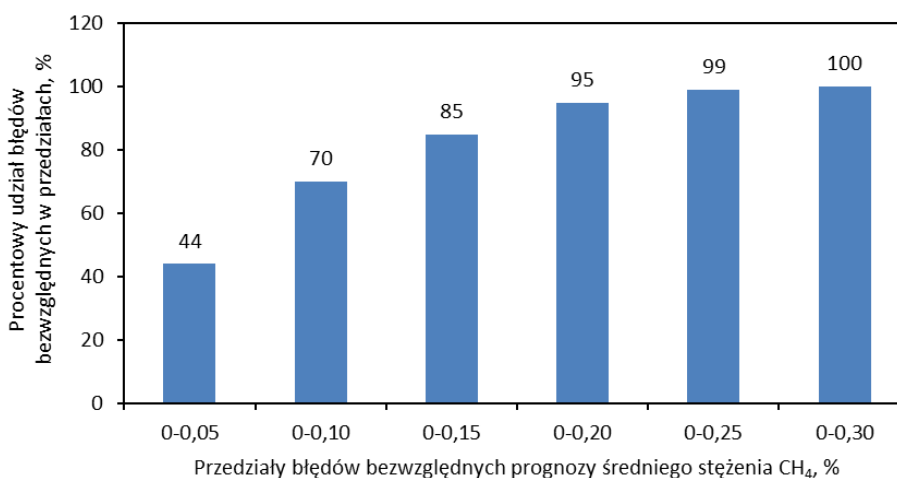
**Rys. 27 Liczby błędów bezwzględnych prognozy w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne



**Rys. 28 Procentowy udział błędów bezwzględnych prognozy w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne

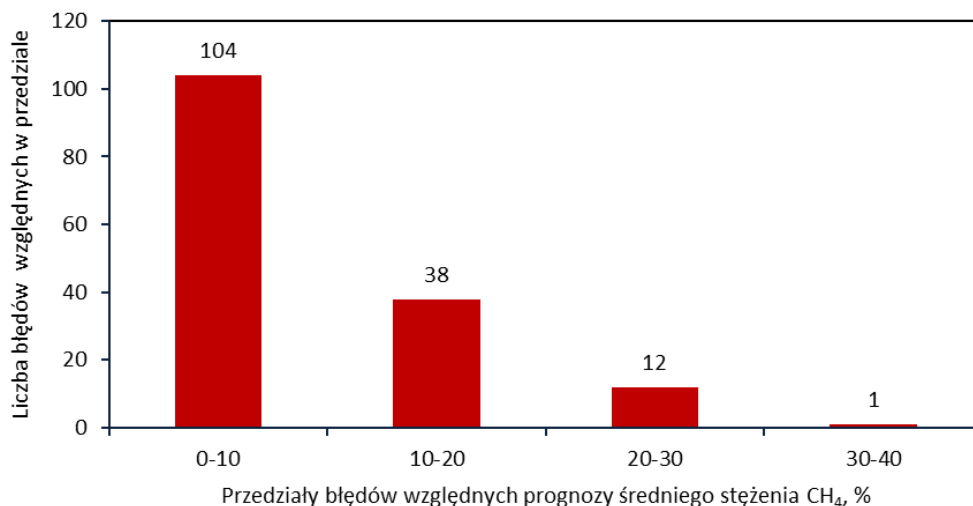


**Rys. 29 Procentowy udział błędów bezwzględnych prognozy w rosnących przedziałach błędów**

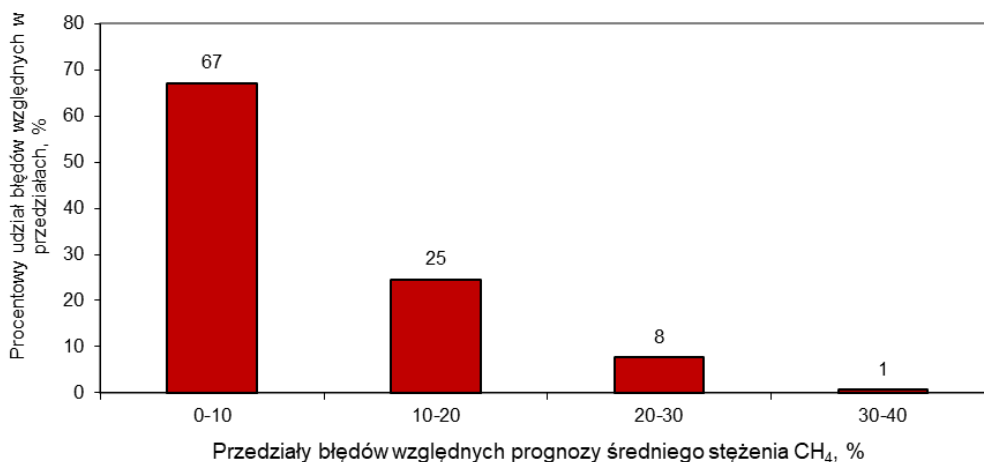
Źródło: opracowanie własne

Błędy bezwzględne (rys. 29) o wartościach od 0% CH<sub>4</sub> do 0,1% CH<sub>4</sub> stanowią 70% wszystkich błędów bezwzględnych (108 błędów), a w przedziale od 0% CH<sub>4</sub> do 0,20% CH<sub>4</sub> znajduje się 95% błędów bezwzględnych.

Z rys. 30 i 31 wynika, że do przedziału od 0% do 10% błędów względnych należą 104 błędy (67% wszystkich), a do przedziału od 10% do 20% należy 38 błędów (25% całej liczby błędów).

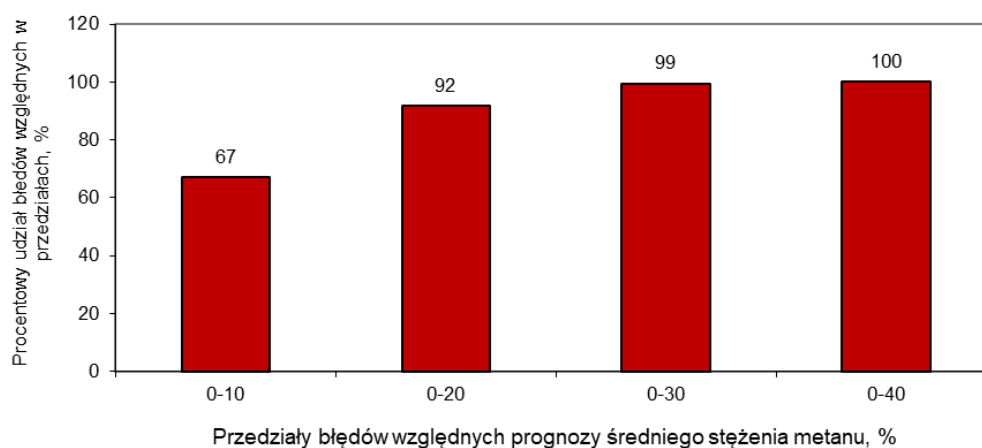


**Rys. 30 Liczby błędów względnych prognozy w poszczególnych przedziałach błędów**  
Źródło: opracowanie własne



**Rys. 31 Procentowy udział błędów względnych prognozy w poszczególnych przedziałach błędów**  
Źródło: opracowanie własne

Błędy względne (rys. 32) w przedziale do 10% wartości pomiarowej średniego stężenia metanu stanowią 67% wszystkich błędów, w przedziale od 0% do 20% znajduje się 92% wszystkich błędów względnych, natomiast przedział od 0% do 30% zawiera 99% względnych błędów prognoz.



**Rys. 32 Procentowy udział błędów względnych prognozy w rosnących przedziałach błędów**

*Źródło: opracowanie własne*

# Ściana N-3 w pokładzie 403/1

**Tabela 5**  
*Parametry statystyczne dotyczące średniego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego*

| Parametr       | Stężenie pomiarowe % CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane % CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny %CH <sub>4</sub> | Błąd względny % |
|----------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| średnia        | 0,67                                 | 0,68                                    | 0,07                              | 12,01           |
| mediana        | 0,69                                 | 0,70                                    | 0,05                              | 7,96            |
| percentyl 0,75 | 0,80                                 | 0,80                                    | 0,09                              | 14,84           |
| percentyl 0,90 | 0,92                                 | 0,87                                    | 0,15                              | 23,72           |
| max            | 1,04                                 | 1,02                                    | 0,38                              | 236,84          |
| min            | 0,10                                 | 0,17                                    | 0,00                              | 0,05            |
| zakres         | 0,94                                 | 0,85                                    | 0,38                              | 236,79          |
| suma           | 122,63                               | 123,16                                  | 12,22                             | 2185,51         |

Dane pomiarowe odnosiły się do 183 dni. Prognozę autoregresyjną wykonano dla 182 dni (za wyjątkiem pierwszego dnia). Współczynnik korelacji wartości pomiarowych średniego stężenia metanu i wartości prognozowanych wynosi nieco ponad  $r = 0,87$ . Współczynnik determinacji wynosi  $R^2 = 0,76$  co oznacza, że prawdopodobieństwo istnienia zależności liniowej pomiędzy średnim stężeniem pomiarowym i prognozowanym wynosi około 76%.

Różnica średniej wartości stężenia pomiarowego i prognozowanego (tabela 5) wynosi 0,01% CH<sub>4</sub>. Mediany również różnią się o 0,01% CH<sub>4</sub>.

Percentyle 0,75 są sobie równe, natomiast percentyl 0,90 dla średnich stężeń pomiarowych wynosi 0,92% CH<sub>4</sub>, a dla wartości prognozowanych wynosi 0,87% CH<sub>4</sub>, czyli jest mniejszy o 0,05% CH<sub>4</sub>.

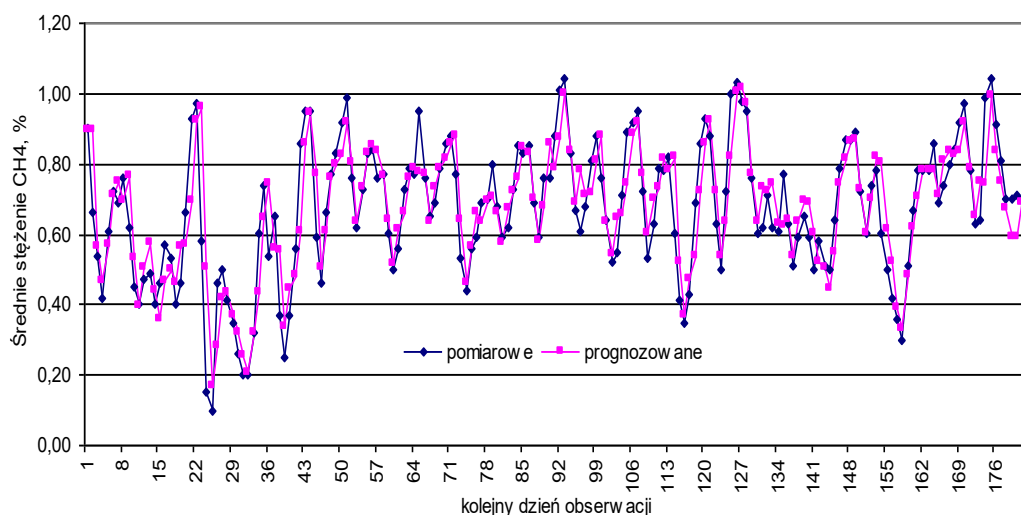
Maksymalna wartość średniego stężenia pomiarowego wynosi 1,04% CH<sub>4</sub>, a prognozowanego 1,02% CH<sub>4</sub>, czyli jest o 0,02% CH<sub>4</sub> niższa.

Zakres średnich pomiarowych stężeń metanu wynosi 0,94% CH<sub>4</sub>, natomiast dla średnich stężeń prognozowanych 0,85% CH<sub>4</sub>, tzn. jest mniejszy o 0,09% CH<sub>4</sub>.

Suma stężeń pomiarowych wynosi 122,63% CH<sub>4</sub>, a stężeń prognozowanych jest nieco wyższa i wynosi 123,16% CH<sub>4</sub>. Zatem sumy różnią się o jedynie 0,53% CH<sub>4</sub>.

Średnie błędy bezwzględny i względny wynoszą odpowiednio 0,07% CH<sub>4</sub> i 12,1%. Z wartości median wynika, że co najmniej 50% błędów bezwzględnych jest nie większych od 0,05% CH<sub>4</sub>, a co najmniej 50% błędów względnych jest nie większa niż 7,96%. Percentyl 0,75 dla błędu bezwzględnego wynosi 0,09% CH<sub>4</sub>, a dla względnego 14,84% CH<sub>4</sub>. Maksymalne wartości błędów bezwzględnego i względnego wynoszą odpowiednio 0,38% CH<sub>4</sub> i 236,84%. Tak duże wartości są spowodowane wystąpieniem dwóch dużych błędów prognozy.

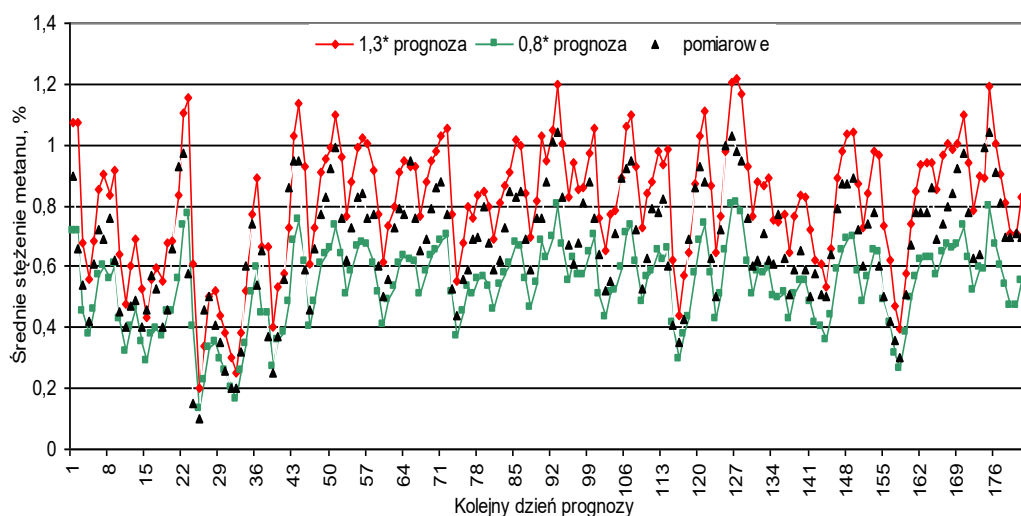
Z wykresu (rys. 33) wynika, że prognozy odwzorowują z dużą dokładnością rzeczywiste wartości stężenia metanu.



**Rys. 33 Pomiarowe i prognozowane wartości średniego stężenia metanu**

Źródło: opracowanie własne

Rysunek 34 przedstawia przedział prognozy, którego górna granica wynosi 1,2 wartości średniego prognozowanego stężenia, a dolna granica 0,8 wartości tego stężenia. Czarne punkty oznaczają pomiarowe stężenia metanu.

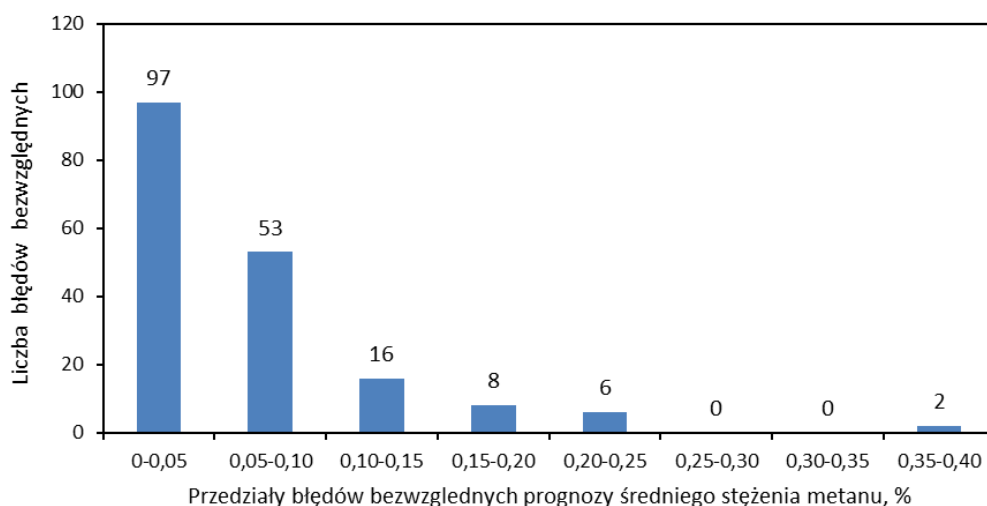


**Rys. 34 Pomiarowe średnie stężenie metanu i granice górna i dolna prognozy**

Źródło: opracowanie własne

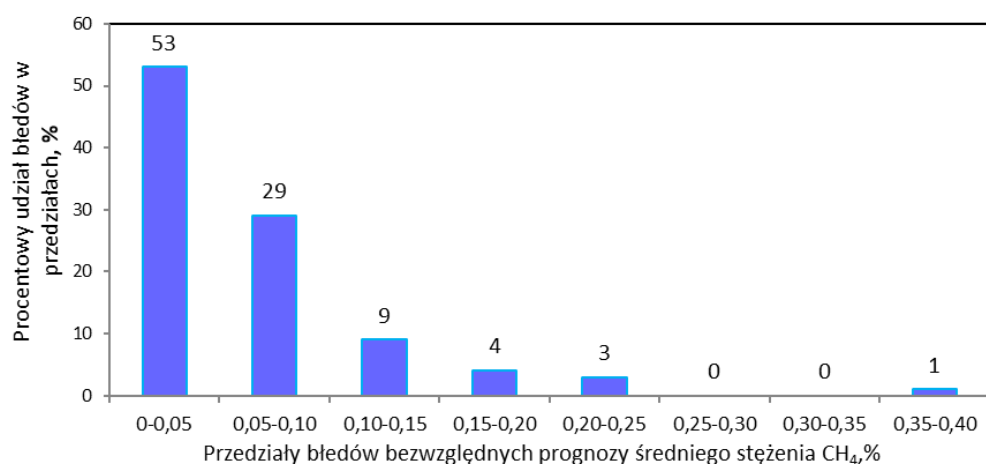
Z rysunku wynika, że większość pomiarów znajduje się w granicach prognozy. Przeprowadzone obliczenia wykazały, że 157 na 182 przypadków prognozowanych stężeń metanu, czyli 86,3% znajduje się w granicach prognozy. W 12 przypadkach na 182 (6,6% wszystkich prognoz) wartości pomiarowe są wyższe od górnej granicy prognozy.

Najwięcej błędów bezwzględnych prognozy (rys. 35 i 36), bo 97 (53% wszystkich błędów bezwzględnych) znajduje się w przedziale od 0%  $\text{CH}_4$  do 0,05%  $\text{CH}_4$ , istotnie mniej w przedziale 0,05-0,10%  $\text{CH}_4$  (53 błędy bezwzględne, czyli 29% tych błędów), a jeszcze mniej w przedziale 0,10-0,15%  $\text{CH}_4$  (16 błędów bezwzględnych czyli 9% błędów względnych).



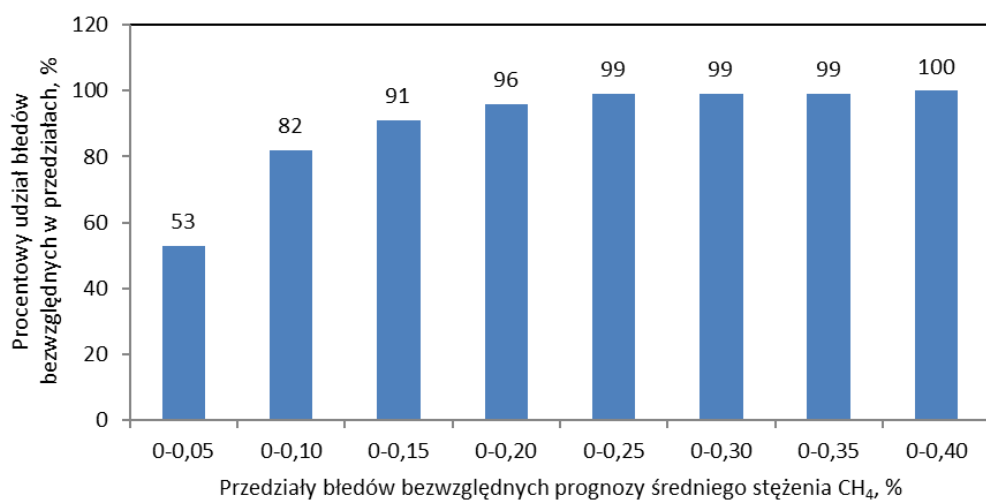
**Rys. 35 Liczby błędów bezwzględnych prognozy w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne



**Rys. 36 Procentowy udział błędów bezwzględnych prognozy w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne

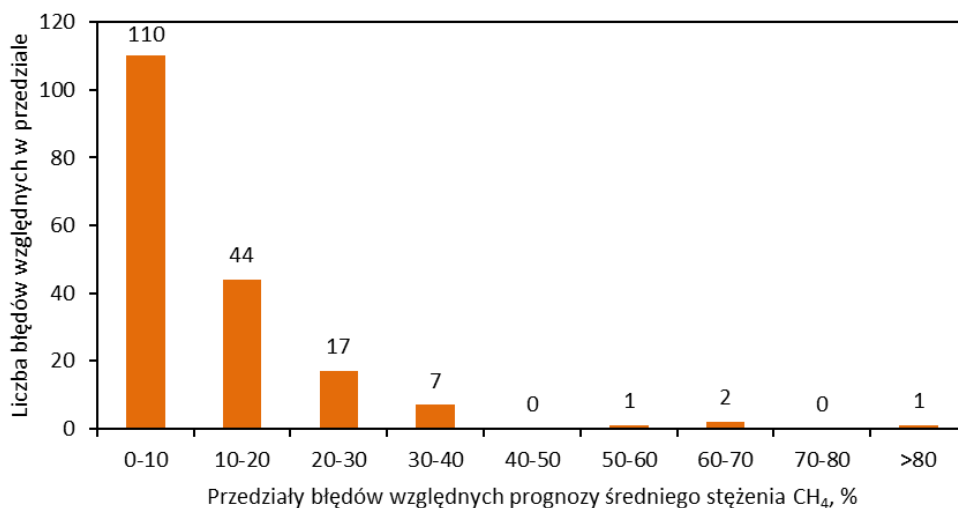


**Rys. 37 Procentowy udział błędów bezwzględnych prognozy w rosnących przedziałach błędów**

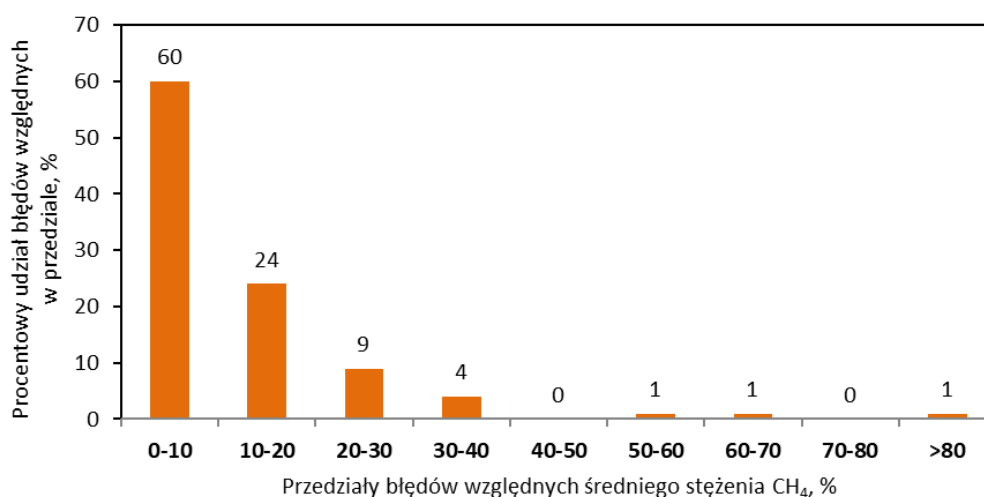
Źródło: opracowanie własne

Błędy bezwzględne o wartościach od 0% CH<sub>4</sub> do 0,1% CH<sub>4</sub> stanowią 82% wszystkich błędów (150 błędów bezwzględnych). W przedziale od 0% CH<sub>4</sub> do 0,20% CH<sub>4</sub> (rys. 37) znajduje się 96% błędów bezwzględnych (174 błędy bezwzględne).

Z analizy wykresów na rysunkach 38 i 39 wynika, że w przedziale do 10% wartości błędów względnych znajduje się 110 błędów (60% wszystkich), w przedziale od 10% do 20% – 44 błędy (24% całości błędów), a w przedziale od 20% do 30% – 17 błędów (9% wszystkich).

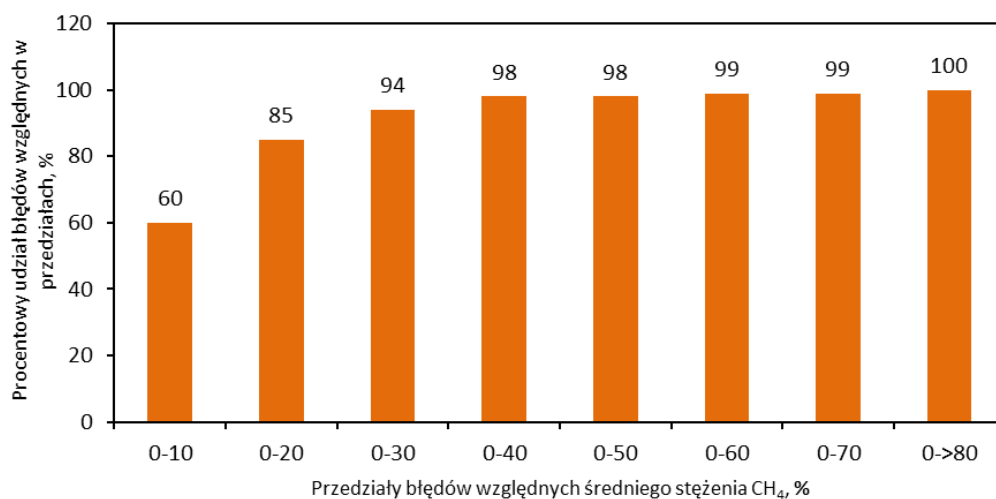


**Rys. 38 Liczby błędów względnych prognozy w poszczególnych przedziałach błędów**  
Źródło: opracowanie własne



**Rys. 39 Procentowy udział błędów względnych prognozy w poszczególnych przedziałach błędów**  
Źródło: opracowanie własne

W przedziale błędów względnych od 0% CH<sub>4</sub> do 20% CH<sub>4</sub> znajduje się 85% błędów względnych, natomiast w przedziale od 0% CH<sub>4</sub> do 30% CH<sub>4</sub> błędów należy 94% błędów (rys. 40).



**Rys. 40 Procentowy udział błędów względnych prognozy w rosnących przedziałach błędów**

*Źródło: opracowanie własne*

# Ściana A-32 w pokładzie 430/2

**Tabela 6**  
*Parametry statystyczne dotyczące średniego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego*

| Parametr       | Stężenie pomiarowe<br>% CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd względny<br>% |
|----------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| średnia        | 0,67                                    | 0,70                                       | 0,10                                  | 17,03              |
| mediana        | 0,63                                    | 0,67                                       | 0,08                                  | 11,94              |
| percentyl 0,75 | 0,80                                    | 0,82                                       | 0,15                                  | 23,78              |
| percentyl 0,90 | 0,99                                    | 0,99                                       | 0,21                                  | 39,80              |
| max            | 1,28                                    | 1,26                                       | 0,45                                  | 82,61              |
| min            | 0,28                                    | 0,19                                       | 0,00                                  | 0,06               |
| zakres         | 1,00                                    | 1,07                                       | 0,45                                  | 82,55              |
| suma           | 150,02                                  | 157,92                                     | 23,18                                 | 3830,82            |

Dane pomiarowe odnoszą się do 226 dni. Prognozę autoregresyjną wykonano dla 225 dni (za wyjątkiem pierwszego dnia). Współczynnik korelacji pomiędzy średnim stężeniem pomiarowym i prognozowanym wynosi  $r = 0,80$ . Współczynnik determinacji wynosi  $R^2 = 0,76$  co oznacza że istnieje 76 procentowa pewność liniowej zależności pomiędzy średnim stężeniem metanu pomiarowym i prognozowanym.

Różnica średniej wartości stężenia pomiarowego i prognozowanego wynosi około 0,03% CH<sub>4</sub>, mediany około 0,02% CH<sub>4</sub> (tabela 6). Wyższą wartość posiada średnie stężenie prognozowane (0,7% CH<sub>4</sub>).

Również mediana wartości prognozowanych średniego stężenia metanu wynosząca 0,67% CH<sub>4</sub> i percentyl 0,75 równy 0,82% CH<sub>4</sub> są wyższe od wartości pomiarowych tych parametru, które wynoszą odpowiednio 0,63% CH<sub>4</sub> i 0,80% CH<sub>4</sub>. Natomiast percentyle 0,90 są sobie równe (0,99% CH<sub>4</sub>).

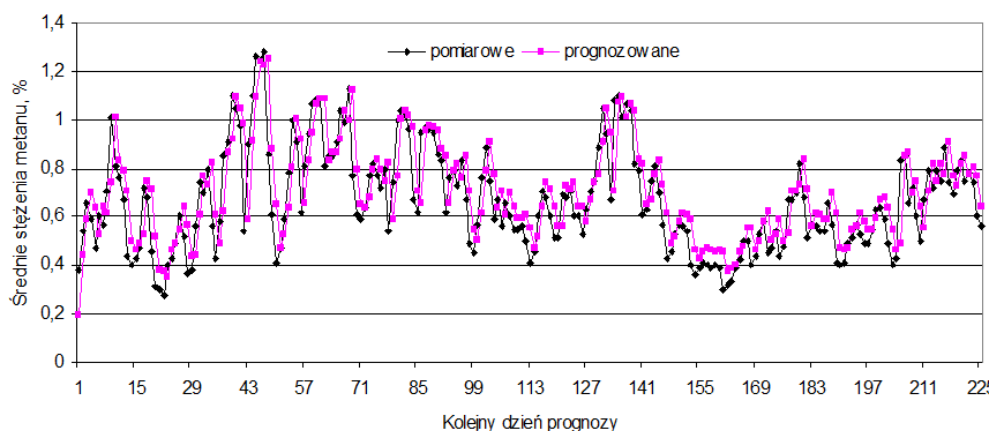
Wartość maksymalna stężenia pomiarowego wynosi 1,28% CH<sub>4</sub>, a stężenia prognozowanego – 1,26% CH<sub>4</sub>, czyli jest o 0,02% CH<sub>4</sub> niższa. Zakres zmienności stężenia pomiarowego wynosi 1,00% CH<sub>4</sub>, i jest niższy od zakresu stężenia prognozowanego o 0,07% CH<sub>4</sub>.

Suma stężeń pomiarowych wynosi 150,02% CH<sub>4</sub>, a stężeń prognozowanych jest nieco wyższa i wynosi 157,92% CH<sub>4</sub>. Sumy różnią się o 7,90% CH<sub>4</sub>, co stanowi około 5% sumy stężeń prognozowanych.

Średni błąd bezwzględny prognozy wynosi 0,10% CH<sub>4</sub>, natomiast średni błąd względny 17,03%. Z wartości median wynika, że co najmniej 50% błędów bezwzględnych jest nie większych od 0,08% CH<sub>4</sub>, a co najmniej 50% błędów względnych jest nie większa niż 11,94%.

Maksymalna wartość błędów bezwzględnych wynosi 0,45% CH<sub>4</sub>, a błędów względnych – 82,61%, natomiast ich zakresy wynoszą odpowiednio 0,45% CH<sub>4</sub> i 82,55%.

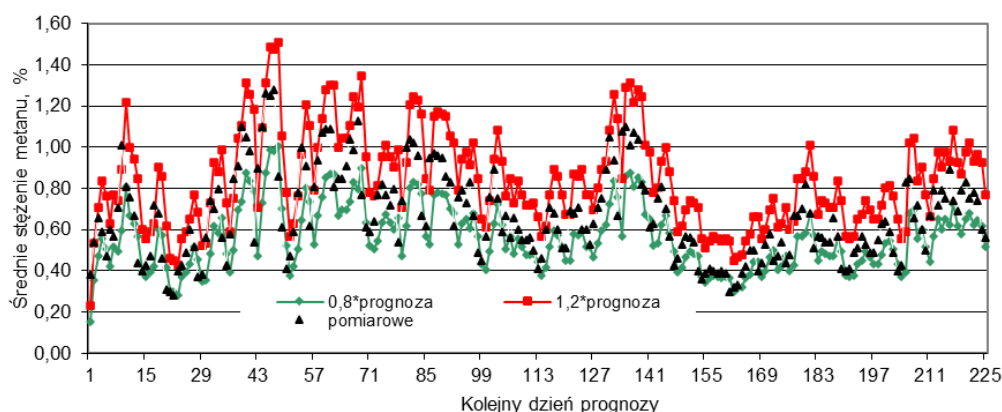
Z wykresu na rysunku 41 wynika, że prognozy w wielu przypadkach są zawyżone, co jest także potwierdzone wyższą wartością sumy prognoz w stosunku do sumy wartości pomiarowych.



**Rys. 41 Pomiarowe i prognozowane wartości średniego stężenia metanu**

Źródło: opracowanie własne

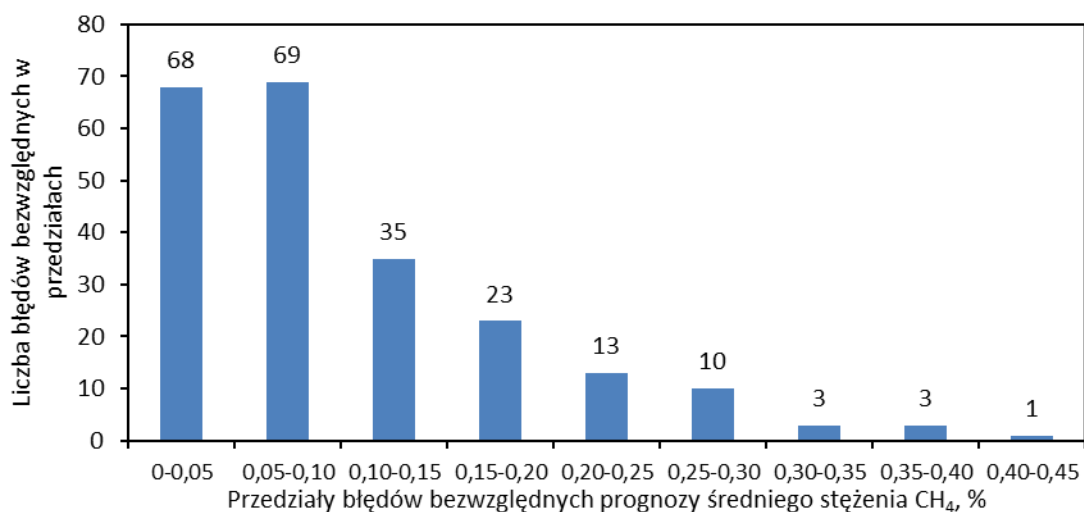
Rysunek 42 przedstawia przedział prognozy, którego górna granica wynosi 1,2 wartości prognozowanego stężenia, a dolna granica 0,8 wartości tego stężenia. Czarne punkty oznaczają pomiarowe stężenia metanu. Z rysunku wynika, że większość pomiarów znajduje się w granicach prognozy. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że 158 na 225 przypadków prognozowanych stężeń metanu, czyli około 70,2% znajduje się w granicach prognozy. W 21 przypadkach na 225 (9,3% wszystkich prognoz) wartości pomiarowe są wyższe od górnej granicy prognozy.



**Rys. 42 Pomiarowe średnie stężenie metanu i granice górna i dolna prognozy**

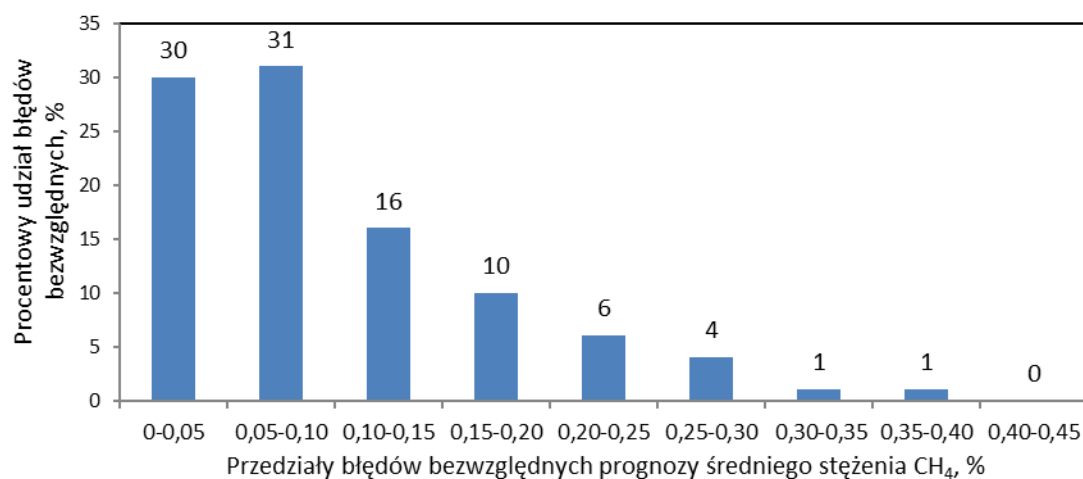
Źródło: opracowanie własne

W przedziale błędów bezwzględnych prognozy od 0% CH<sub>4</sub> do 0,05% CH<sub>4</sub> znajduje się 68 prognoz (30% prognoz, rys. 43 i 44). Najwięcej błędów bezwzględnych prognoz, bo 69 (31% wszystkich prognoz) znajduje się w przedziale od 0,05% CH<sub>4</sub> do 0,10% CH<sub>4</sub>. Błędy bezwzględne o wartościach do 0,1% CH<sub>4</sub> stanowią 61% wszystkich błędów. W przedziale od 0% CH<sub>4</sub> do 0,2% CH<sub>4</sub> znajduje się 87% błędów bezwzględnych (rys. 45).



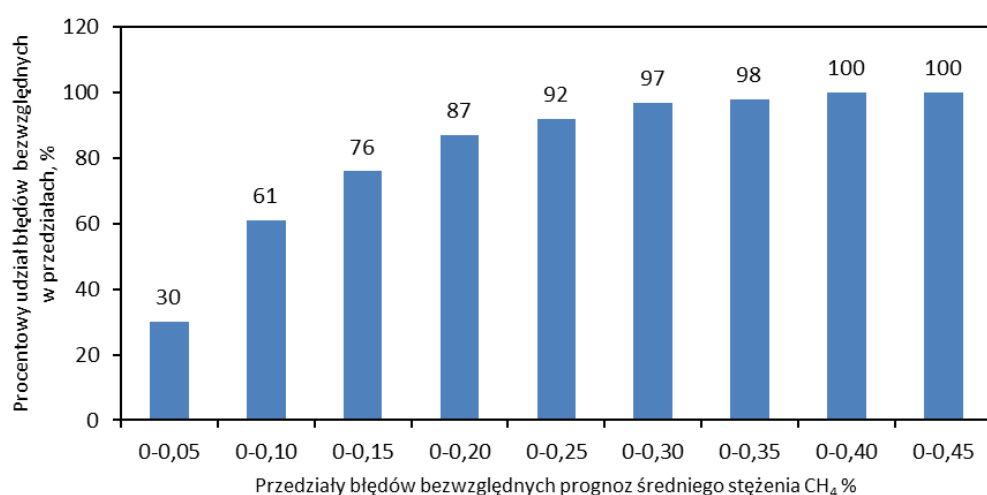
**Rys. 43 Liczby błędów bezwzględnych prognozy w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne



**Rys. 44 Procentowy udział błędów bezwzględnych prognozy w przedziałach błędów**

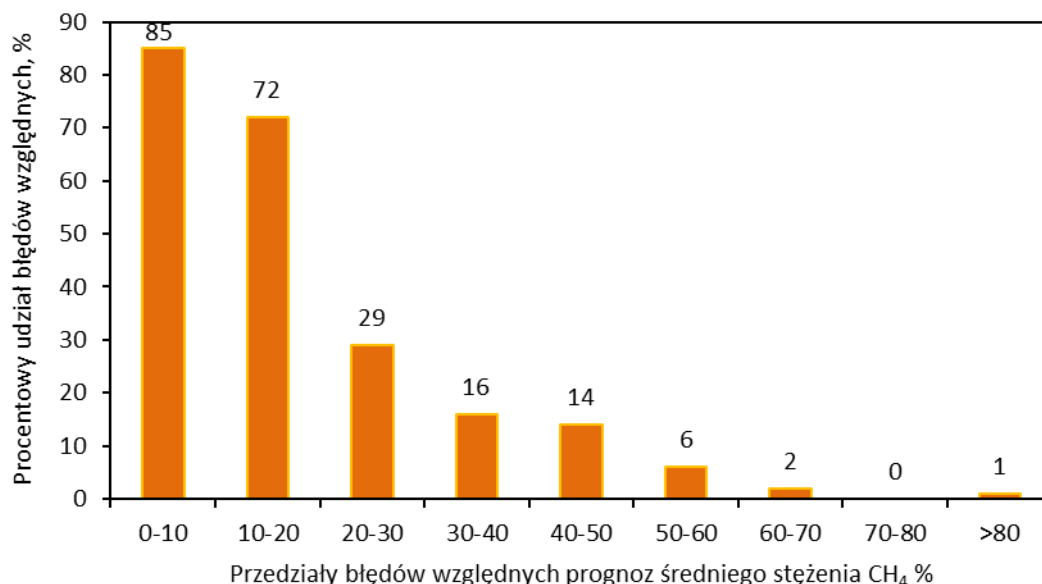
Źródło: opracowanie własne



**Rys. 45 Procentowy udział błędów bezwzględnych prognozy w rosnących przedziałach błędów**

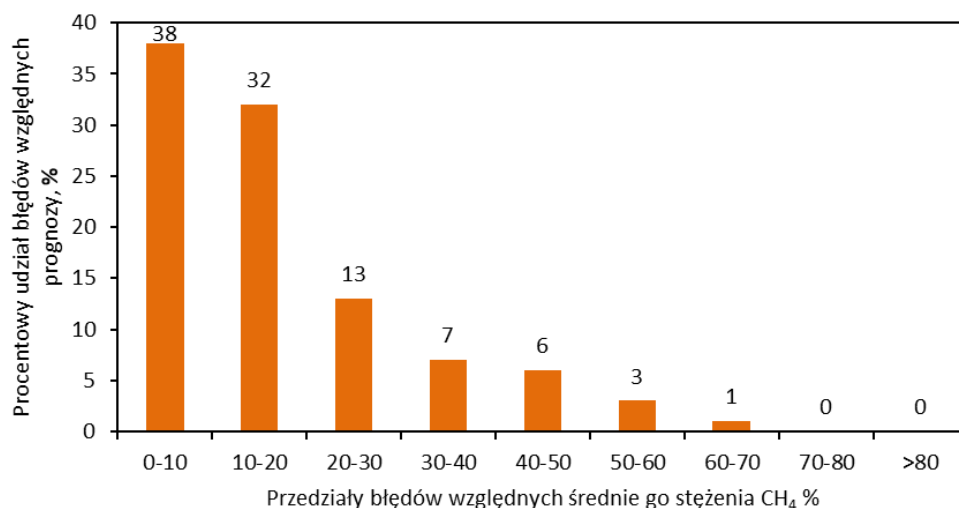
Źródło: opracowanie własne

Z danych przedstawionych na rysunkach 46 i 47 wynika, że najliczniejszym przedziałem błędów względnych, zawierającym 85 błędów (38% całości), jest przedział od 0% do 10%, drugim pod tym względem jest przedział od 10% do 20% (zawiera 72 błędy, czyli 32% całkowitej ich liczby), a trzecim – przedział od 20% do 30%, zawierający 29 błędów względnych (13% wszystkich błędów).



**Rys. 46 Liczby błędów względnych prognozy w poszczególnych przedziałach błędów**

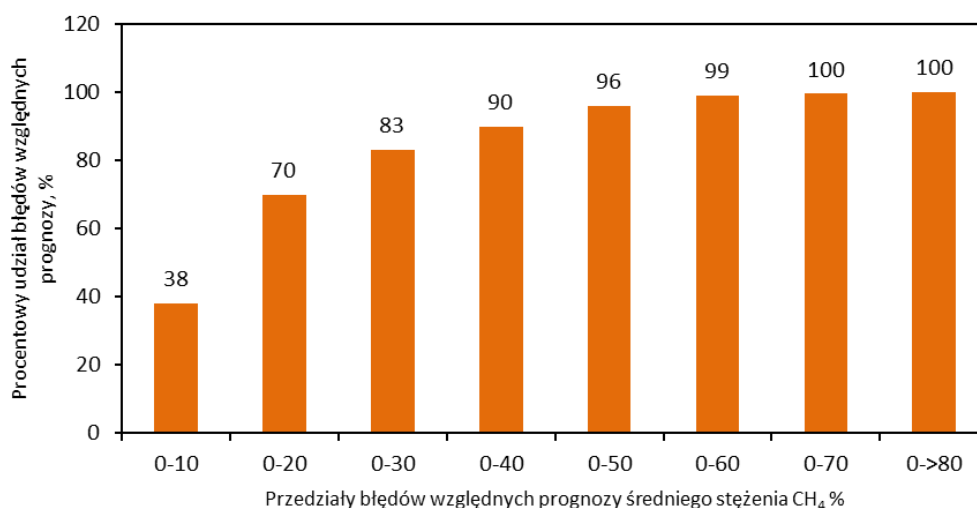
Źródło: opracowanie własne



**Rys. 47 Procentowy udział błędów względnych prognozy w poszczególnych przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne

Błędy względne (rys. 48).w przedziale do 10% wartości pomiarowej średniego stężenia metanu stanowią 38% wszystkich błędów, a w przedziale błędów od 0% do 20% znajduje się 70% wszystkich błędów względnych. 90% błędów względnych należy do przedziału od 0% do 40%.



**Rys. 48 Procentowy udział błędów względnych prognozy w rosnących przedziałach błędów**

*Źródło: opracowanie własne*

# Ściana E-4 w pokładzie 505/1

**Tabela 7**  
*Parametry statystyczne dotyczące średniego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego*

| Parametr       | Stężenie pomiarowe<br>% CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd względny<br>% |
|----------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| średnia        | 0,75                                    | 0,73                                       | 0,10                                  | 14,05              |
| mediana        | 0,74                                    | 0,69                                       | 0,08                                  | 11,28              |
| percentyl 0,75 | 0,87                                    | 0,84                                       | 0,15                                  | 17,39              |
| percentyl 0,90 | 1,13                                    | 0,99                                       | 0,22                                  | 31,14              |
| max            | 1,22                                    | 1,19                                       | 0,37                                  | 51,43              |
| min            | 0,31                                    | 0,29                                       | 0,00                                  | 0,23               |
| zakres         | 0,91                                    | 0,90                                       | 0,37                                  | 51,20              |
| suma           | 94,85                                   | 91,37                                      | 12,91                                 | 1770,55            |

Dane pomiarowe odnosiły się do 127 dni. Prognozę autoregresyjną wykonano dla 126 dni (za wyjątkiem pierwszego dnia). Wartość współczynnika korelacji pomiędzy średnimi stężeniami pomiarowymi i prognozowanymi wynosi około  $r = 0,83$  natomiast współczynnik determinacji wynosi około  $R^2 = 0,68$  co oznacza, że pewność iż zależność między wartościami pomiarowymi i prognozowanymi średniego stężenia metanu jest liniowa wynosi 68%.

Wszystkie parametry statystyczne dotyczące stężenia pomiarowego są wyższe niż dla stężenia prognozowanego (tabela 7). Wartość średnia pomiarowa średniego stężenia metanu wynosi 0,75% CH<sub>4</sub>, a wartość prognozowana 0,73% CH<sub>4</sub>, czyli różnica między średnimi to około 0,02% CH<sub>4</sub>. Różnica median wynosi około 0,05% CH<sub>4</sub>, percentyl 0,75 dotyczący średnich wartości pomiarowych (0,87% CH<sub>4</sub>) jest o 0,03% CH<sub>4</sub> wyższy niż dla wartości prognozowanych (0,84% CH<sub>4</sub>). Podobnie percentyl 0,90 dotyczący średnich wartości pomiarowych (1,13% CH<sub>4</sub>) jest o 0,14% CH<sub>4</sub> wyższy niż dla wartości prognozowanych (0,99% CH<sub>4</sub>).

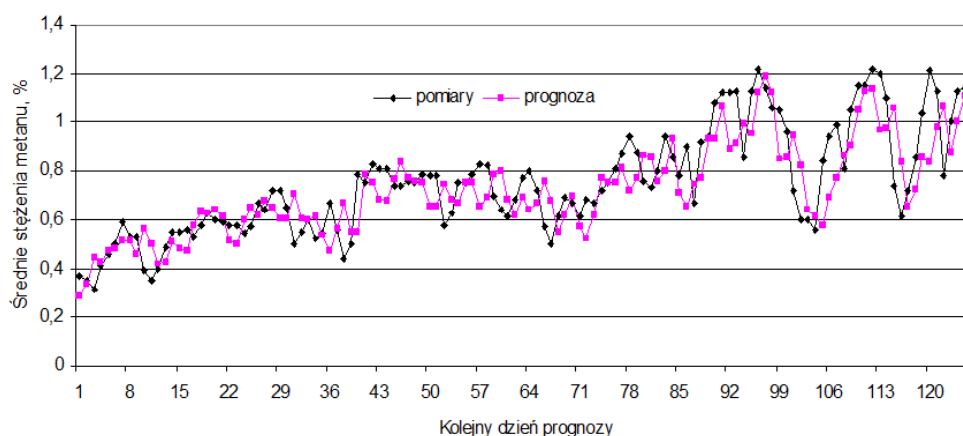
Maksymalna wartość średniego stężenia pomiarowego wynosi 1,22% CH<sub>4</sub>, natomiast zakres stężeń pomiarowych jest równy 0,91% CH<sub>4</sub>. W przypadku średnich stężeń prognozowanych wartość maksymalnego stężenia wynosi 1,19% CH<sub>4</sub>, a zakres 0,90% CH<sub>4</sub>.

Suma stężeń pomiarowych wynosi 94,85% CH<sub>4</sub>, a stężeń prognozowanych jest nieco niższa – 91,37% CH<sub>4</sub>. Zatem sumy różnią się o 3,48% CH<sub>4</sub>.

Błąd bezwzględny wartości średniej średniego stężenia metanu wynosi 0,10% CH<sub>4</sub>, a średni błąd względny i 14,05%. Obydwa błędy są zatem dość wysokie. Mediany tych błędów są równe odpowiednio 0,08% CH<sub>4</sub> i 11,28%.

Percentyl 0,75 błędu bezwzględnego jest równy 0,15% CH<sub>4</sub>, zaś błędu względnego 17,39%. Percentyl 0,90 błędu względnego wynosi 0,22% CH<sub>4</sub>, a błędu bezwzględnego 31,14%. Wartość maksymalnego błędu bezwzględnego prognoz jest równa 0,37% CH<sub>4</sub>, natomiast maksymalny błąd względny prognoz wynosi 51,43%.

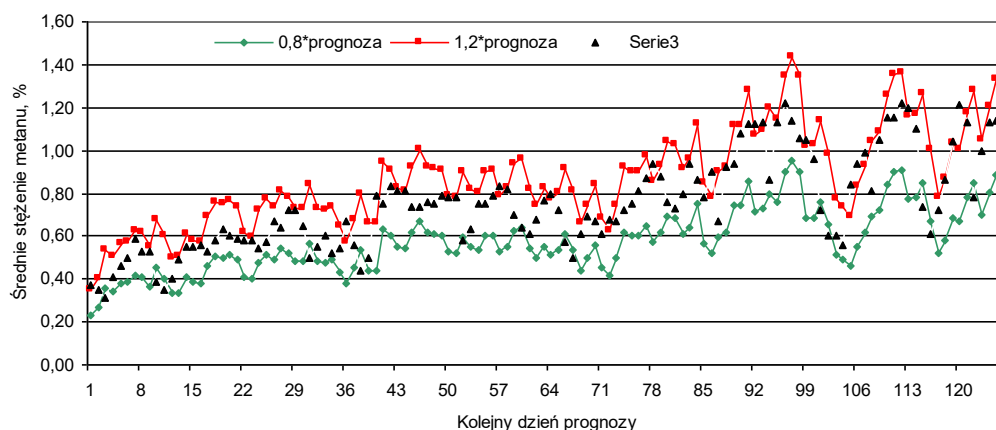
Z analizy rysunku 49 wynika, że prognoza stężenia metanu dość znacznie odbiega od wartości pomiarowych, co potwierdza analiza danych zawartych w tabeli 7.



**Rys. 49 Pomiarowe i prognozowane wartości średniego stężenia metanu**

Źródło: opracowanie własne

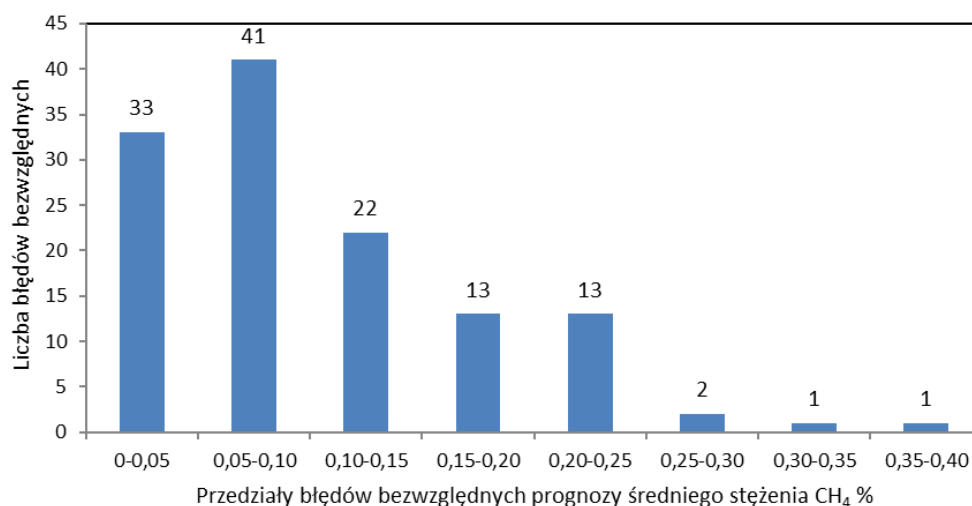
Rysunek 50 przedstawia przedział prognozy, którego górna granica jest równa 1,2 razy stężenie prognozowane, a dolna granica 0,8 razy stężenie prognozowane.



**Rys. 50 Pomiarowe średnie stężenie metanu i granice górna i dolna prognozy**

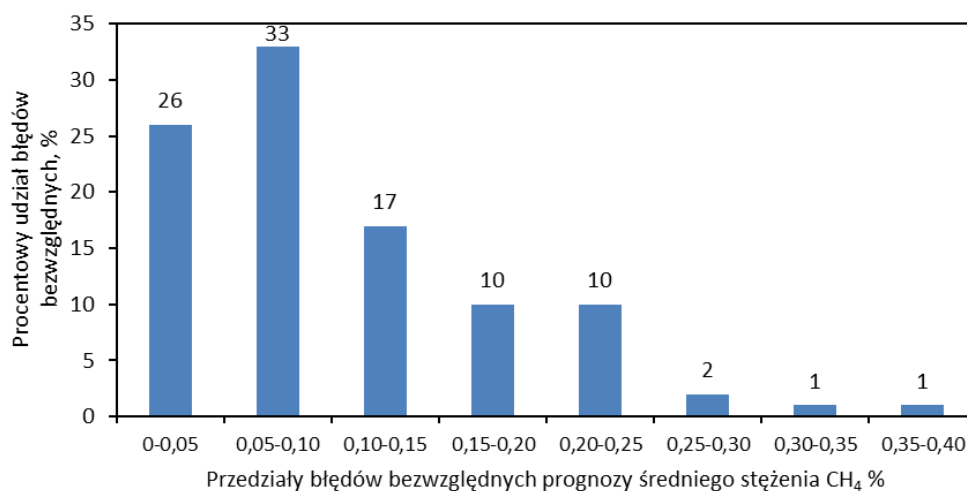
Źródło: opracowanie własne

Czarne punkty oznaczają pomiarowe stężenia metanu. Z rysunku wynika, że większość pomiarów znajduje się w granicach prognozy. Obliczenia wykazały, że 95 na 126 przypadków prognozowanych stężeń metanu, czyli około 75,4% znajduje się w granicach prognozy. W 18 przypadkach na 126 (14,3% wszystkich prognoz) wartości pomiarowe są wyższe od górnej granicy prognozy.



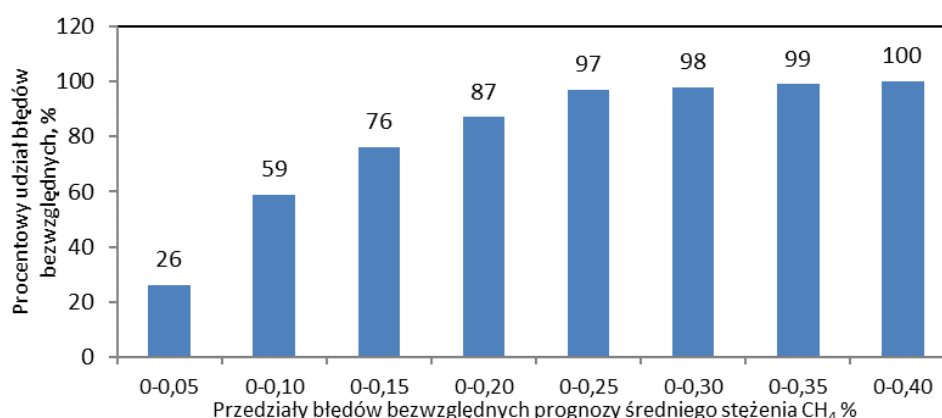
**Rys. 51 Liczby błędów bezwzględnych prognozy w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne



**Rys. 52 Procentowy udział błędów bezwzględnych prognozy w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne

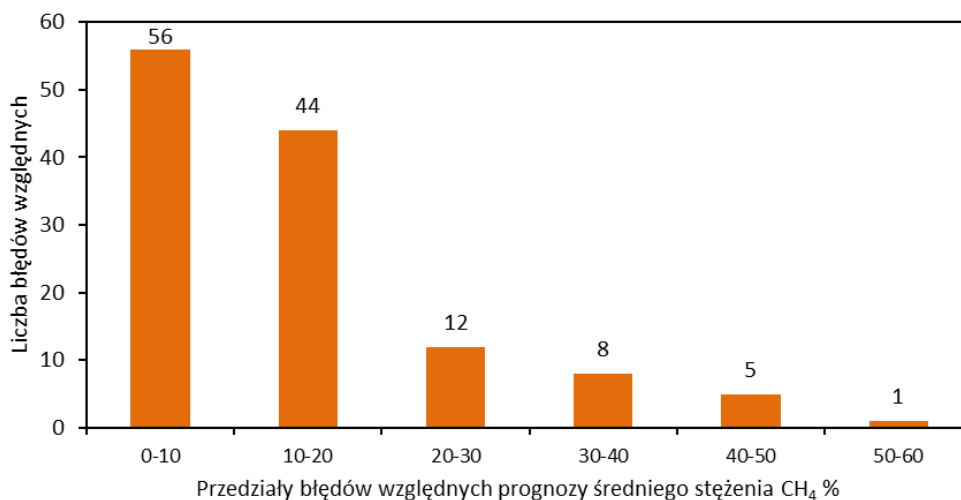


**Rys. 53 Procentowy udział błędów bezwzględnych prognozy w rosnących przedziałach błędów**

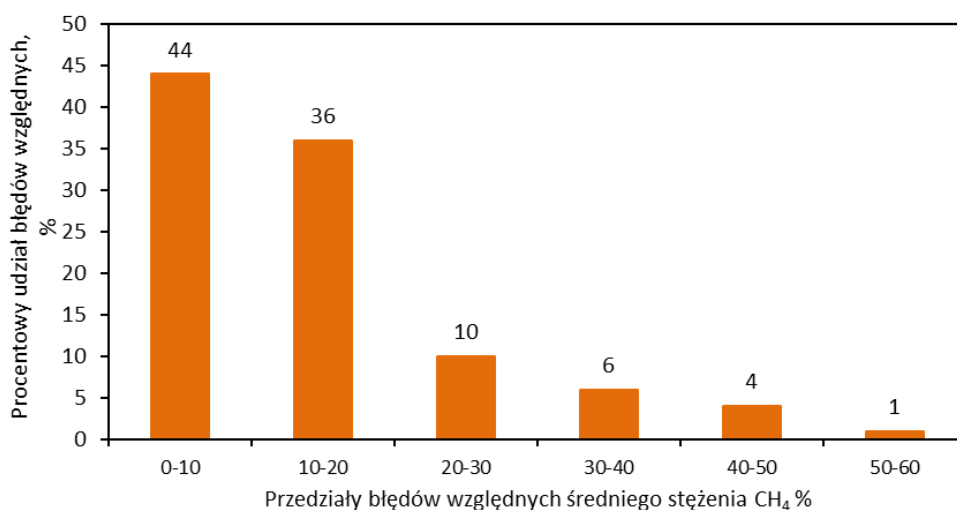
Źródło: opracowanie własne

Najwięcej błędów bezwzględnych prognozy (rys. 51), bo 41 (33% wszystkich błędów bezwzględnych – rys. 52) znajduje się w przedziale od 0,05% CH<sub>4</sub> do 0,10%

CH<sub>4</sub>, a przedział 0,0% CH<sub>4</sub> do 0,05% CH<sub>4</sub> zawiera 33 błędy, czyli około 26% wszystkich błędów bezwzględnych. Błędy bezwzględne o wartościach do 0,1% CH<sub>4</sub> stanowią 59% wszystkich błędów (rys. 53). W przedziale od 0% CH<sub>4</sub> do 0,2% CH<sub>4</sub> znajduje się 87% błędów bezwzględnych.

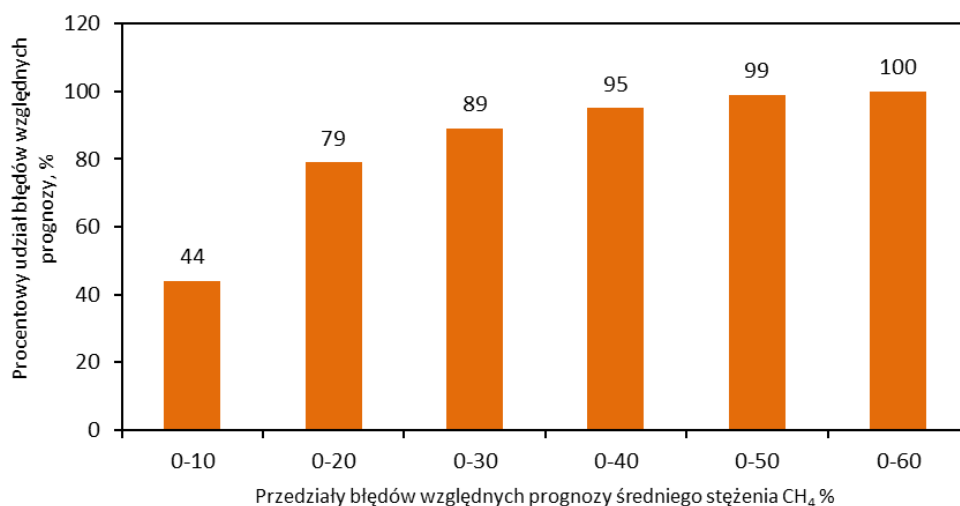


**Rys. 54 Liczby błędów względnych prognozy w poszczególnych przedziałach błędów**  
Źródło: opracowanie własne



**Rys. 55 Procentowy udział błędów względnych prognozy w poszczególnych przedziałach błędów**  
Źródło: opracowanie własne

Z danych przedstawionych na rysunkach 54 i 55 wynika, że najliczniejszym przedziałem błędów względnych, zawierającym 56 błędów (44% całości), jest przedział od 0% do 10%, drugim pod tym względem jest przedział od 10% do 20% (zawiera 44 błędy, czyli 36% całkowitej ich liczby), a trzecim – przedział od 20% do 30%, zawierający 12 błędów względnych (10% wszystkich błędów).



**Rys. 56 Procentowy udział błędów względnych prognozy w rosnących przedziałach błędów**

*Źródło: opracowanie własne*

Błędy względne (rys. 56) w przedziale od 0% do 10% wartości pomiarowej średniego stężenia metanu stanowią 44% wszystkich błędów, a w przedziale błędów od 0% do 20% znajduje się 79% błędów względnych. Do przedziału od 0% do 30% należy 89% błędów względnych.

## Ściana G-6 w pokładzie 413/2

**Tabela 8**  
*Parametry statystyczne dotyczące średniego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego*

| Parametr       | Stężenie pomiarowe<br>% CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd względny<br>% |
|----------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| średnia        | 0,37                                    | 0,41                                       | 0,05                                  | 15,89              |
| mediana        | 0,37                                    | 0,41                                       | 0,04                                  | 10,42              |
| percentyl 0,75 | 0,41                                    | 0,45                                       | 0,08                                  | 23,23              |
| percentyl 0,90 | 0,44                                    | 0,49                                       | 0,12                                  | 38,06              |
| max            | 0,53                                    | 0,60                                       | 0,21                                  | 77,64              |
| min            | 0,18                                    | 0,21                                       | 0,00                                  | 0,16               |
| zakres         | 0,35                                    | 0,39                                       | 0,21                                  | 77,48              |
| suma           | 85,51                                   | 95,20                                      | 12,71                                 | 3719,39            |

Dane pomiarowe odnosiły się do 235 dni. Prognozę autoregresyjną wykonano dla 234 dni (za wyjątkiem pierwszego dnia). Wartość współczynnika korelacji pomiędzy średnimi stężeniami metanu pomiarowymi a prognozowanymi wynosi  $r = 0,65$ . Wartość współczynnika determinacji wynosi  $R^2 = 0,42$ , a zatem jest niski. Wynika to z niskich wartości pomiarowych stężenia metanu, w których błąd pomiarowy stanowi znaczną część wartości pomiarowej.

Wartości parametrów statystycznych (tabela 8) prognozowanego średniego stężenia metanu są wyższe od odpowiednich wartości parametrów stężenia pomiarowego. Różnica średniej wartości stężenia pomiarowego (0,37% CH<sub>4</sub>) i prognozowanego (0,41% CH<sub>4</sub>) wynosi 0,04% CH<sub>4</sub>. Różnica wartości median stanowi również około 0,04% CH<sub>4</sub>. Także percentyl 0,75 dotyczący średnich wartości pomiarowych (0,41% CH<sub>4</sub>) jest o 0,04% CH<sub>4</sub> niższy niż dla wartości prognozowanych (0,45% CH<sub>4</sub>). Podobnie percentyl 0,90 dotyczący średnich wartości pomiarowych (0,44% CH<sub>4</sub>) jest o 0,05% CH<sub>4</sub> niższy niż dla wartości prognozowanych (0,49% CH<sub>4</sub>).

Maksymalne stężenia prognozowane o wartości 0,60% CH<sub>4</sub> są wyższe od pomiarowych o 0,07% CH<sub>4</sub>. Zakres zmienności stężenia pomiarowego wynosi 0,35% CH<sub>4</sub>, a prognozowanego 0,39% CH<sub>4</sub> (różnica wynosi 0,04% CH<sub>4</sub>).

Suma stężeń pomiarowych jest równa 85,51% CH<sub>4</sub>, natomiast stężeń prognozowanych jest wyższa i wynosi 95,20% CH<sub>4</sub>. Zatem sumy różnią się o 9,69% CH<sub>4</sub>.

Średni błąd bezwzględny jest niski (0,05% CH<sub>4</sub>). Natomiast średni błąd względny wynosi 15,89%.

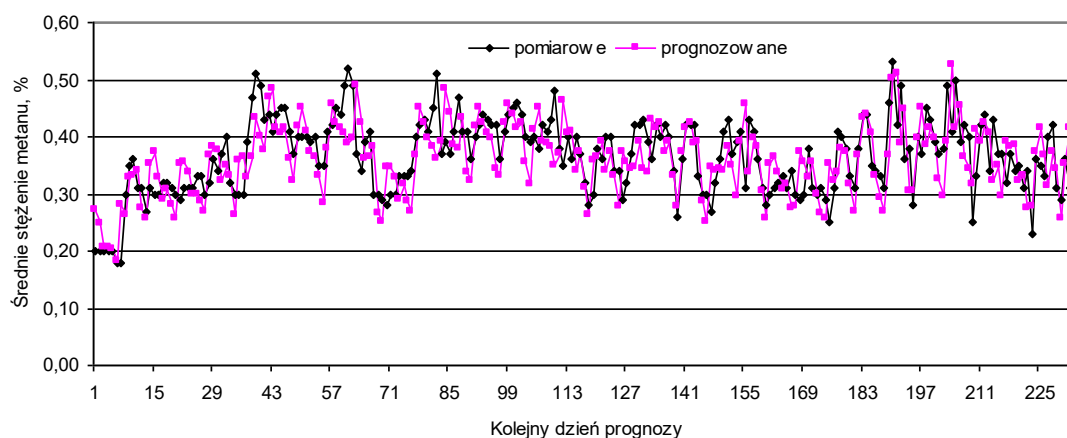
Z wartości mediany wynika, że co najmniej 50% błędów bezwzględnych jest nie większych od 0,04% CH<sub>4</sub>, a co najmniej 50% błędów względnych jest nie większa niż 10,42%.

Z wartości percentyla 0,75 wynika, że 75% błędów bezwzględnych prognozy jest nie większych niż 0,08% CH<sub>4</sub>, a błędów względnych nie większych niż 23,23%.

Percentyl 0,90 dla błędów bezwzględnych stanowi 0,12% CH<sub>4</sub>, natomiast dla błędów względnych 38,06%. Maksymalny błąd bezwzględny posiada wartość 0,21% CH<sub>4</sub>, natomiast maksymalny błąd względny jest równy 77,64%.

Zakres błędów bezwzględnych wynosi 0,21% CH<sub>4</sub>, a błędów względnych 77,48%.

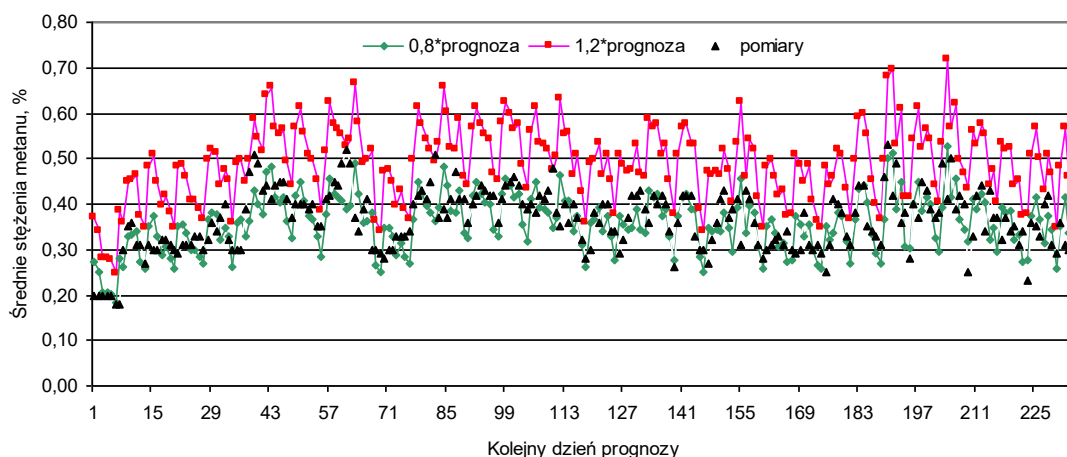
Na rysunku 57 są zauważalne znaczne różnice pomiędzy stężeniem metanu pomiarowym i prognozowanym.



**Rys. 57 Pomiarowe i prognozowane wartości średniego stężenia metanu**

Źródło: opracowanie własne

Rysunek 58 przedstawia przedział prognozy, którego górna granica stanowi 120% wartości prognozowanego stężenia, a dolna granica 80% wartości tego stężenia.



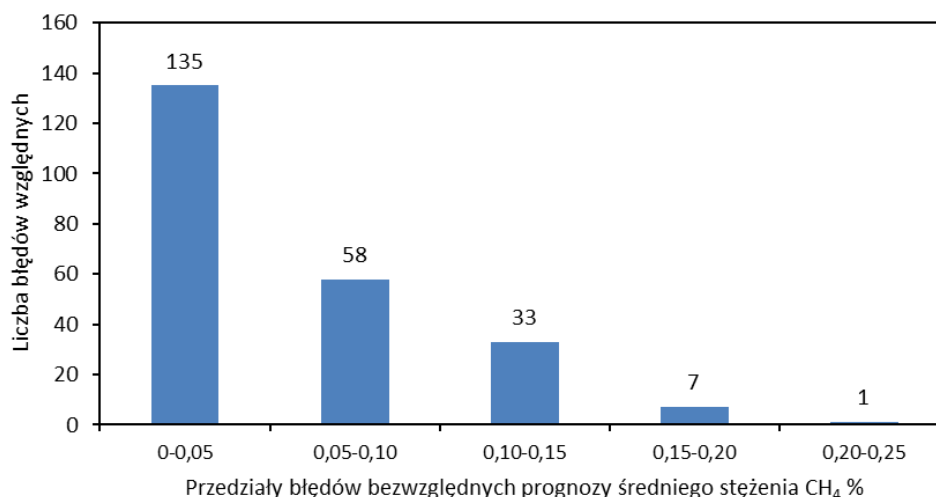
**Rys. 58 Pomiarowe średnie stężenie metanu oraz granice górna i dolna prognozy**

Źródło: opracowanie własne

Czarne punkty oznaczają pomiarowe stężenia metanu. Z rysunku wynika, że większość pomiarów znajduje się w granicach prognozy. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że 140 na 234 przypadków prognozowanych stężeń metanu, czyli

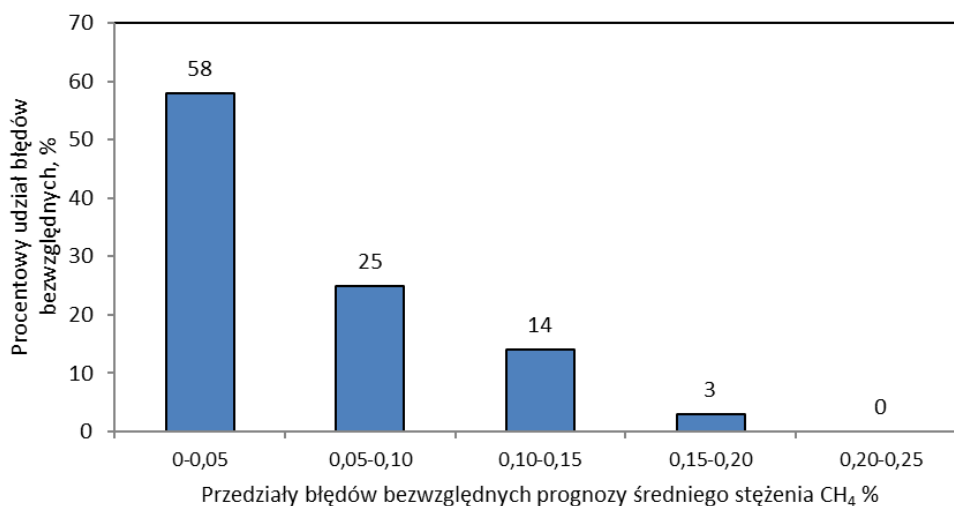
około 60% znajduje się w granicach prognozy. Jedynie w 2 przypadkach na 234 (poniżej 1% wszystkich prognoz) wartości pomiarowe są wyższe od górnej granicy prognozy.

Najwięcej błędów bezwzględnych prognozy (rys. 59), bo 135 (58% wszystkich błędów bezwzględnych – rys. 60) znajduje się w przedziale od 0,05% CH<sub>4</sub> do 0,10% CH<sub>4</sub>. Przedział 0,0% CH<sub>4</sub> do 0,05% CH<sub>4</sub> zawiera 58 błędów, czyli około 25% wszystkich błędów bezwzględnych. Przedział błędów od 0,10% CH<sub>4</sub> do 0,15% CH<sub>4</sub> zawiera 33 błędy bezwzględne, co stanowi 14% wszystkich błędów bezwzględnych.



**Rys. 59 Liczby błędów bezwzględnych prognozy w przedziałach błędów**

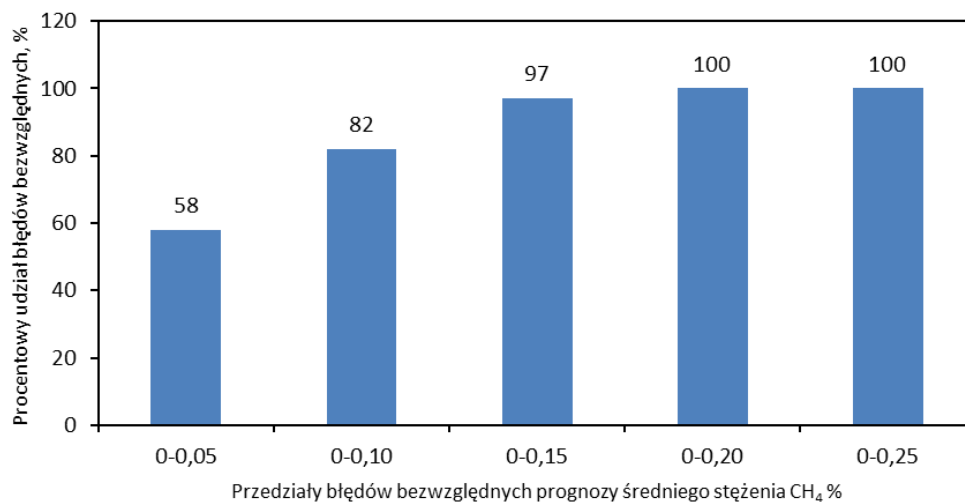
Źródło: opracowanie własne



**Rys. 60 Procentowy udział błędów bezwzględnych prognozy w przedziałach błędów**

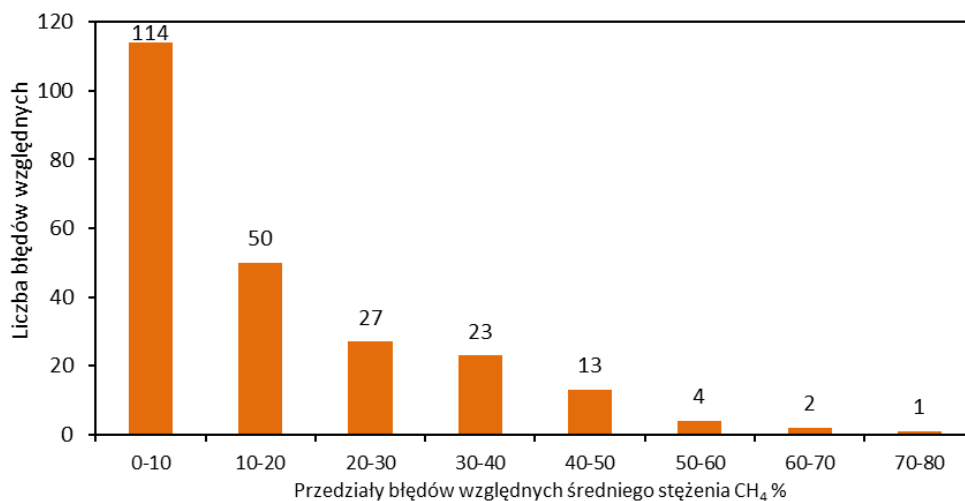
Źródło: opracowanie własne

Błędy bezwzględne o wartościach do 0,1% CH<sub>4</sub> stanowią 82% wszystkich błędów (rys. 61). W przedziale od 0% CH<sub>4</sub> do 0,15% CH<sub>4</sub> znajduje się 97% błędów bezwzględnych.



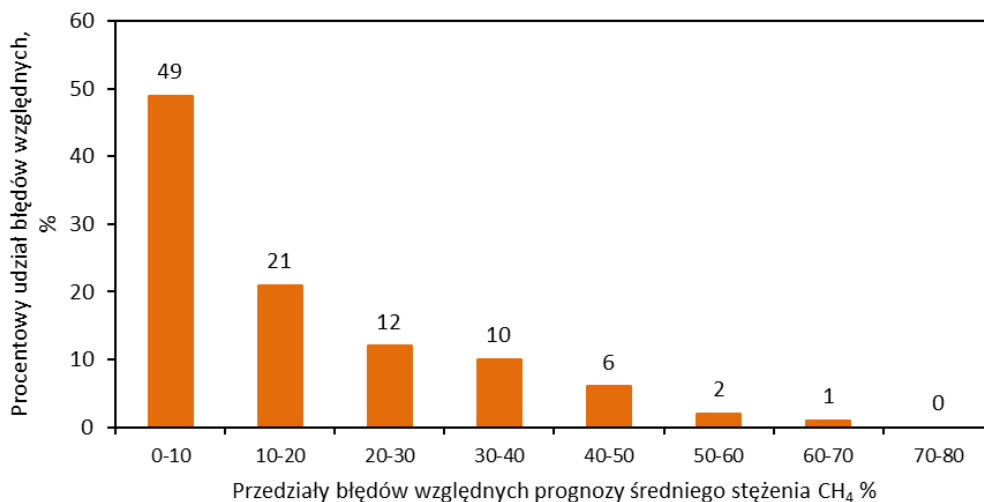
**Rys. 61 Procentowy udział błędów bezwzględnych prognozy w rosnących przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne



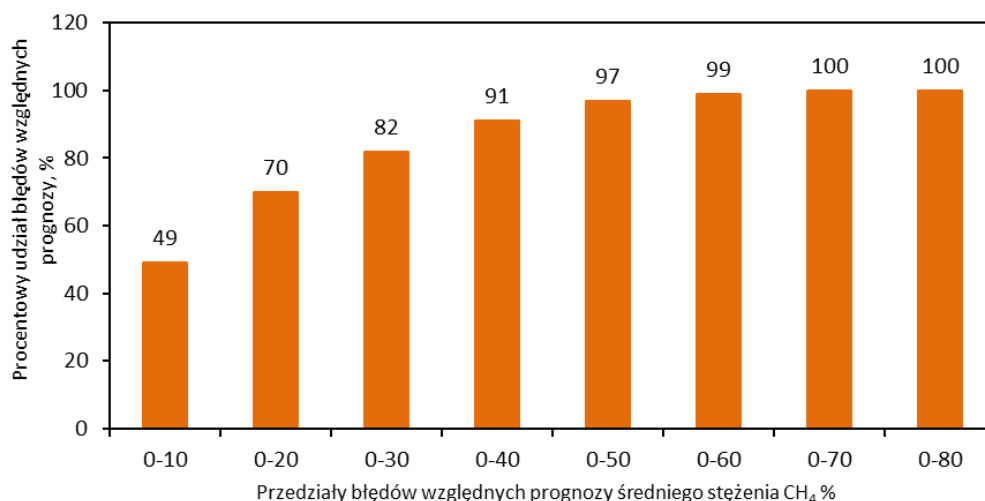
**Rys. 62 Liczby błędów względnych prognozy w poszczególnych przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne



**Rys. 63 Procentowy udział błędów względnych prognozy w poszczególnych przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne



**Rys. 64 Procentowy udział błędów względnych prognozy w rosnących przedziałach błędów**

*Źródło: opracowanie własne*

Największa liczba błędów względnych prognozy średniego stężenia metanu, 114 błędów, znajduje się w przedziale od 0% do 10% (rys. 62). Stanowi to 49% wszystkich błędów względnych (rys. 63).

Przedział od 10% do 20% wartości błędów względnych zawiera 50 błędów, (21% wszystkich błędów względnych), a do przedziału od 20% do 30% należy 27 błędów, co stanowi 12% całości błędów względnych.

Z rysunku 64 wynika, że w przedziale od 0% do 20% błędów względnych znajduje się 70% wszystkich błędów względnych.

Do przedziału od 0% do 30% wartości błędów względnych należy 83% wszystkich błędów, a przedział od 0% do 40% zawiera 91% wszystkich błędów względnych.

## Ściana W-5 w pokładzie 361

**Tabela 9**  
*Parametry statystyczne dotyczące średniego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego*

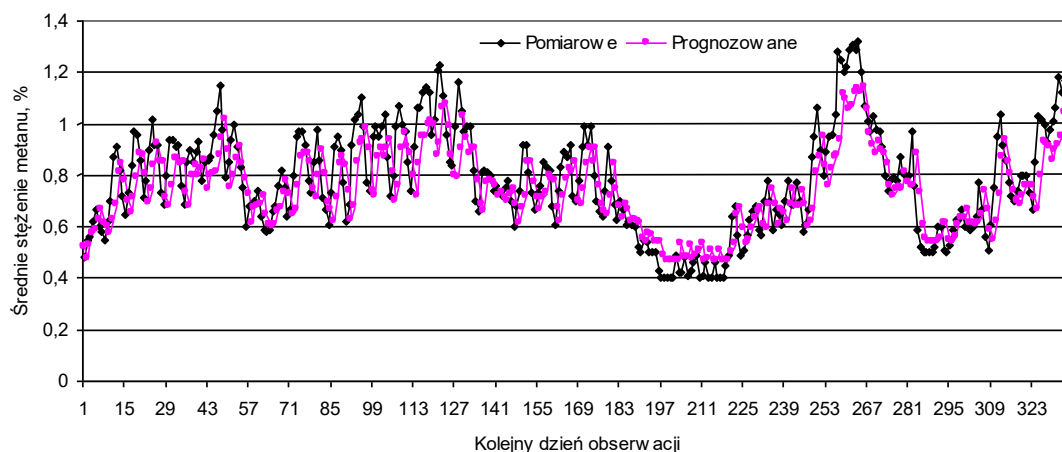
| Parametr       | Stężenie pomiarowe<br>% CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd względny<br>% |
|----------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| średnia        | 0,78                                    | 0,77                                       | 0,10                                  | 12,73              |
| mediana        | 0,77                                    | 0,75                                       | 0,08                                  | 10,14              |
| percentyl 0,75 | 0,92                                    | 0,90                                       | 0,14                                  | 18,93              |
| percentyl 0,90 | 1,04                                    | 1,02                                       | 0,20                                  | 26,22              |
| max            | 1,32                                    | 1,29                                       | 0,36                                  | 45,25              |
| min            | 0,40                                    | 0,38                                       | 0,00                                  | 0,09               |
| zakres         | 0,92                                    | 0,68                                       | 0,36                                  | 45,16              |
| suma           | 262,01                                  | 258,81                                     | 32,75                                 | 4642,40            |

Dane pomiarowe odnosiły się do 337 dni. Prognozę autoregresyjną wykonano dla 336 dni (za wyjątkiem pierwszego dnia). Wartość współczynnika korelacji pomiędzy średnimi stężeniami pomiarowymi i prognozowanymi wynosi około  $r = 0,76$  natomiast współczynnik determinacji wynosi około  $R^2 = 0,58$  co oznacza, że pewność iż zależność między wartościami pomiarowymi i prognozowanymi średniego stężenia metanu jest liniowa wynosi 58%.

Dla analizowanego średniego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego ściany W-5 takie parametry statystyczne jak średnie stężenie, mediana, percentyle 0,75 i 0,90, wartość maksymalna oraz suma stężeń dla danych pomiarowych są wyższe dla stężeń pomiarowych niż dla prognozowanych (tabela 9). Jedynie wartość minimalna prognoz jest większa od wartości minimalnej pomiarowej. Oznacza to, że prognoza jest zaniżona w stosunku do pomiarów. I tak średnia wartość średniego prognozowanego stężenia metanu jest niższa od pomiarowej o 0,01% CH<sub>4</sub>, wartość mediany o 0,02% CH<sub>4</sub>, percentyla 0,75 o 0,02% CH<sub>4</sub>, stężenia maksymalnego o 0,24% CH<sub>4</sub>, a zakresu średniego stężenia metanu o 0,24% CH<sub>4</sub>. Również suma średnich stężeń pomiarowych jest wyższa od sumy stężeń prognozowanych, a różnica wynosi 3,20% CH<sub>4</sub>.

Średnie błędy bezwzględny i względny są równe odpowiednio 0,10% CH<sub>4</sub> i 12,73%. Mediany tych błędów wynoszą 0,08% CH<sub>4</sub> i 10,14%. Oznacza to, że co najmniej 50% błędów bezwzględnych jest nie większych od 0,08% CH<sub>4</sub>, a co najmniej 50% błędów względnych jest nie większych niż 10,14%. Percentyle 0,75 i 0,90 są o 0,02% CH<sub>4</sub> wyższe dla stężeń pomiarowych w stosunku do stężeń prognozowanych. Maksymalny błąd bezwzględny wynosi 0,36% CH<sub>4</sub>, natomiast maksymalny błąd względny 45,16%.

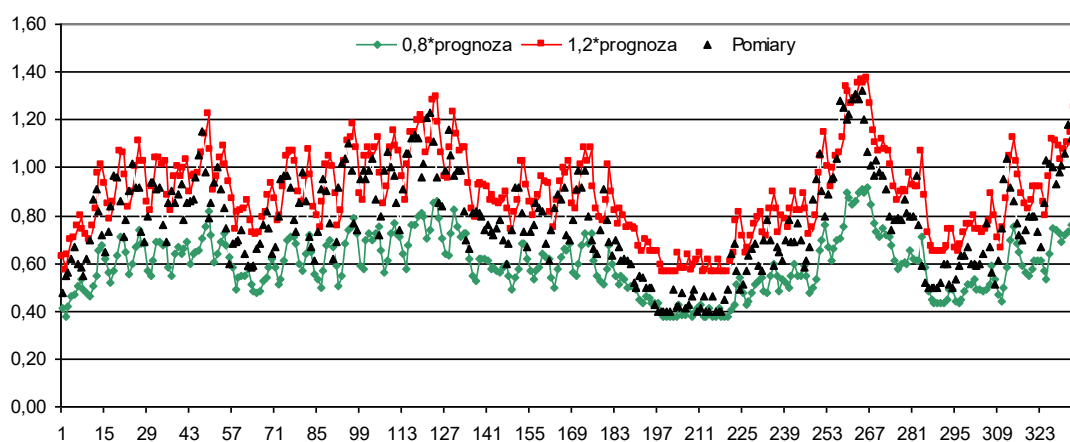
Z wykresu przedstawionego na rysunku 65 wynika, że w pewnych okresach prognozy były zaniżone a w innych zawyżone, przy czym przeważają prognozy zaniżone. Zauważalna jest duża zmienność stężenia metanu w czasie.



**Rys. 65 Pomiarowe i prognozowane wartości średniego stężenia metanu**

Źródło: opracowanie własne

Rysunek 66 przedstawia przedział prognozy, którego górna granica wynosi 1,2 wartości prognozowanego stężenia, a dolna granica 0,8 wartości tego stężenia. Czarne punkty oznaczają pomiarowe stężenia metanu. Z rysunku wynika, że większość pomiarów znajduje się w granicach prognozy. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że 261 na 336 przypadków prognozowanych stężeń metanu, czyli około 77,7% znajduje się w granicach prognozy. W 51 przypadkach na 336 (15,2% wszystkich prognoz) wartości pomiarowe są wyższe od górnej granicy prognozy.



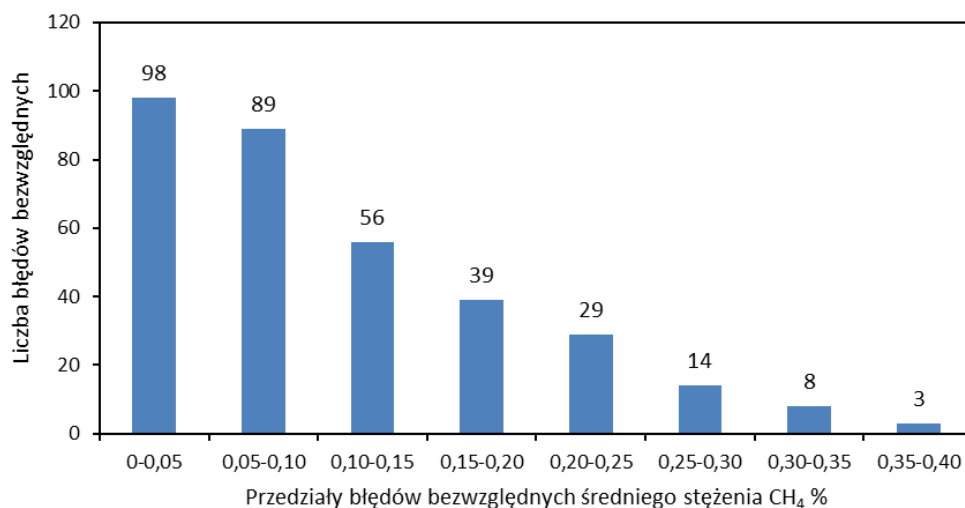
**Rys. 66 Pomiarowe średnie stężenie metanu i granice górna i dolna prognozy**

Źródło: opracowanie własne

Najwięcej błędów bezwzględnych prognoz, bo 98 (29% wszystkich błędów bezwzględnych) znajduje się w przedziale od 0,0% CH<sub>4</sub> do 0,5% CH<sub>4</sub>, a w przedziale 0,5% CH<sub>4</sub> do 0,1% CH<sub>4</sub> znajduje się 89 błędów, czyli około 26% wszystkich błędów bezwzględnych (rys. 67 i 68).

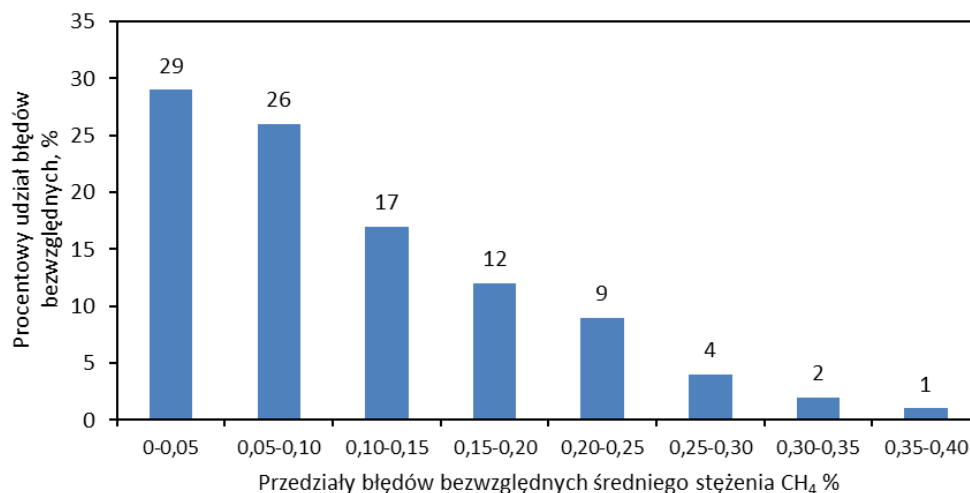
W następnych przedziałach liczba błędów bezwzględnych wolno maleje.

Błędy bezwzględne o wartościach do 0,1% CH<sub>4</sub> stanowią 56% wszystkich błędów (rys. 69). W przedziale od 0% CH<sub>4</sub> do 0,2% CH<sub>4</sub> znajduje się 84% błędów bezwzględnych, a w przedziale od 0% CH<sub>4</sub> do 0,25% CH<sub>4</sub> 93% błędów.



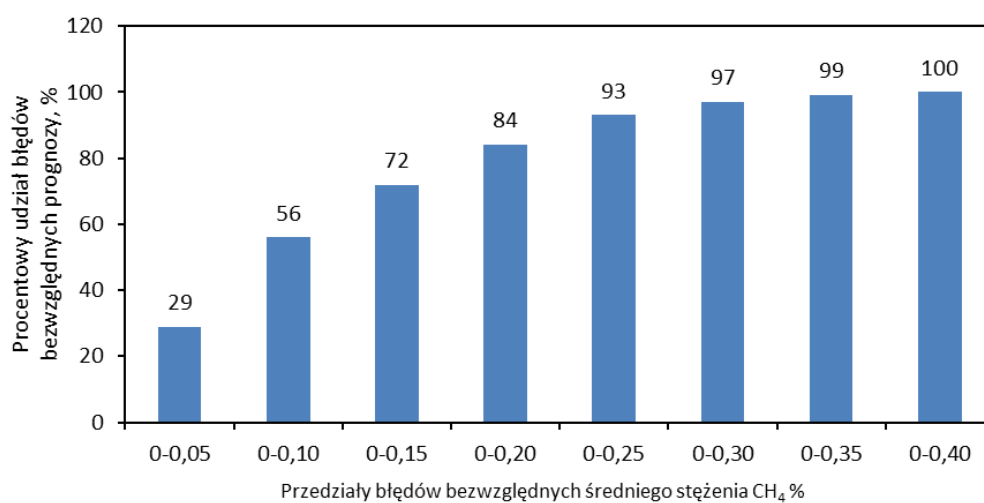
**Rys. 67 Liczby błędów bezwzględnych prognozy w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne



**Rys. 68 Procentowy udział błędów bezwzględnych prognozy w przedziałach błędów**

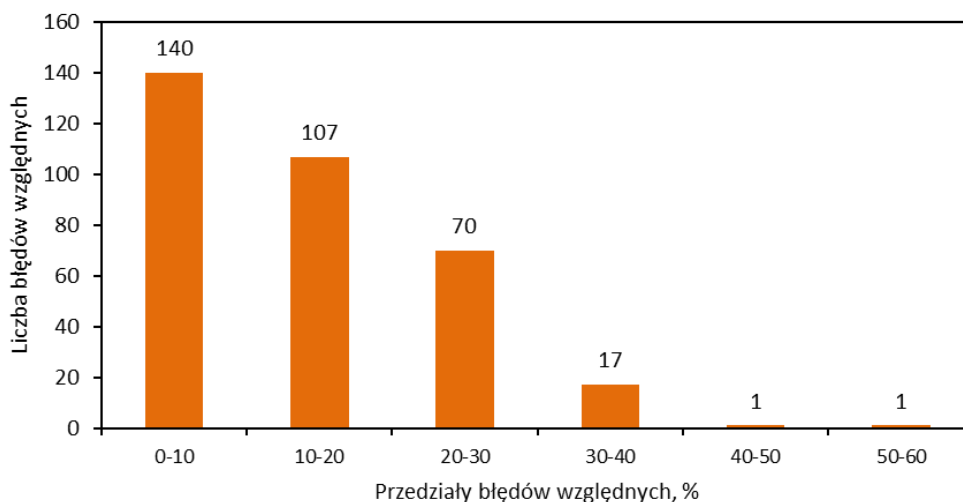
Źródło: opracowanie własne



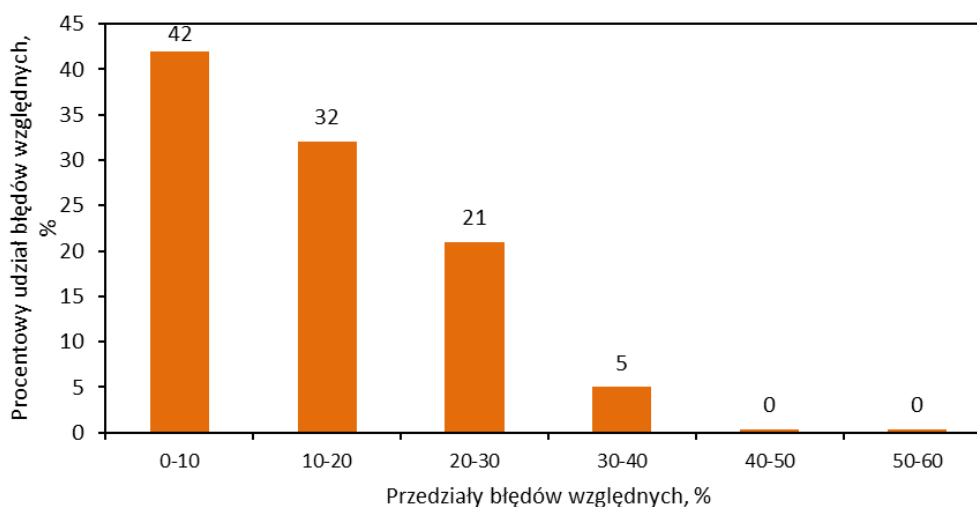
**Rys. 69 Procentowy udział błędów bezwzględnych prognozy w rosnących przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne

Błędy względne (rys. 70 i 71) w przedziale od 0% do 10% wartości pomiarowej średniego stężenia metanu stanowią 42% błędów (140 błędów względnych), w przedziale błędów od 10% do 20% znajduje się 32% błędów względnych (107 błędów), a do przedziału od 20% do 30% błędów należy 21% wszystkich błędów względnych (70 błędów).

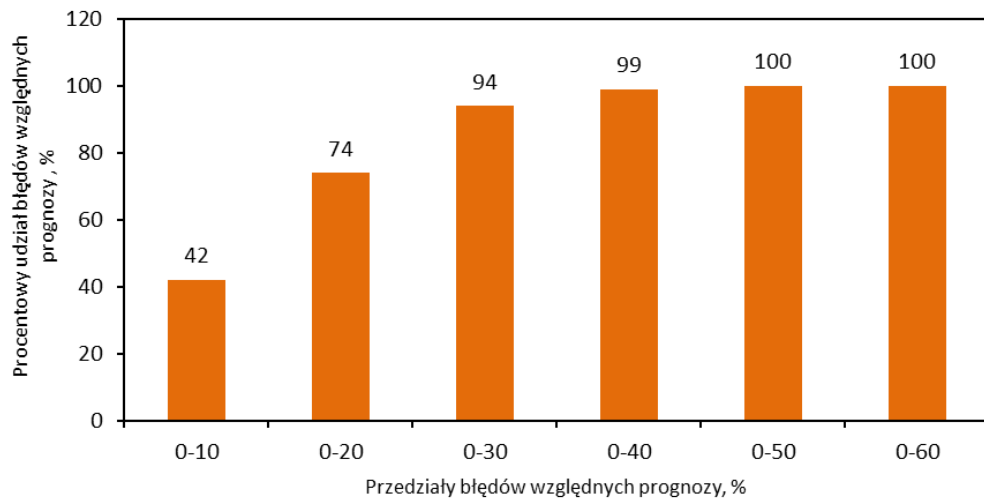


**Rys. 70 Liczby błędów względnych prognozy w poszczególnych przedziałach błędów**  
Źródło: opracowanie własne



**Rys. 71 Procentowy udział błędów względnych prognozy w poszczególnych przedziałach błędów**  
Źródło: opracowanie własne

Do przedziału od 0% do 20% błędów względnych zakwalifikowało się 74% wszystkich błędów względnych (rys. 72). Natomiast 94% błędów względnych prognozy znajduje się w przedziale od 0% do 30%.



**Rys. 72 Procentowy udział błędów względnych prognozy w rosnących przedziałach błędów**

*Źródło: opracowanie własne*

## Ściana N-4 w pokładzie 404/2

**Tabela 10**  
*Parametry statystyczne dotyczące średniego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego*

| Parametr       | Stężenie pomiarowe<br>% CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd względny<br>% |
|----------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| średnia        | 0,88                                    | 0,86                                       | 0,09                                  | 10,29              |
| mediana        | 0,90                                    | 0,84                                       | 0,07                                  | 8,62               |
| percentyl 0,75 | 1,01                                    | 0,99                                       | 0,12                                  | 14,79              |
| percentyl 0,90 | 1,12                                    | 1,10                                       | 0,18                                  | 22,09              |
| max            | 1,32                                    | 1,31                                       | 0,42                                  | 43,12              |
| min            | 0,47                                    | 0,54                                       | 0,00                                  | 0,06               |
| zakres         | 0,85                                    | 0,77                                       | 0,42                                  | 43,06              |
| suma           | 160,63                                  | 156,43                                     | 16,14                                 | 1872,53            |

Dane pomiarowe odnoszą się do 183 dni. Prognozę autoregresyjną wykonano dla 182 dni (za wyjątkiem pierwszego dnia).

Wartość współczynnika korelacji pomiędzy średnimi stężeniami pomiarowymi i prognozowanymi wynosi około  $r = 0,79$  natomiast współczynnik determinacji wynosi około  $R^2 = 0,63$  co oznacza, że pewność iż zależność między wartościami pomiarowymi i prognozowanymi średniego stężenia metanu jest liniowa wynosi 63%.

Dla analizowanego średniego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego ściany N-4 (tabela 10) wartość średnia średniego stężenia metanu wynosi 0,88% CH<sub>4</sub>, natomiast ten sam parametr dla stężenia prognozowanego posiada wartość 0,86% CH<sub>4</sub>. Również pozostałe parametry statystyczne dla stężenia prognozowanego, za wyjątkiem minimalnej wartości średniego stężenia metanu, są niższe od wartości pomiarowych. I tak mediana dla prognoz (0,84% CH<sub>4</sub>) jest o 0,06% CH<sub>4</sub> niższa od wartości pomiarowej (0,90% CH<sub>4</sub>), różnica między percentylami 0,75 oraz percentylami 0,90 wynosi 0,02% CH<sub>4</sub>, wartości maksymalne różnią się o 0,01% CH<sub>4</sub>, a zakresy stężeń o 0,08% CH<sub>4</sub>. Wartość minimalna pomiarowa średnich stężeń metanu jest o 0,07% CH<sub>4</sub> niższa niż dla prognozowanych.

Sumy średnich stężeń metanu w badanym okresie 183 dni wynoszą; dla wartości pomiarowych 160,63% CH<sub>4</sub>, a dla wartości prognozowanych – 156,43% CH<sub>4</sub>.

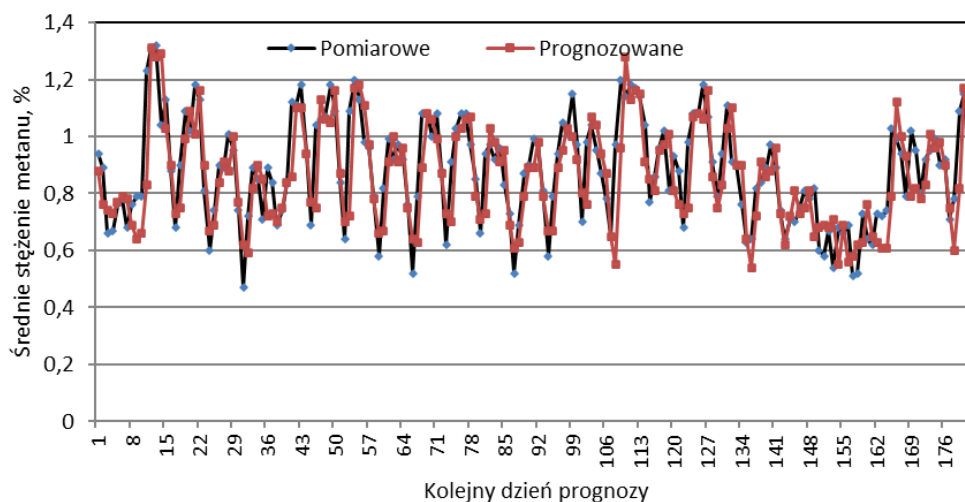
Średnie błędy bezwzględny i względny wynoszą odpowiednio 0,09% CH<sub>4</sub> i 10,29%. Mediany tych błędów wynoszą 0,07% CH<sub>4</sub> i 8,62%, co oznacza że co najmniej 50% błędów bezwzględnych jest nie większych od 0,07% CH<sub>4</sub>, a co najmniej 50% błędów względnych jest nie większych niż 8,62%.

75% błędów bezwzględnych nie przekracza wartości 0,12% CH<sub>4</sub>, natomiast 90% tych błędów nie przekracza 0,18% CH<sub>4</sub>.

Percentyl 0,75 błędów względnych wynosi 14,79%, a percentyl 0,90 – 22,09%.

Maksymalny błąd bezwzględny prognoz wynosi 0,42% CH<sub>4</sub>, a maksymalny błąd względny 43,12%. Zakres błędów bezwzględnych wynosi 0,42% CH<sub>4</sub>, a zakres błędów względnych – 43,06%.

Z analizy rysunku 73 wynika, że wartości pomiarowe i prognozowane średniego stężenia metanu są bliskie sobie.

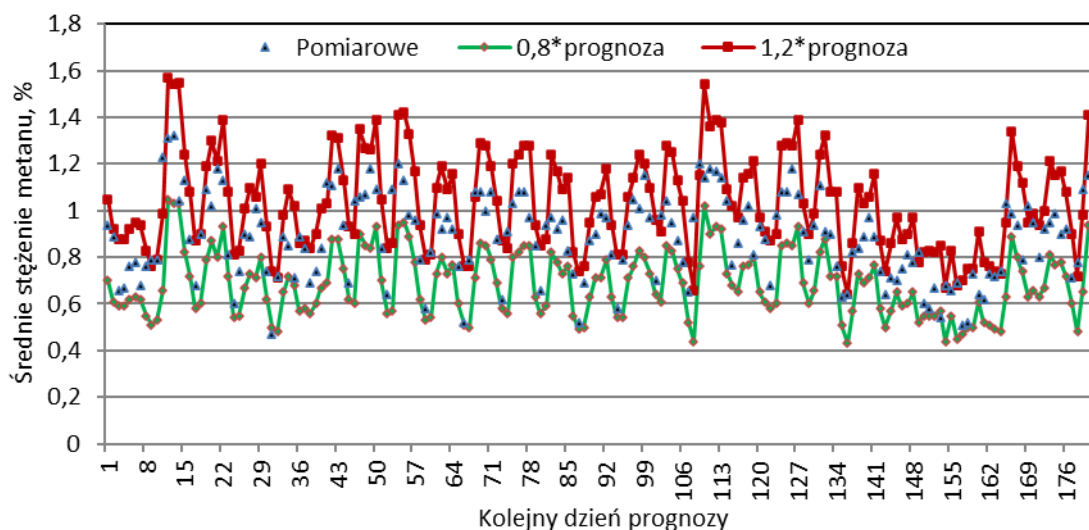


**Rys. 73 Pomiarowe i prognozowane wartości średniego stężenia metanu**

Źródło: opracowanie własne

Rysunek 74 przedstawia przedział prognozy, którego górna granica wynosi 1,2 wartości prognozowanego stężenia, a dolna granica 0,8 wartości tego stężenia. Trójkątne znaczniki dotyczą pomiarowego średniego stężenia metanu. Z rysunku wynika, że większość pomiarów znajduje się w granicach prognozy.

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że 154 na 182 przypadków prognozowanych stężeń metanu, czyli około 84,6% znajduje się w granicach prognozy.

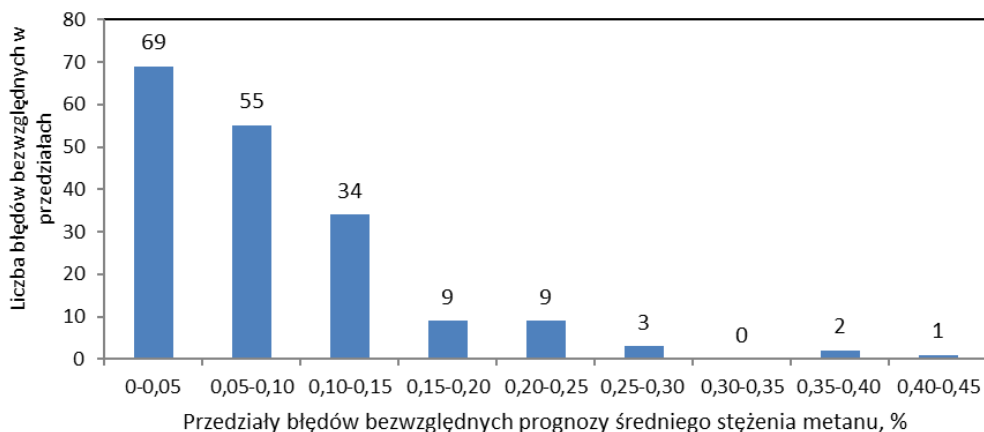


**Rys. 74 Pomiarowe stężenie metanu i granice górna i dolna prognozy**

Źródło: opracowanie własne

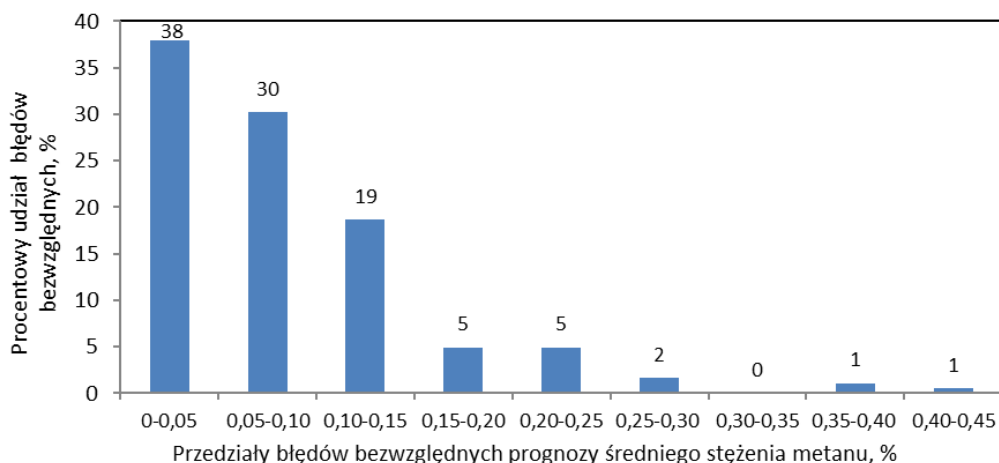
W 25 przypadkach na 182 (13,7% wszystkich prognoz) wartości pomiarowe są wyższe od górnej granicy prognozy (nieznacznie ją przekraczają).

Najwięcej błędów bezwzględnych prognoz, bo 69 (38% wszystkich błędów bezwzględnych) znajduje się w przedziale od 0,0% CH<sub>4</sub> do 0,05% CH<sub>4</sub>, a w przedziale 0,05% CH<sub>4</sub> do 0,10% CH<sub>4</sub> znajduje się 55 błędów, czyli około 30% wszystkich błędów bezwzględnych (rys. 75 i 76).



**Rys. 75 Liczby błędów bezwzględnych prognozy w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne

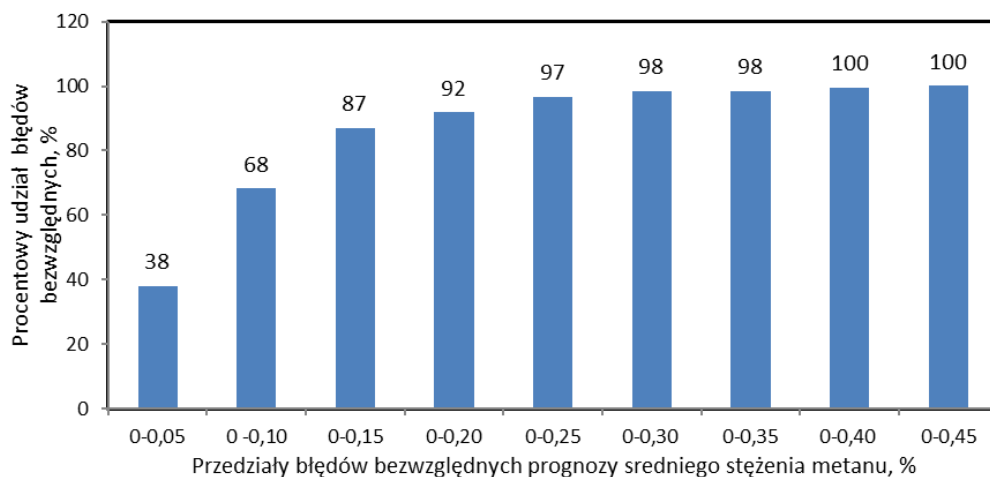


**Rys. 76 Procentowy udział błędów bezwzględnych w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne

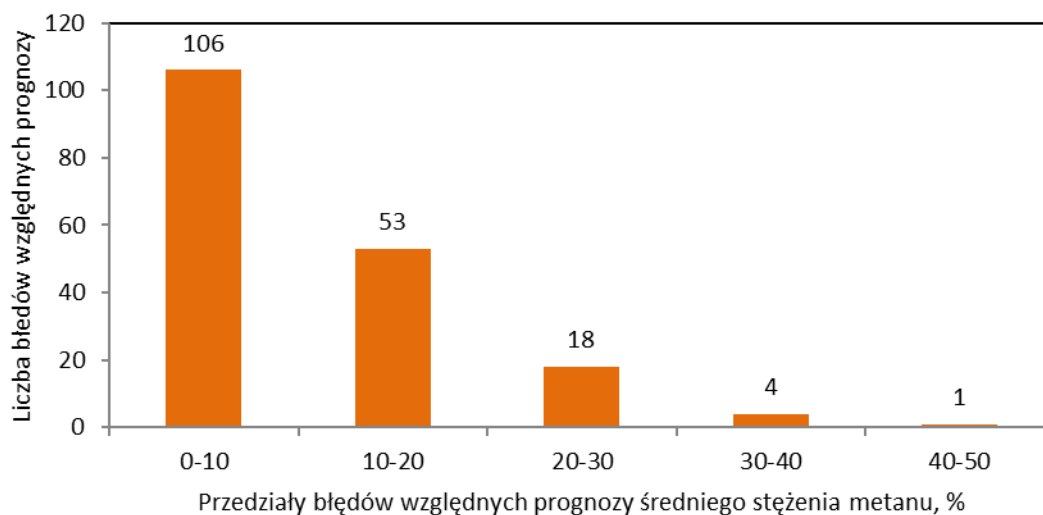
Do przedziału od 0,10% CH<sub>4</sub> do 0,15% CH<sub>4</sub> należą 34 błędy bezwzględne (19% błędów bezwzględnych), a do przedziału od 0,15% CH<sub>4</sub> do 0,20% CH<sub>4</sub> należy 9 błędów (5% wszystkich błędów bezwzględnych). Błędy bezwzględne o wartościach do 0,1% CH<sub>4</sub> stanowią 68% wszystkich błędów, a w przedziale od 0% CH<sub>4</sub> do 0,2% CH<sub>4</sub> znajduje się 92% błędów bezwzględnych (rys. 77).

Z rysunków 78, 79 oraz 80 wynika, że błędy względne w przedziale od 0% do 10% wartości pomiarowej średniego stężenia metanu stanowią 58% błędów (106 błędów względnych), w przedziale błędów od 10% do 20% znajduje się 29% błędów względnych (53 błędów), a do przedziału od 20% do 30% błędów względnych należy 10% błędów względnych (18 błędów).



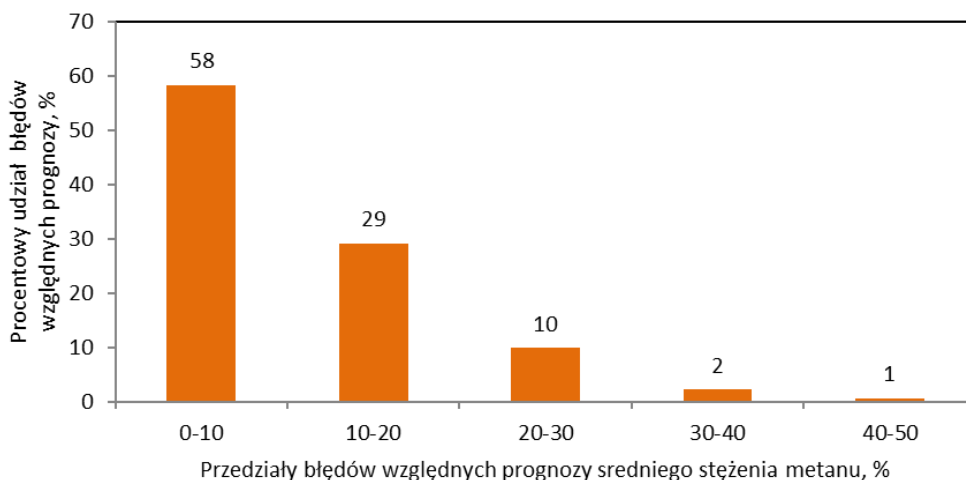
**Rys. 77 Procentowy udział błędów bezwzględnych prognozy w rosnących przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne



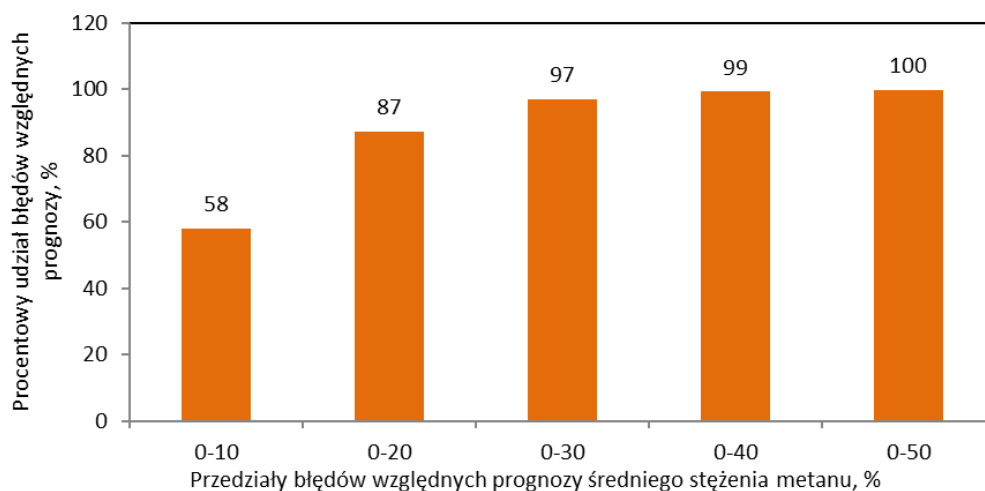
**Rys. 78 Liczby błędów względnych prognozy w poszczególnych przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne



**Rys. 79 Procentowy udział błędów względnych prognozy w poszczególnych przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne



**Rys. 80 Procentowy udział błędów względnych prognozy w rosnących przedziałach błędów**

*Źródło: opracowanie własne*



**ZESTAWIENIE  
PROGNOZ MAKSYMALNEGO  
STĘŻENIA METANU**

## Ściana N-6 w pokładzie 330/2

**Tabela 1**  
*Parametry statystyczne dotyczące maksymalnego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego ściany*

| Parametr       | Stężenie pomiarowe<br>% CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd względny<br>% |
|----------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| średnia        | 0,9                                     | 0,9                                        | 0,1                                   | 18,1               |
| mediana        | 0,8                                     | 0,8                                        | 0,1                                   | 15,0               |
| percentyl 0,75 | 1,2                                     | 1,1                                        | 0,2                                   | 25,2               |
| percentyl 0,90 | 1,3                                     | 1,3                                        | 0,2                                   | 37,6               |
| min            | 0,3                                     | 0,3                                        | 0,0                                   | 0,3                |
| max            | 1,5                                     | 1,6                                        | 0,7                                   | 150,1              |
| zakres         | 1,2                                     | 1,3                                        | 0,7                                   | 149,8              |
| suma           | 219,3                                   | 223,5                                      | 33,0                                  | 4607,3             |

Dane pomiarowe dotyczą 256 dni, dlatego prognoza autoregresyjna dotyczy 255 dni (za wyjątkiem pierwszego dnia pomiarów). Współczynnik korelacji pomiędzy wartościami pomiarowymi i prognozowanymi maksymalnego stężenia metanu wynosi  $r = 0,86$  a współczynnik determinacji  $R^2 = 0,74$  co oznacza że z prawdopodobieństwem 74% istnieje zależność liniowa między maksymalnym stężeniem pomiarowym i prognozowanym metanu.

Średnie wartości maksymalnego stężenia pomiarowego i prognozowanego są sobie równe i wynoszą 0,9% CH<sub>4</sub> (tabela 1). Mediany i percentyle 0,90 obydwu kategorii stężenia maksymalnego stężenia są równe i wynoszą 0,8% CH<sub>4</sub> (mediany) i 1,3% CH<sub>4</sub> (percentyle 0,90).

Percentyl 0,75 maksymalnego stężenia pomiarowego metanu wynosi 1,2% CH<sub>4</sub>, a stężenia prognozowanego – 1,1% CH<sub>4</sub>, czyli jest o 0,1% CH<sub>4</sub> niższy.

Pomiarowe wartości maksymalnego stężenia metanu mieszczą się w granicach od 0,3% CH<sub>4</sub> do 1,5% CH<sub>4</sub>, czyli zakres zmienności wynosił 1,2% CH<sub>4</sub>. Natomiast granice wahań maksymalnego stężenia prognozowanego wynoszą 0,3% CH<sub>4</sub> i 1,6% CH<sub>4</sub>. Ich zakres wahań (1,3% CH<sub>4</sub>) jest nieco wyższy (o 0,1% CH<sub>4</sub>) niż dla stężeń pomiarowych. Zatem granice zmian maksymalnego stężenia metanu pomiarowego i prognozowanego są sobie bliskie.

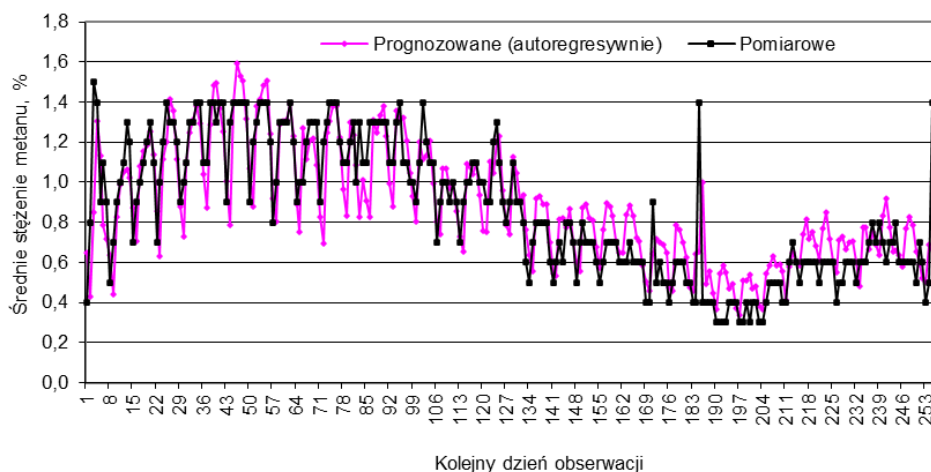
Prognoza stężenia maksymalnego metanu jest zawyżona w stosunku do stężenia pomiarowego, gdyż suma stężeń maksymalnych pomiarowych wynosi 219,3%, a prognozowanych 223,5%.

Średni błąd bezwzględny prognozy wynosi 0,1% CH<sub>4</sub>, co odpowiada dokładności pomiarowej stężenia metanu, a średni błąd względny wynosi około 18%.

Mediana błędów bezwzględnych wynosi 0,1% CH<sub>4</sub>, natomiast błędów względnych 15%.

Percentyle 0,75 i 0,90 błędów bezwzględnych są równe i wynoszą 0,2% CH<sub>4</sub>. Natomiast percentyl 0,75 błędów względnych wynosi 25,2%, a percentyl 0,90 tych błędów jest równy 37,6%, czyli percentyle te znacznie się między sobą różnią.

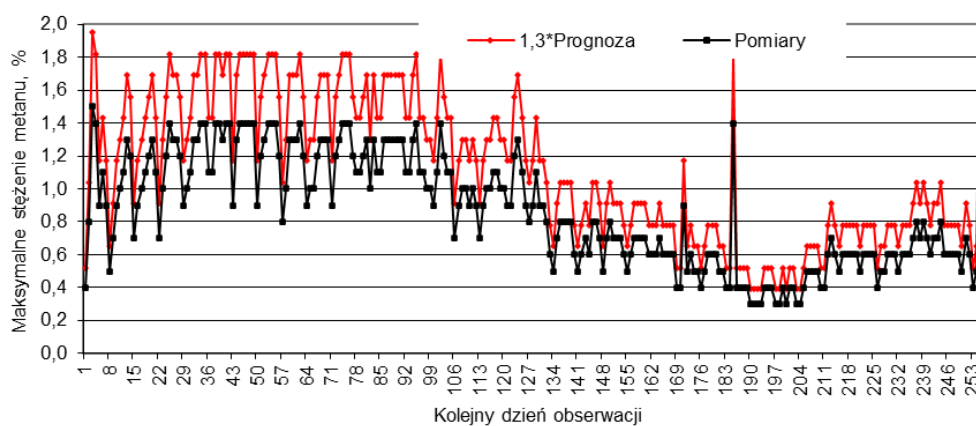
Rysunek 1 obrazuje rozkład czasowy maksymalnego pomiarowego i prognozowanego stężenia metanu. Znaczna część wartości prognozowanych przewyższa wartości pomiarowe. Można także zauważyć, że w wielu przypadkach takie same wartości maksymalnego stężenia pomiaru powtarzają się w dwóch lub trzech kolejnych dniach.



**Rys. 1 Wykres maksymalnego stężenia metanu pomiarowego i prognozowanego**

Źródło: opracowanie własne

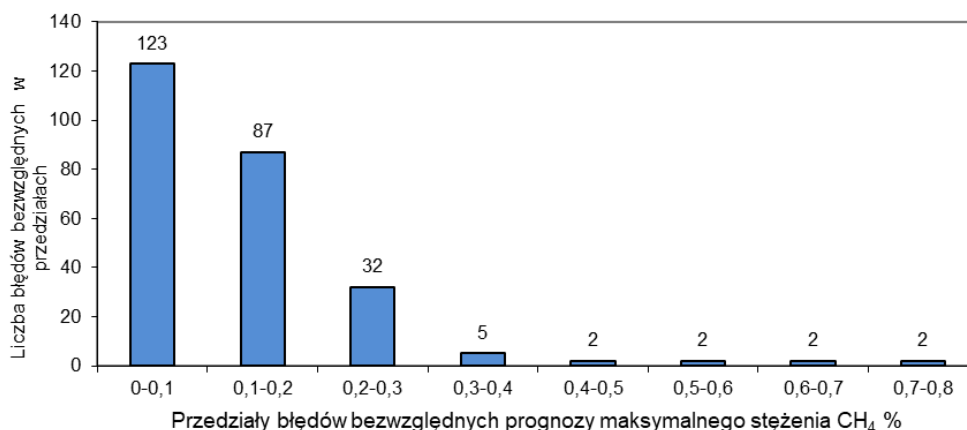
Rysunek 2 przedstawia wykresy maksymalnych stężeń metanu pomiarowych i górną granicę prognozy (1,3 razy prognoza). Obliczenia wykazały, że żadna wartość stężenia pomiarowego nie przekracza górnej granicy prognozy.



**Rys. 2 Położenie maksymalnego stężenia pomiarowego względem górnej granicy prognozy (1,3 razy prognoza)**

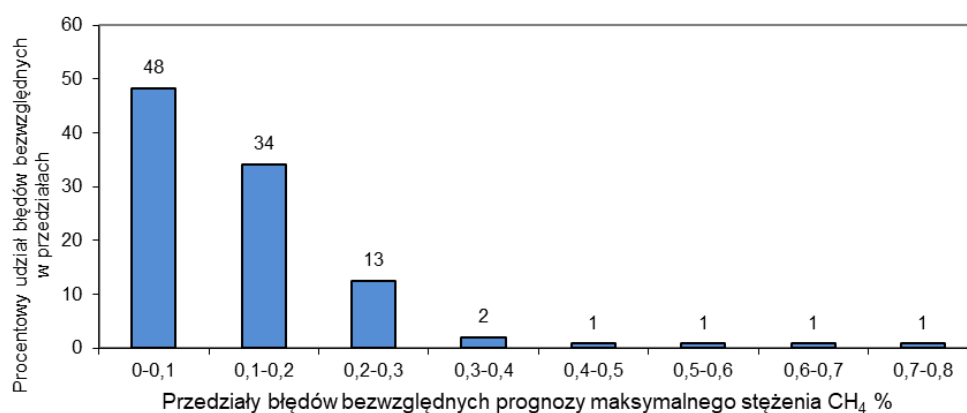
Źródło: opracowanie własne

Najwięcej błędów bezwzględnych prognozy maksymalnego stężenia metanu (rys. 3 i 4), bo aż 123 (48% wszystkich błędów bezwzględnych), znajduje się w przedziale od 0% CH<sub>4</sub> do 0,1% CH<sub>4</sub>. Liczba błędów bezwzględnych w granicach od 0,1% CH<sub>4</sub> do 0,2% CH<sub>4</sub> wynosi 87 (34%), a w granicach od 0,2% CH<sub>4</sub> do 0,3% CH<sub>4</sub> – 32 (13%).



**Rys. 3 Liczby błędów bezwzględnych w przedziałach błędów**

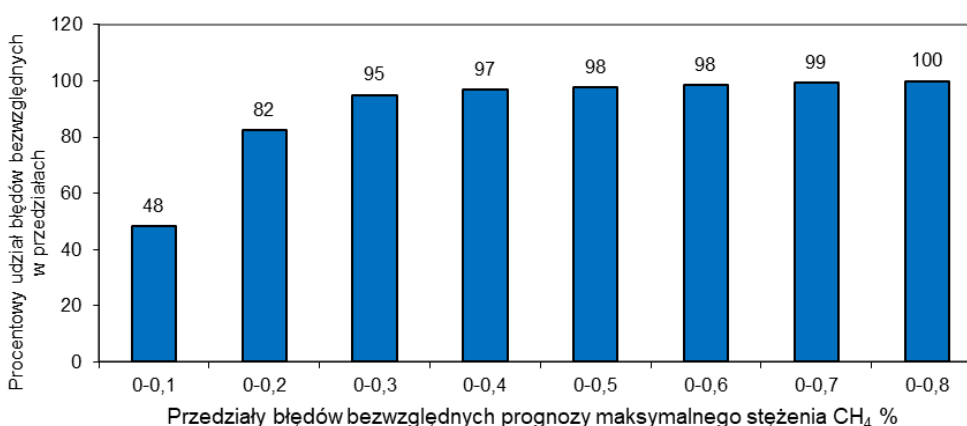
Źródło: opracowanie własne



**Rys. 4 Procentowy udział błędów bezwzględnych prognozy w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne

Błędy bezwzględne o wartościach od 0% CH<sub>4</sub> do 0,2% CH<sub>4</sub> stanowią 82% wszystkich błędów (rys. 5). W przedziale od 0% CH<sub>4</sub> do 0,30% CH<sub>4</sub> znajduje się 95% błędów bezwzględnych.

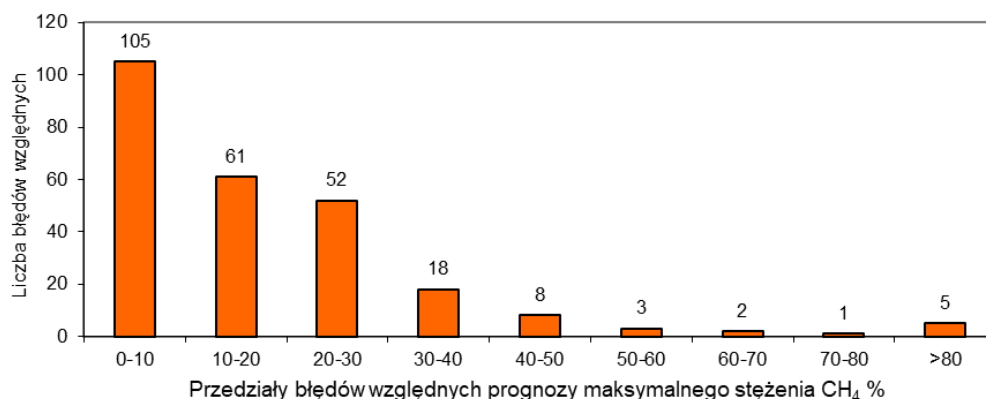


**Rys. 5 Procentowy udział błędów bezwzględnych w rosnących przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne

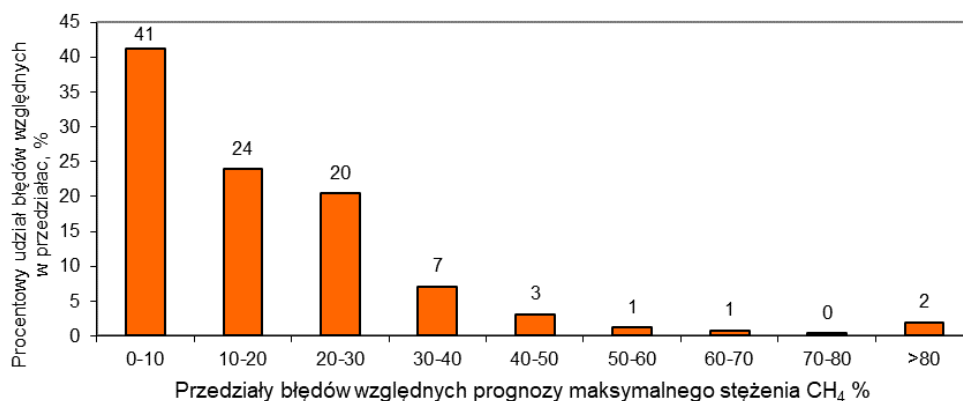
Najwięcej błędów względnych prognozy maksymalnego stężenia metanu (rys. 6 i 7), bo aż 105 (41% wszystkich błędów względnych) znajduje się w przedziale od

0% do 10%, w przedziale od 10% do 20% zawiera się 61 błędów względnych (24% błędów), a dla przedziału od 20% do 30% należą 52 błędy (20% błędów).



**Rys. 6 Liczby błędów względnych prognozy w przedziałach błędów**

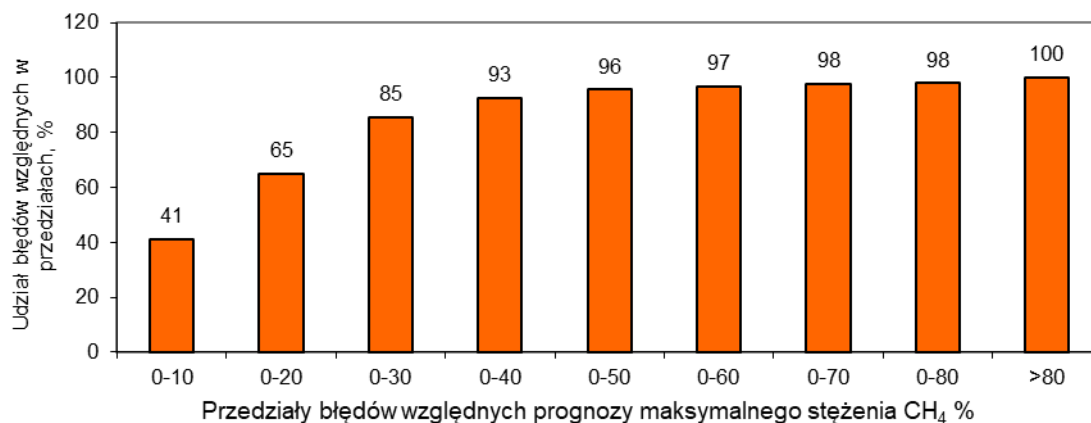
Źródło: opracowanie własne



**Rys. 7 Procentowy udział błędów względnych w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne

Błędy względne o wartościach od 0% do 20% stanowią 65% wszystkich błędów, a w zakresie od 0% do 30% znajduje się 85% błędów bezwzględnych. Natomiast 93% błędów względnych nie przekracza wartości 40% (rys. 8).



**Rys. 8 Procentowy udział błędów względnych w rosnących przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne

## Ściana G-6 w pokładzie 412 łg+łd i 412 łg

**Tabela 2**  
**Parametry statystyczne dotyczące maksymalnego stężenia metanu**  
**na wylocie z chodnika wentylacyjnego ściany**

| Parametr       | Stężenie pomiarowe<br>% CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd względny<br>% |
|----------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| średnia        | 1,3                                     | 1,3                                        | 0,1                                   | 12,3               |
| mediana        | 1,2                                     | 1,3                                        | 0,1                                   | 10,4               |
| percentyl 0,75 | 1,5                                     | 1,6                                        | 0,2                                   | 16,1               |
| percentyl 0,90 | 1,8                                     | 1,8                                        | 0,3                                   | 23,4               |
| max            | 1,9                                     | 2,2                                        | 0,5                                   | 52,2               |
| min            | 0,5                                     | 0,6                                        | 0,0                                   | 0,0                |
| zakres         | 1,4                                     | 1,6                                        | 0,5                                   | 52,2               |
| suma           | 214,80                                  | 226,5                                      | 24,9                                  | 2107,1             |

Dane pomiarowe dotyczą 173 dni, przy czym prognozę autoregresyjną sporządzono dla 172 dni (za wyjątkiem pierwszego dnia pomiarów). Współczynnik korelacji pomiędzy wartościami pomiarowymi i prognozowanymi maksymalnego stężenia metanu wynosi  $r = 0,89$  a współczynnik determinacji  $R^2 = 0,80$  co oznacza że z prawdopodobieństwem 80% istnieje zależność liniowa między maksymalnym stężeniem pomiarowym i prognozowanym metanu.

Średnie wartości maksymalnego stężenia pomiarowego i prognozowanego są sobie równe i wynoszą 1,3% CH<sub>4</sub>. Mediana stężeń pomiarowych jest niższa od mediany stężeń prognozowanych o 0,1% CH<sub>4</sub>. Taka sama relacja zachodzi dla percentyli 0,75. Natomiast percentyle 0,90 obydwu kategorii stężenia maksymalnego stężenia posiadają taką samą wartość 1,8% CH<sub>4</sub>.

Maksymalne stężenie pomiarowe metanu mieści się w granicach od 0,5% CH<sub>4</sub> do 1,9% CH<sub>4</sub>, czyli zakres zmienności wynosi 1,4% CH<sub>4</sub>. Natomiast granice wahań maksymalnego stężenia prognozowanego wynoszą 0,6% CH<sub>4</sub> i 2,2% CH<sub>4</sub>, czyli zakres tych wahań (1,6% CH<sub>4</sub>) jest nieco wyższy (o 0,2% CH<sub>4</sub>) niż dla stężeń pomiarowych.

Prognoza maksymalnego stężenia metanu jest zawyżona w stosunku do stężenia pomiarowego, gdyż suma stężeń maksymalnych pomiarowych wynosi 214,8% CH<sub>4</sub>, a prognozowanych 226,5 %.

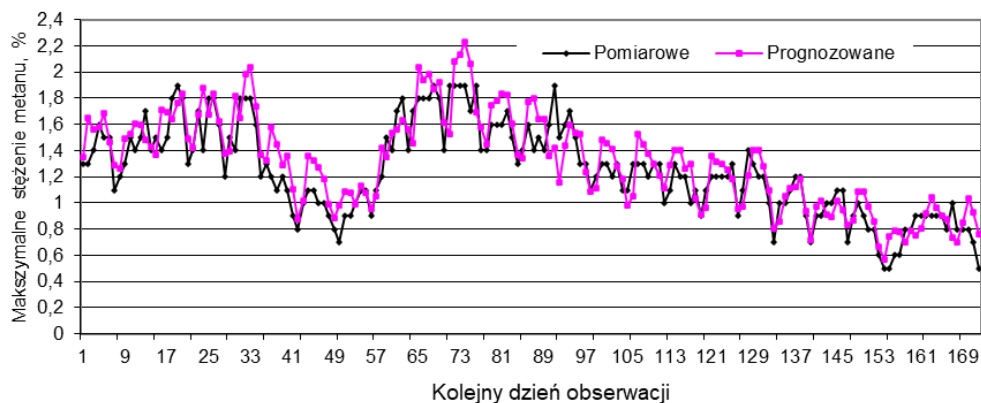
Średni błąd bezwzględny prognozy wynosi 0,1% CH<sub>4</sub>, co odpowiada dokładności pomiarowej stężenia metanu, a średni błąd względny wynosi 12,3%.

Mediana błędów bezwzględnych wynosi 0,1% CH<sub>4</sub>, natomiast błędów względnych 10,4%.

Percentyl 0,75 błędów bezwzględnych wynosi 0,2% CH<sub>4</sub>, natomiast błędów względnych wynosi 16,1%. Percentyl 0,90 błędów bezwzględnych wynosi 0,3% CH<sub>4</sub>, a błędów względnych 23,4%.

Maksymalna wartość błędów bezwzględnych wynosi 0,5% CH<sub>4</sub>, a zakres błędów jest także równy tej wartości. Natomiast maksymalna wartość błędów względnych i ich zakres wynosi 52,2%.

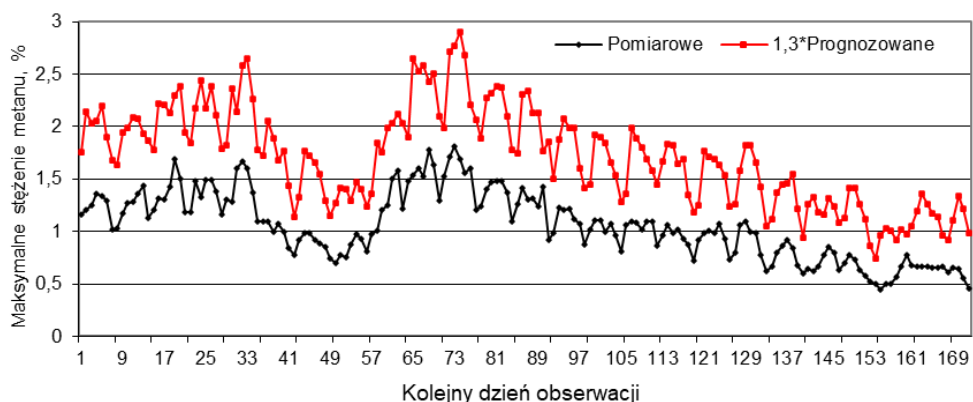
Z wykresów przedstawionych na rysunku 9 oraz przeprowadzonych porównań liczbowych wynika, że niektóre wartości maksymalnego stężenia pomiarowego są wyższe od maksymalnego stężenia prognozowanego.



**Rys. 9 Wykres maksymalnego stężenia pomiarowego i prognozowanego.**

*Źródło: opracowanie własne*

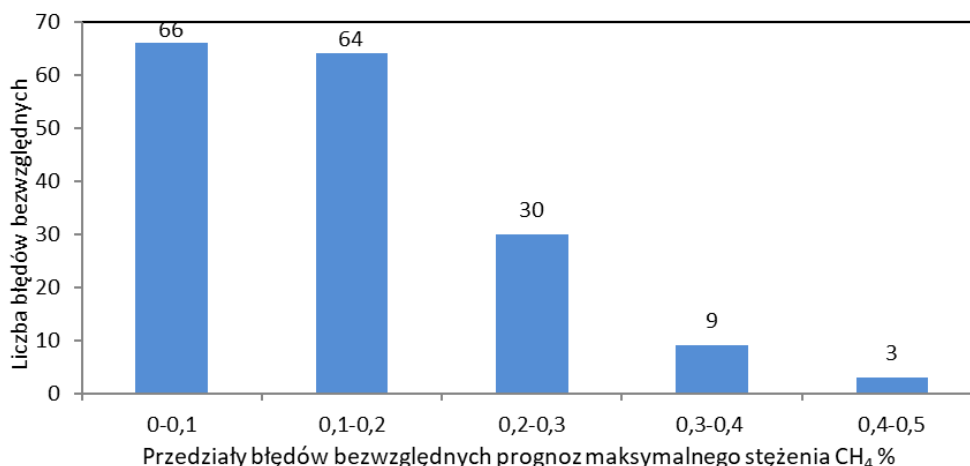
Rysunek 10 przedstawia wykresy maksymalnych stężeń metanu pomiarowych i górną granicę prognozy (1,3 razy prognoza). Z rysunku (a także z obliczeń) wynika, że żadna wartość stężenia pomiarowego nie przekracza górnej granicy prognozy.



**Rys. 10 Położenie maksymalnego stężenia pomiarowego względem górnej granicy prognozy (1,3 razy prognoza)**

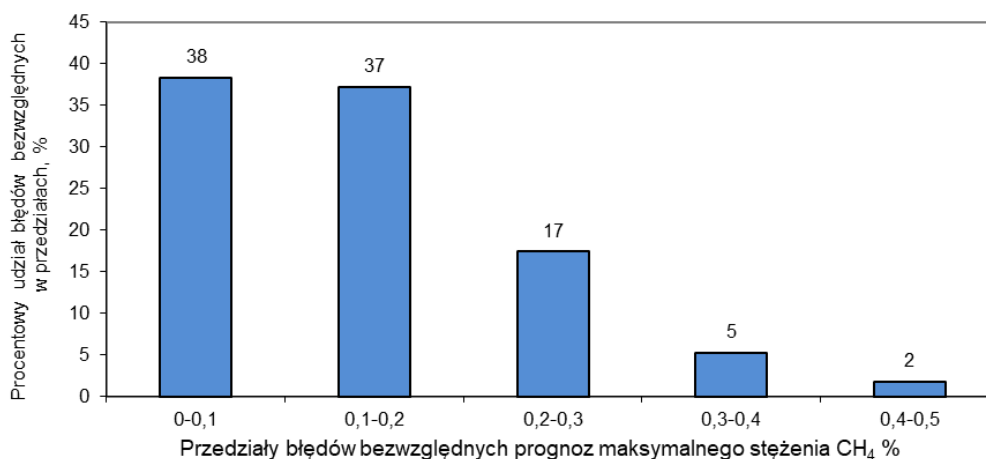
*Źródło: opracowanie własne*

Z rysunków 11 i 12 wynika, że najwięcej błędów bezwzględnych prognozy maksymalnego stężenia metanu, 66 (38% wszystkich błędów bezwzględnych), znajduje się w przedziale od 0% CH<sub>4</sub> do 0,1% CH<sub>4</sub>. Liczba błędów bezwzględnych o wartościach od 0,1% CH<sub>4</sub> do 0,2% CH<sub>4</sub> wynosi 64 (37% błędów), natomiast w przedziale od 0,2% CH<sub>4</sub> do 0,3% CH<sub>4</sub> znajduje się 30 błędów bezwzględnych (17% błędów).



**Rys. 11 Liczby błędów bezwzględnych w przedziałach błędów**

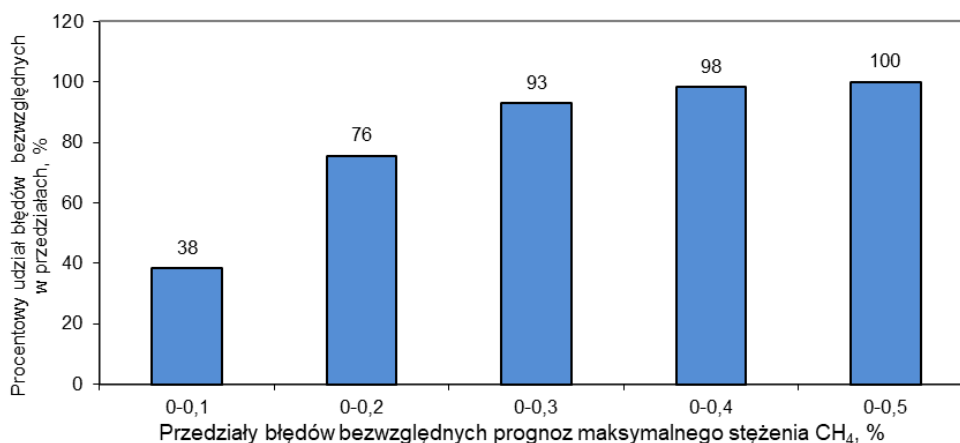
Źródło: opracowanie własne



**Rys. 12 Procentowy udział błędów bezwzględnych w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne

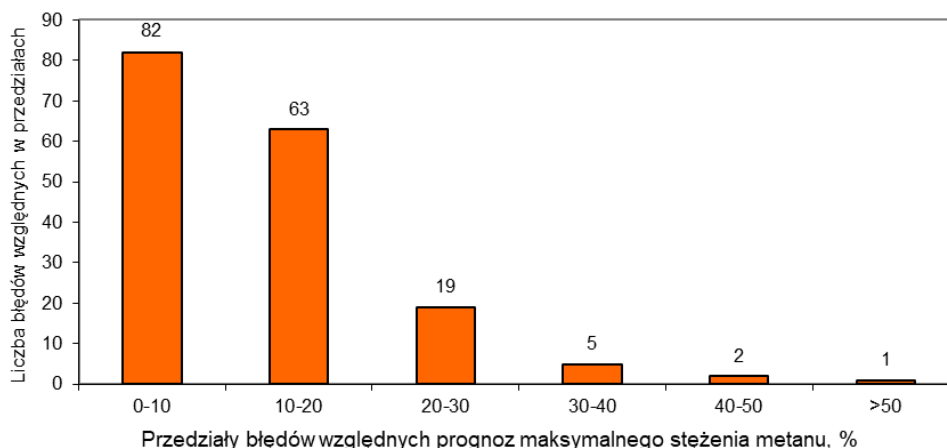
W przedziale od 0% CH<sub>4</sub> do 0,1% CH<sub>4</sub> znajduje się 38% błędów bezwzględnych, w przedziale od 0% CH<sub>4</sub> do 0,2% CH<sub>4</sub> – 76%, a w przedziale od 0% CH<sub>4</sub> do 0,3% CH<sub>4</sub> znajduje się 93% błędów bezwzględnych (rys. 13).



**Rys. 13 Procentowy udział błędów bezwzględnych w rosnących przedziałach błędów**

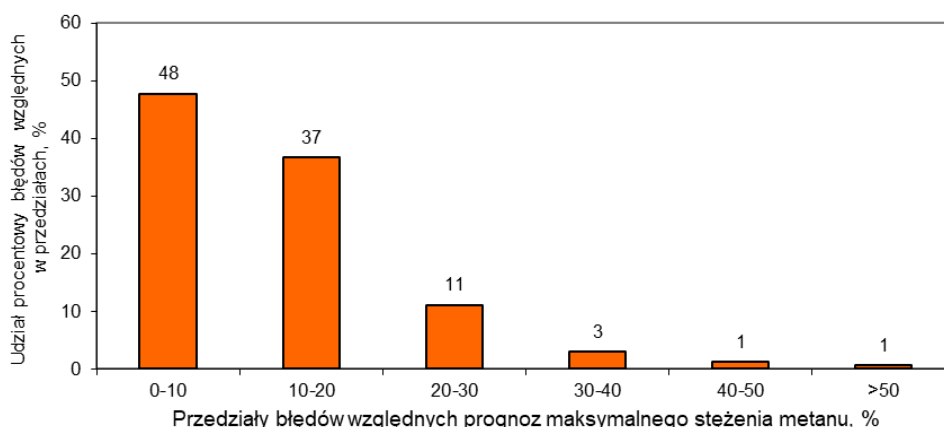
Źródło: opracowanie własne

Najwięcej błędów względnych prognozy maksymalnego stężenia metanu, bo 82 (48% wszystkich błędów względnych) znajduje się w przedziale od 0% do 10% (rys. 14 i 15). W przedziale od 10% do 20% błędów względnych znajdują się 63 błędy (37% wszystkich błędów), a do przedziału od 20% do 30% błędów względnych należy 19 błędów (11% wszystkich błędów).



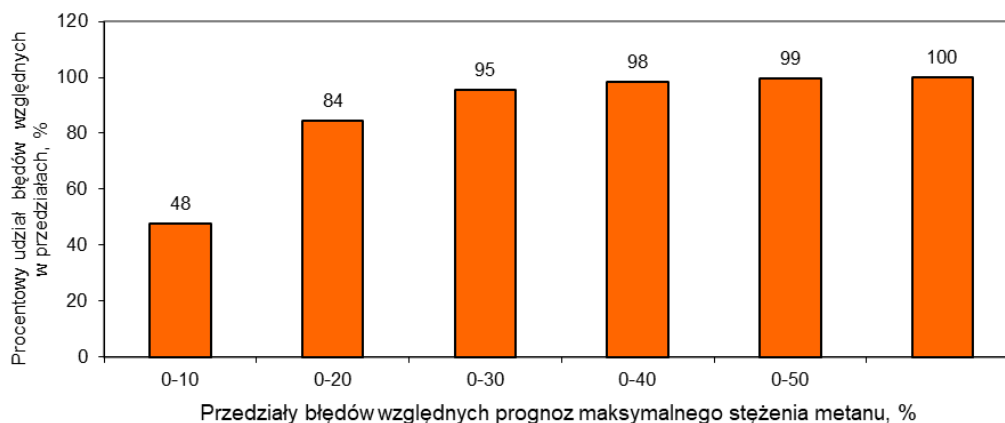
**Rys. 14 Liczby błędów względnych w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne



**Rys. 15 Procentowy udział błędów względnych prognozy w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne



**Rys. 16 Procentowy udział błędów względnych prognozy w rosnących przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne

Błędy względne o wartościach od 0% do 20% stanowią 84% wszystkich błędów, a 95% błędów względnych znajduje się w zakresie od 0% do 30% (rys. 16).

# Ściana B-1 w pokładzie 360/1

**Tabela 3**  
*Parametry statystyczne dotyczące maksymalnego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego ściany*

| Parametr     | Stężenie pomiarowe<br>% CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd względny<br>% |
|--------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| średnia      | 0,8                                     | 0,7                                        | 0,1                                   | 18,9               |
| mediana      | 0,9                                     | 0,8                                        | 0,1                                   | 15,1               |
| percentyl 75 | 1,0                                     | 0,9                                        | 0,2                                   | 23,5               |
| percentyl 90 | 1,1                                     | 1,0                                        | 0,3                                   | 35,3               |
| max          | 1,4                                     | 1,1                                        | 0,6                                   | 140,4              |
| min          | 0,2                                     | 0,3                                        | 0,0                                   | 0,1                |
| zakres       | 1,2                                     | 0,8                                        | 0,6                                   | 140,3              |
| suma         | 163,2                                   | 151,1                                      | 27,6                                  | 3875,2             |

Dane pomiarowe dotyczą 206 dni, przy czym prognozę autoregresyjną sporządzono dla 205 dni (za wyjątkiem pierwszego dnia pomiarów). Współczynnik korelacji pomiędzy wartościami pomiarowymi i prognozowanymi maksymalnego stężenia metanu wynosi  $r = 0,84$  a współczynnik determinacji  $R^2 = 0,70$  co oznacza że z prawdopodobieństwem 70% istnieje zależność liniowa między maksymalnym stężeniem pomiarowym i prognozowanym metanu.

Z tabeli 3 wynika, że średnia wartość maksymalnego stężenia pomiarowego (0,8% CH<sub>4</sub>) jest o 0,01% CH<sub>4</sub> wyższa od prognozowanej (0,7% CH<sub>4</sub>). Mediana stężeń pomiarowych (0,9 CH<sub>4</sub>) jest także wyższa od mediany stężeń prognozowanych o 0,1% CH<sub>4</sub>. Taka sama relacja zachodzi dla percentyli 0,75 oraz percentyli 0,90.

Maksymalne stężenie pomiarowe metanu mieści się w granicach od 0,2% CH<sub>4</sub> do 1,4% CH<sub>4</sub>, czyli zakres zmienności wynosi 1,2% CH<sub>4</sub>. Natomiast granice wahań maksymalnego stężenia prognozowanego wynoszą 0,3% CH<sub>4</sub> i 1,1% CH<sub>4</sub>, czyli zakres tych wahań (0,8% CH<sub>4</sub>) jest niższy o 0,4% CH<sub>4</sub> w stosunku do stężeń pomiarowych.

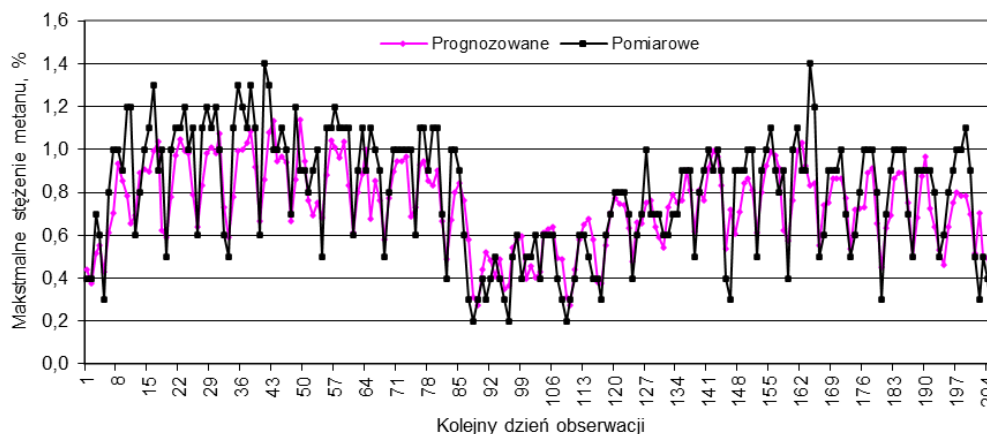
Prognoza maksymalnego stężenia metanu jest zaniżona w stosunku do stężenia pomiarowego, gdyż suma stężeń maksymalnych pomiarowych wynosi 163,2% CH<sub>4</sub>, a prognozowanych 151,1%.

Średni błąd bezwzględny prognozy wynosi 0,1% CH<sub>4</sub>, co odpowiada dokładności pomiarowej stężenia metanu, a średni błąd względny wynosi 18,9%. Mediana błędów bezwzględnych wynosi 0,1% CH<sub>4</sub>, natomiast błędów względnych 15,1%.

Percentyl 0,75 błędów bezwzględnych wynosi 0,2% CH<sub>4</sub>, natomiast błędów względnych wynosi 23,5%. Percentyl 0,90 błędów bezwzględnych wynosi 0,3% CH<sub>4</sub>, a błędów względnych 35,3%. Maksymalna wartość błędów bezwzględnych wynosi 0,6% CH<sub>4</sub>, a zakres błędów jest także równy tej wartości. Natomiast maksymalna

wartość błędów względnych wynosi 140,4%, a i ich zakres wynosi 140,3% czyli jest mniejszy jedynie o 0,1% od wartości maksymalnej.

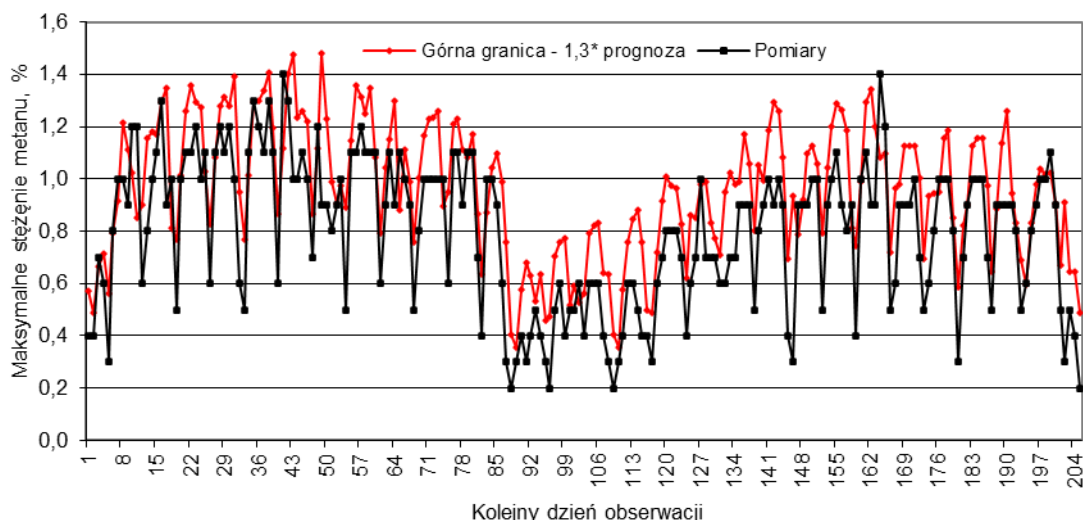
Z wykresów przedstawionych na rysunku 17 wynika, że dla dużej liczby dni prognozowane maksymalne stężenie metanu jest zaniżone w stosunku do pomiarowego.



**Rys. 17 Wykres maksymalnego stężenia pomiarowego i prognozowanego**

Źródło: opracowanie własne

Rysunek 18 przedstawia wykresy maksymalnych stężeń metanu pomiarowych i górną granicę prognozy (1,3 razy prognoza). Obliczenia wykazały, że w 17 przypadkach na 205, czyli dla około 8,3%, wartości stężenia pomiarowego przekraczają górną granicę prognozy.

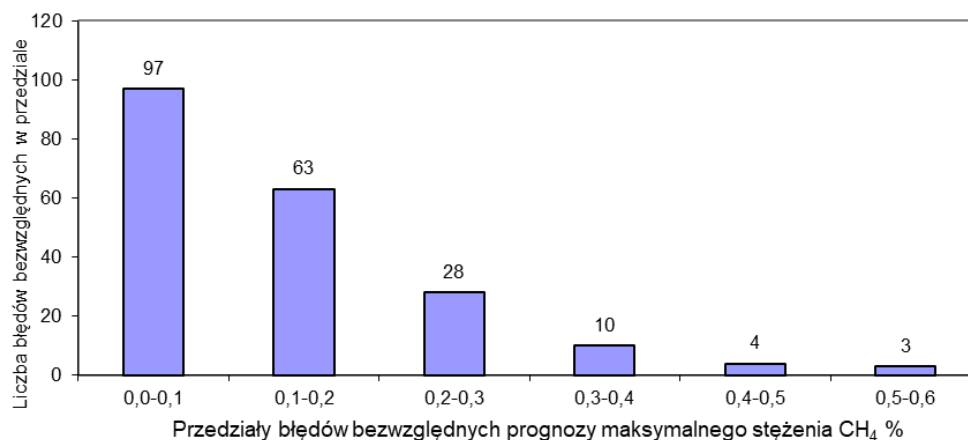


**Rys. 18 Położenie maksymalnego stężenia pomiarowego względem górnej granicy prognozy (1,3 razy prognoza)**

Źródło: opracowanie własne

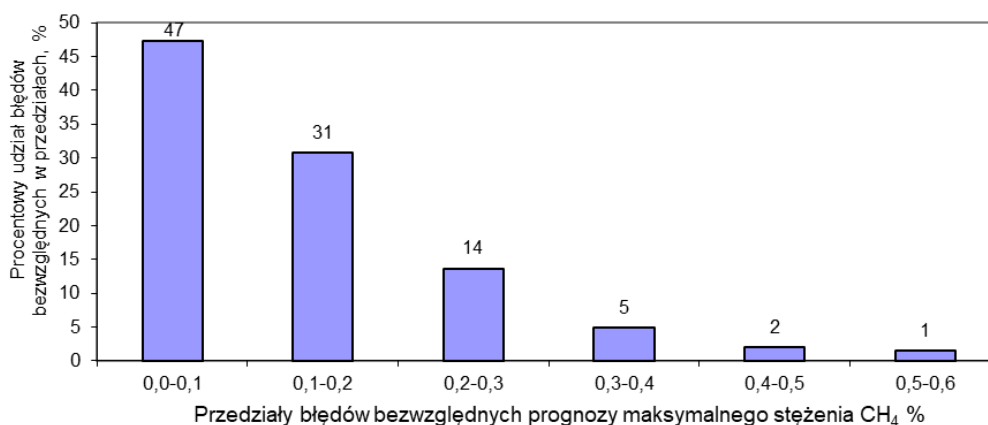
Najwięcej błędów bezwzględnych prognozy maksymalnego stężenia metanu – 97 (47% wszystkich błędów bezwzględnych), znajduje się w przedziale od 0% CH<sub>4</sub> do 0,1% CH<sub>4</sub> (rys. 19 i 20). Liczba błędów bezwzględnych o wartościach od 0,1% CH<sub>4</sub> do 0,2% CH<sub>4</sub> wynosi 63 i stanowi 31% wszystkich błędów, natomiast 28 błędów

bezwzględnych (14% wszystkich błędów) zawiera się w przedziale od 0,2% CH<sub>4</sub> do 0,3% CH<sub>4</sub>.



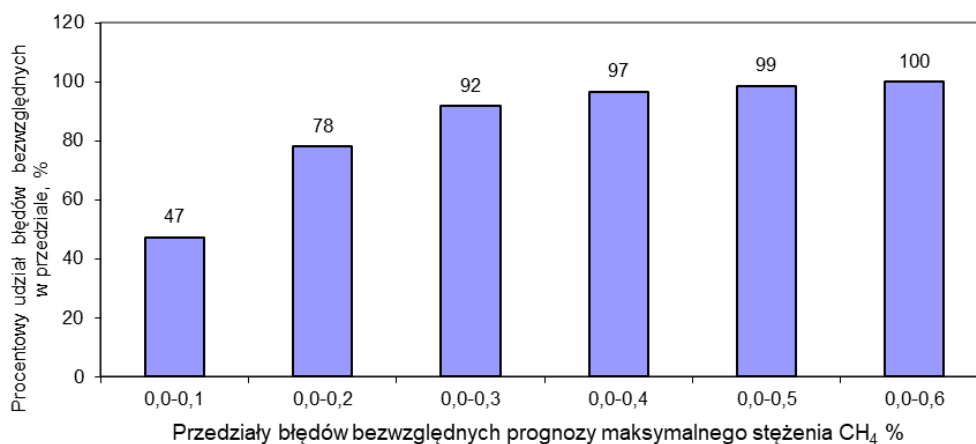
**Rys. 19 Liczby błędów bezwzględnych maksymalnego stężenia metanu w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne



**Rys. 20 Procentowy udział błędów bezwzględnych maksymalnego stężenia metanu w przedziałach błędów**

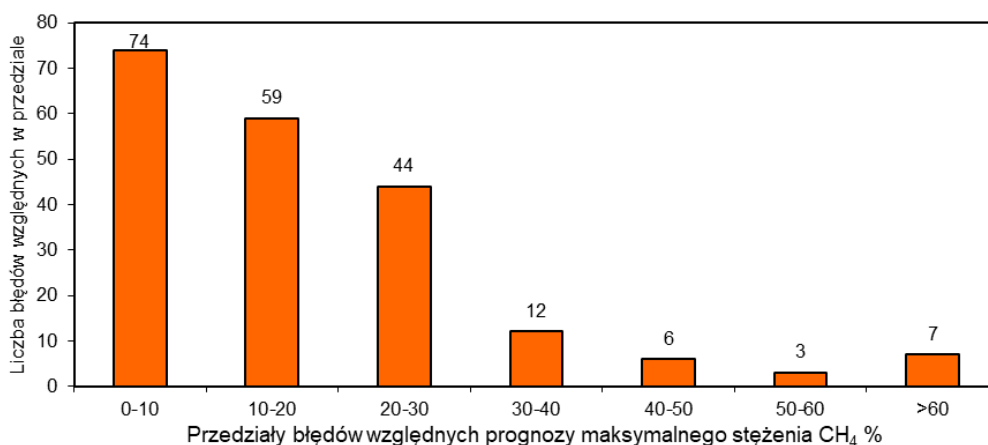
Źródło: opracowanie własne



**Rys. 21 Procentowy udział błędów bezwzględnych w rosnących przedziałach błędów**

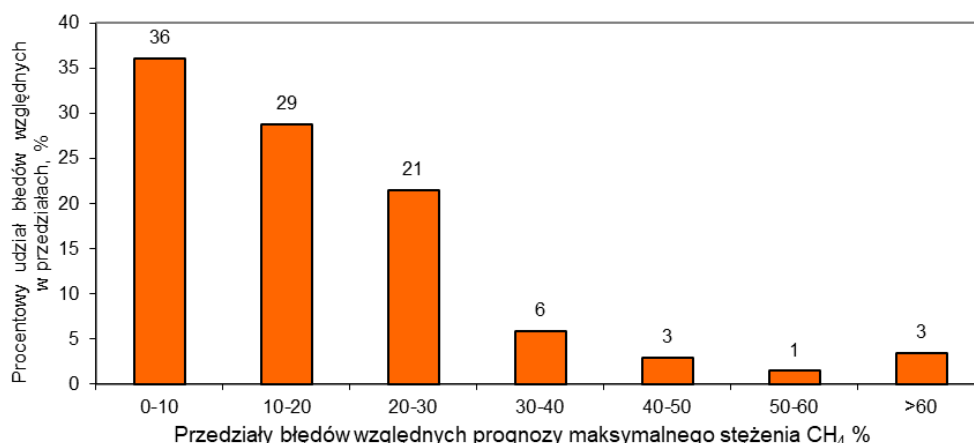
Źródło: opracowanie własne

W przedziale od 0% CH<sub>4</sub> do 0,2% CH<sub>4</sub> zawiera 78% błędów bezwzględnych prognozy, a w granicach 0% CH<sub>4</sub> do 0,3% CH<sub>4</sub> znajduje się 92% takich błędów (rys. 21).



**Rys. 22 Liczby błędów względnych prognozy maksymalnego stężenia metanu w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne

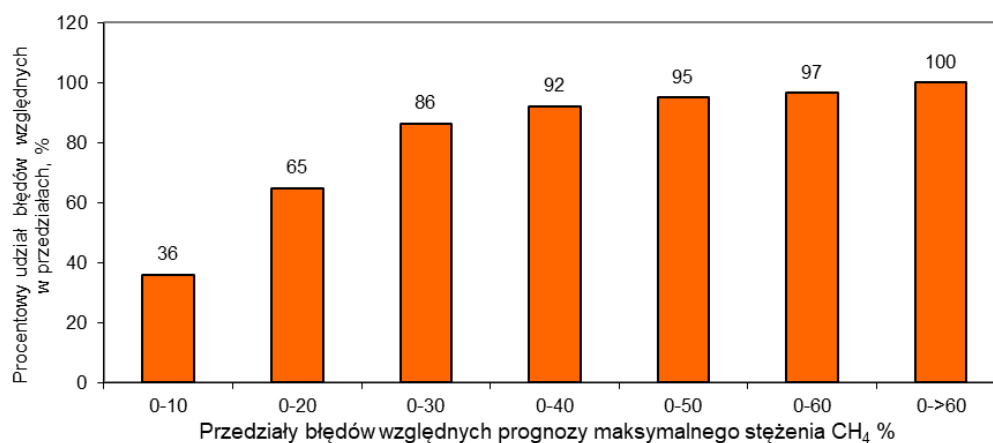


**Rys. 23 Procentowy udział błędów względnych prognozy maksymalnego stężenia metanu w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne

Najwięcej błędów względnych prognozy maksymalnego stężenia metanu, bo 74 (36% wszystkich błędów względnych), znajduje się w przedziale od 0% do 10% (rys. 22 i 23). W przedziałach błędów względnych 10%-20% i 20% do 30% znajduje się odpowiednio 59 (29% wszystkich) i 44 (21% wszystkich) błędów względnych.

Błędy względne o wartościach od 0% do 20% stanowią 65% wszystkich błędów, a w zakresie od 0% do 30% znajduje się 86% błędów względnych (rys. 24). Ponad 90% błędów względnych należy do przedziału od 0% do 40%.



**Rys. 24 Procentowy udział błędów względnych prognozy maksymalnego stężenia metanu w rosnących przedziałach błędów**

*Źródło: opracowanie własne*

## Ściana W-4 w pokładzie 360/1

**Tabela 4**  
*Parametry statystyczne dotyczące maksymalnego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego*

| Parametr       | Stężenie pomiarowe<br>% CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd względny<br>% |
|----------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| średnia        | 1,1                                     | 1,1                                        | 0,2                                   | 25,8               |
| mediana        | 1,1                                     | 1,2                                        | 0,2                                   | 25,9               |
| percentyl 0,75 | 1,2                                     | 1,3                                        | 0,3                                   | 35,4               |
| percentyl 0,90 | 1,3                                     | 1,4                                        | 0,4                                   | 45,5               |
| max            | 1,7                                     | 1,6                                        | 0,5                                   | 75,2               |
| min            | 0,6                                     | 0,7                                        | 0,0                                   | 0,0                |
| zakres         | 1,1                                     | 0,9                                        | 0,5                                   | 75,2               |
| suma           | 170,0                                   | 177,0                                      | 35,8                                  | 3996,0             |

Dane pomiarowe dotyczą 156 dni, przy czym prognozę autoregresyjną sporządzono dla 155 dni (za wyjątkiem pierwszego dnia pomiarów). Współczynnik korelacji pomiędzy wartościami pomiarowymi i prognozowanymi maksymalnego stężenia metanu wynosi  $r = 0,59$  a współczynnik determinacji  $R^2 = 0,35$  co oznacza że jedynie z prawdopodobieństwem 35% istnieje zależność liniowa między maksymalnym stężeniem pomiarowym i prognozowanym metanu. Analiza danych wykazała, że dla wielu dni okresu obserwacji wartości średnie i maksymalne stężenia metanu bardzo mało różniły się między sobą.

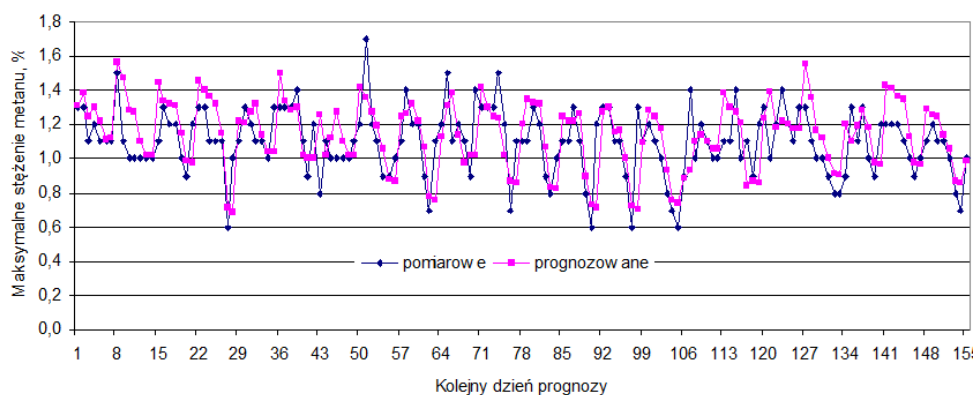
Średnia wartość maksymalnego stężenia pomiarowego (1,1% CH<sub>4</sub>) jest równa wartości prognozowanej (tabeli 4), natomiast mediana stężeń pomiarowych (1,1% CH<sub>4</sub>) jest niższa od mediany stężeń prognozowanych o 0,1% CH<sub>4</sub>. Taka sama relacja zachodzi dla percentyli 0,75 oraz percentyli 0,90.

Maksymalne stężenie pomiarowe metanu mieści się w granicach od 0,6% CH<sub>4</sub> do 1,7% CH<sub>4</sub>, czyli zakres zmienności wynosi 1,1% CH<sub>4</sub>, a granice wahań maksymalnego stężenia prognozowanego wynoszą od 0,7% CH<sub>4</sub> do 1,6% CH<sub>4</sub>, co oznacza że zakres tych wahań (0,9% CH<sub>4</sub>) jest niższy o 0,2% CH<sub>4</sub> w stosunku do stężeń pomiarowych. Prognoza maksymalnego stężenia metanu jest nieco zawyżona w stosunku do stężenia pomiarowego, gdyż suma stężeń maksymalnych pomiarowych wynosi 170,0% CH<sub>4</sub>, a prognozowanych 177,0% CH<sub>4</sub>.

Średni błąd bezwzględny prognozy wynosi 0,2% CH<sub>4</sub>, a średni błąd względny wynosi 25,8 %. Mediana błędów bezwzględnych wynosi 0,2% CH<sub>4</sub>, natomiast błędów względnych 25,9%. Percentyl 0,75 błędów bezwzględnych wynosi 0,3% CH<sub>4</sub>, natomiast błędów względnych wynosi 35,4%. Percentyl 0,90 błędów bezwzględnych jest równy 0,4% CH<sub>4</sub>, a błędów względnych 45,5%.

Maksymalna wartość błędów bezwzględnych wynosi 0,5% CH<sub>4</sub>, a zakres błędów jest także równy tej wartości. Maksymalna wartość błędów względnych wynosi 75,2%, i taka samą wartość posiada ich zakres.

Z wykresów przedstawionych na rysunku 25 wynika, że dla znacznej liczby dni prognozowane maksymalne stężenie metanu jest zawyżone w stosunku do pomiarowego.

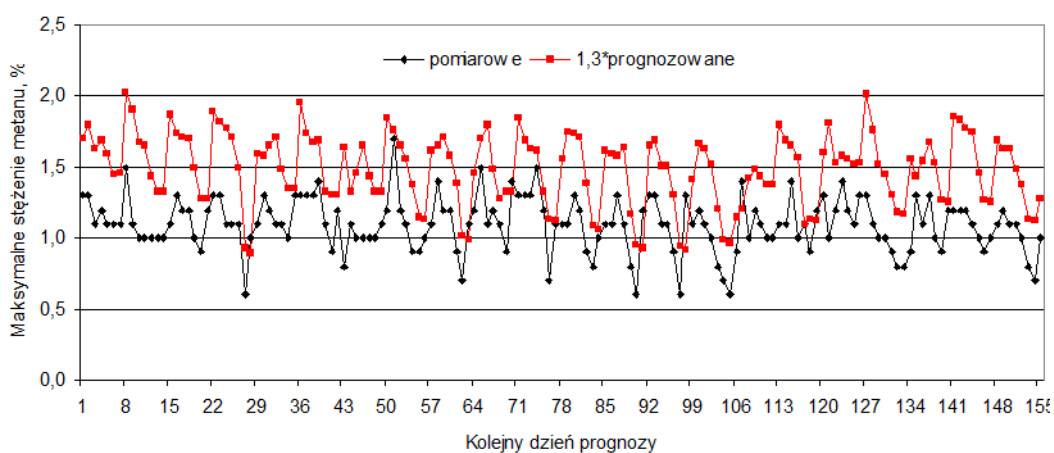


**Rys. 25 Wykres maksymalnego stężenia pomiarowego i prognozowanego**

Źródło: opracowanie własne

Rysunek 26 przedstawia wykresy maksymalnych stężeń metanu pomiarowych i górną granicę prognozy (1,3 razy prognoza).

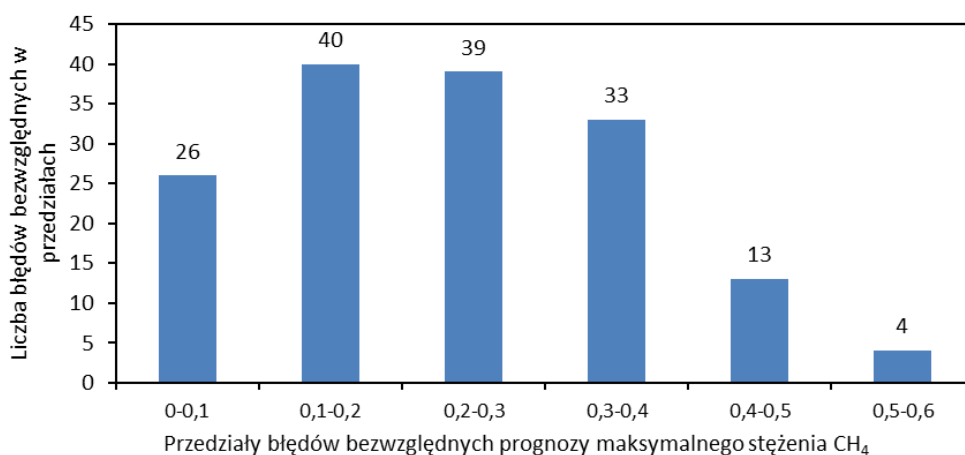
Obliczenia wykazały, że w 7 przypadkach na 155, czyli około 4,5% wartości stężenia pomiarowego przekraczają górną granicę prognozy.



**Rys. 26 Położenie maksymalnego stężenia pomiarowego względem górnej granicy prognozy (1,3 razy prognoza)**

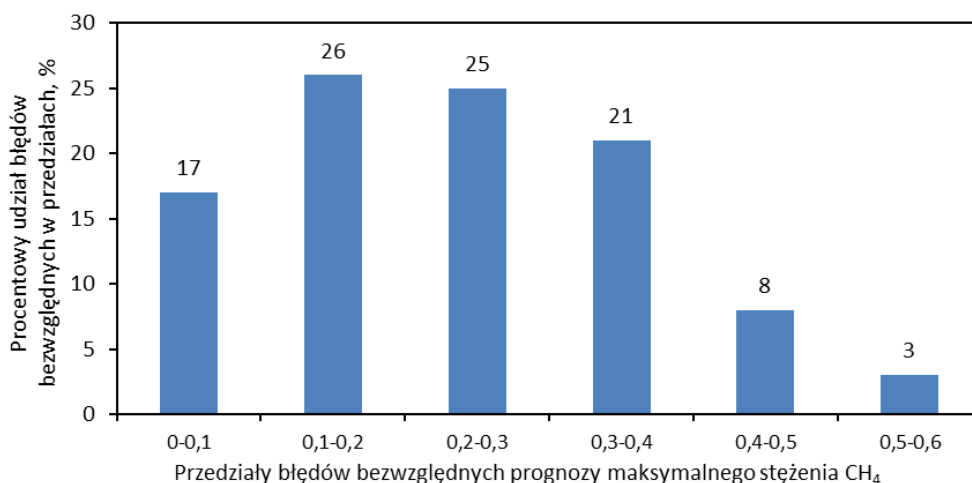
Źródło: opracowanie własne

Najwięcej błędów bezwzględnych prognozy maksymalnego stężenia metanu, 40 (26% wszystkich błędów bezwzględnych), znajduje się w przedziale od 0,1% CH<sub>4</sub> do 0,2% CH<sub>4</sub> (rys. 27 i 28). Liczba błędów bezwzględnych o wartościach od 0,0% CH<sub>4</sub> do 0,1% CH<sub>4</sub> wynosi 26 i stanowi jedynie 17% wszystkich błędów. 39 błędów bezwzględnych posiada wartości z przedziału od 0,2% CH<sub>4</sub> do 0,3% CH<sub>4</sub>, co stanowi 25% całości błędów, a 33 błędy (21%) należy do przedziału od 0,3% CH<sub>4</sub> do 0,4% CH<sub>4</sub>.



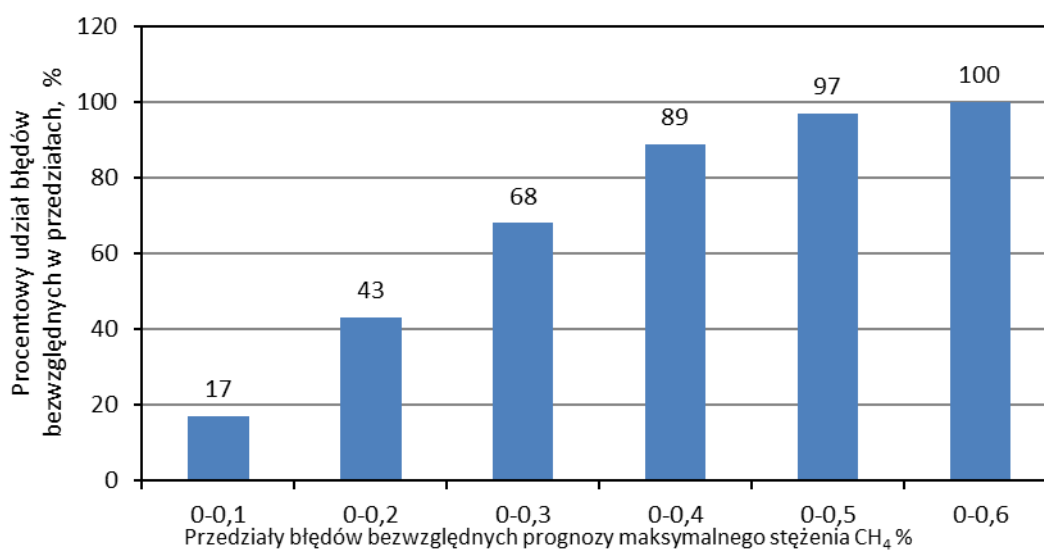
**Rys. 27 Liczby błędów bezwzględnych maksymalnego stężenia metanu w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne



**Rys. 28 Procentowy udział błędów bezwzględnych maksymalnego stężenia metanu w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne



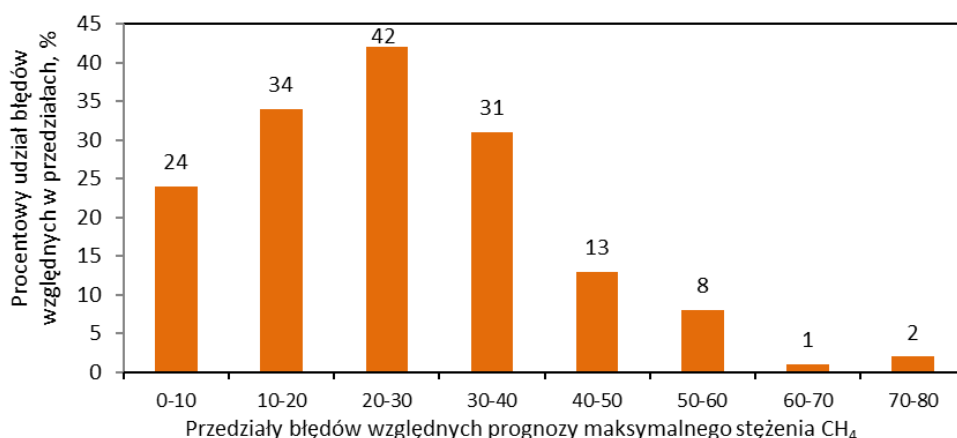
**Rys. 29 Procentowy udział błędów bezwzględnych w rosnących przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne

W przedziale od 0% CH<sub>4</sub> do 0,2% CH<sub>4</sub> zawiera się 43% błędów bezwzględnych, w przedziale od 0% do 0,30% CH<sub>4</sub> – 68% błędów bezwzględnych, a przedział od 0% CH<sub>4</sub> do 0,4% CH<sub>4</sub> zawiera 89% wszystkich błędów bezwzględnych (rys. 29).

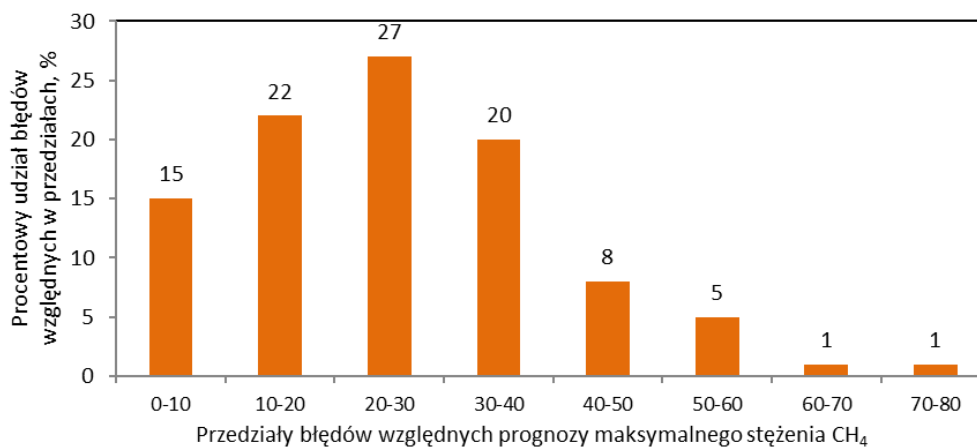
Podobnie jak błędy bezwzględne nietypowo rozkładają się błędy względne (rysunki 30, 31).

Do przedziału od 0% do 10% należą 24 błędy względne (15% błędów), do przedziału 10%-20% należą 34 błędy (22% błędów). Najliczniejszym jest przedział o wartościach błędów względnych od 20%-30%, gdyż należą do niego 42 błędy co stanowi 27% wszystkich błędów względnych. Przedział błędów względnych 30%-40%, zawiera 31 błędów, co stanowi 20% wszystkich błędów względnych. Przedział błędów względnych 30%-40%, zawiera 31 błędów, co stanowi 20% wszystkich błędów względnych.



**Rys. 30 Liczby błędów względnych prognozy maksymalnego stężenia metanu w przedziałach błędów**

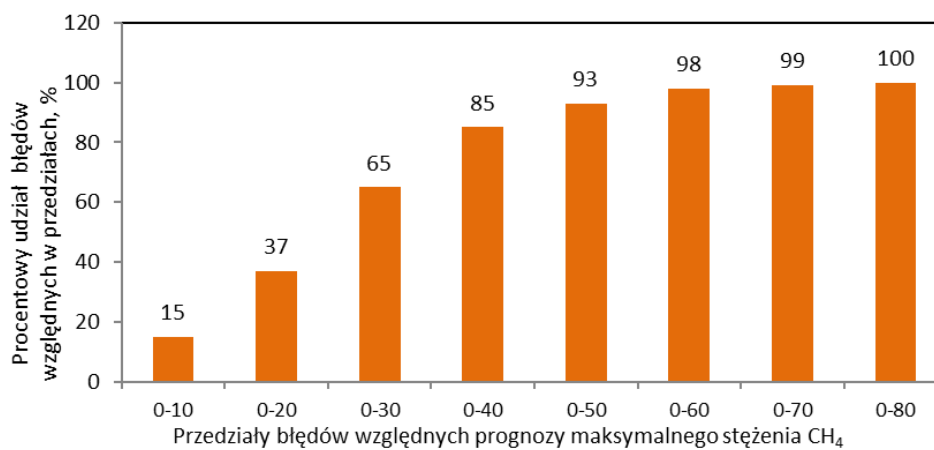
Źródło: opracowanie własne



**Rys. 31 Procentowy udział błędów względnych prognozy maksymalnego stężenia metanu w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne

Z danych przedstawionych na rysunku 32 wynika, że liczba błędów względnych wolno rośnie od wartości 15% w przedziale od 0-10% wartości błędów względnych do 93% w przedziale od 0-50% błędów względnych.



**Rys. 32 Procentowy udział błędów względnych prognozy maksymalnego stężenia metanu w rosnących przedziałach błędów**

*Źródło: opracowanie własne*

# Ściana N-3 w pokładzie 403/1

**Tabela 5**  
*Parametry statystyczne dotyczące maksymalnego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego*

| Parametr     | Stężenie pomiarowe<br>% CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd względny<br>% |
|--------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| średnia      | 0,9                                     | 0,9                                        | 0,1                                   | 16,3               |
| mediana      | 0,9                                     | 0,9                                        | 0,1                                   | 13,9               |
| percentyl 75 | 1,0                                     | 1,1                                        | 0,2                                   | 20,8               |
| percentyl 90 | 1,2                                     | 1,1                                        | 0,2                                   | 32,4               |
| max          | 1,4                                     | 1,3                                        | 0,5                                   | 125,6              |
| min          | 0,1                                     | 0,2                                        | 0,0                                   | 0,0                |
| zakres       | 1,3                                     | 1,1                                        | 0,5                                   | 125,6              |
| suma         | 156,9                                   | 161,8                                      | 22,4                                  | 2960,9             |

Dane pomiarowe dotyczą 183 dni, przy czym prognozę autoregresyjną sporządzono dla 182 dni (za wyjątkiem pierwszego dnia pomiarów). Współczynnik korelacji pomiędzy wartościami pomiarowymi i prognozowanymi maksymalnego stężenia metanu wynosi  $r = 0,84$  a współczynnik determinacji  $R^2 = 0,71$  co oznacza że z prawdopodobieństwem 71% istnieje zależność liniowa między maksymalnym stężeniem pomiarowym i prognozowanym metanu.

Średnie wartości maksymalnego stężenia pomiarowego i prognozowanego (0,9% CH<sub>4</sub>) oraz ich mediany (0,9% CH<sub>4</sub>) posiadają te same wartości (tabeli 5).

Percentyl 0,75 stężenia pomiarowego (1,0% CH<sub>4</sub>) jest niższy o 0,1% CH<sub>4</sub> od wartości tego wskaźnika statystycznego dla stężenia prognozowanego. Natomiast percentyl 0,9 maksymalnego stężenia pomiarowego jest o 0,1% CH<sub>4</sub> wyższy od wartości tego wskaźnika statystycznego dla stężenia prognozowanego.

Stężenie pomiarowe maksymalnego stężenia metanu mieści się w granicach od 0,1% CH<sub>4</sub> do 1,4% CH<sub>4</sub>, czyli zakres zmienności wynosi 1,3% CH<sub>4</sub>, a granice wahań maksymalnego stężenia prognozowanego wynoszą od 0,2% CH<sub>4</sub> do 1,3% CH<sub>4</sub>, czyli zakres tych wahań (1,1% CH<sub>4</sub>) jest niższy o 0,2% CH<sub>4</sub> w stosunku do stężeń pomiarowych.

Prognoza maksymalnego stężenia metanu jest nieco zawyżona w stosunku do stężenia pomiarowego, gdyż suma stężeń maksymalnych pomiarowych wynosi 156,9% CH<sub>4</sub>, a prognozowanych 161,8% CH<sub>4</sub>.

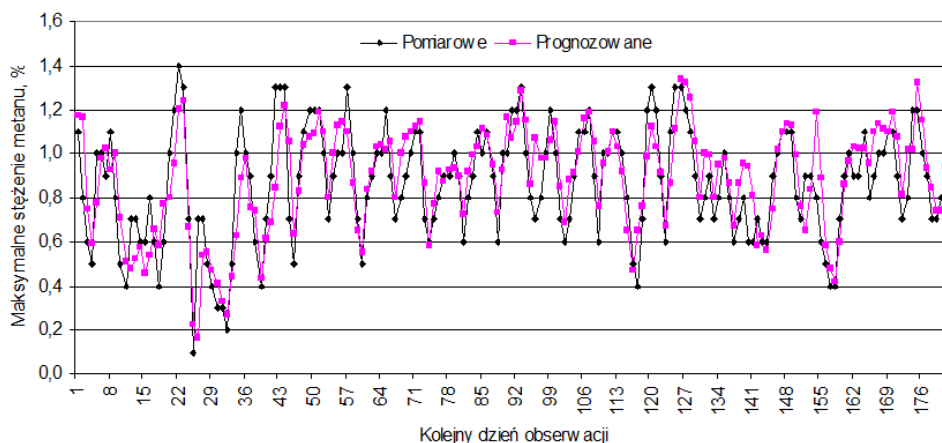
Średni błąd bezwzględny prognozy wynosi 0,1% CH<sub>4</sub>, a średni błąd względny wynosi 16,3%.

Mediana błędów bezwzględnych wynosi 0,1% CH<sub>4</sub>, natomiast błędów względnych 13,9%.

Percentyl 0,75 błędów bezwzględnych wynosi 0,2% CH<sub>4</sub>, a błędów względnych 20,8%. Natomiast percentyl 0,90 błędów bezwzględnych wynosi 0,2% CH<sub>4</sub>, a błędów względnych 32,4%.

Maksymalna wartość błędów bezwzględnych wynosi 0,5% CH<sub>4</sub>, a ich zakres jest także równy tej wartości. Maksymalna wartość błędów względnych wynosi 125,6% i taką samą wartość posiada ich zakres.

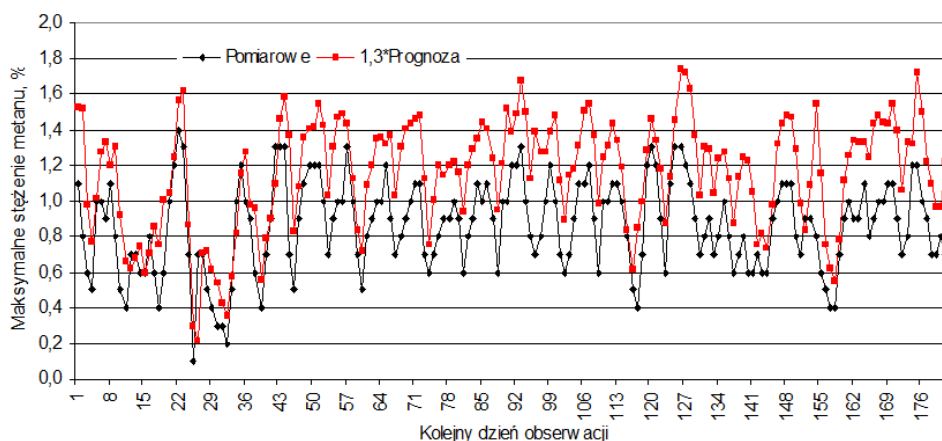
Z wykresów przedstawionych na rysunku 33 wynika, że dla dużej liczby dni prognozowane maksymalne stężenie metanu jest zaniżone w stosunku do pomiarowego.



**Rys. 33 Wykres maksymalnego stężenia pomiarowego i prognozowanego**

Źródło: opracowanie własne

Rysunek 34 przedstawia wykresy maksymalnych stężeń metanu pomiarowych i górną granicę prognozy (1,3 razy prognoza). Obliczenia wykazały, że w 1 przypadku na 182, wartość stężenia pomiarowego, przekracza górną granicę prognozy.

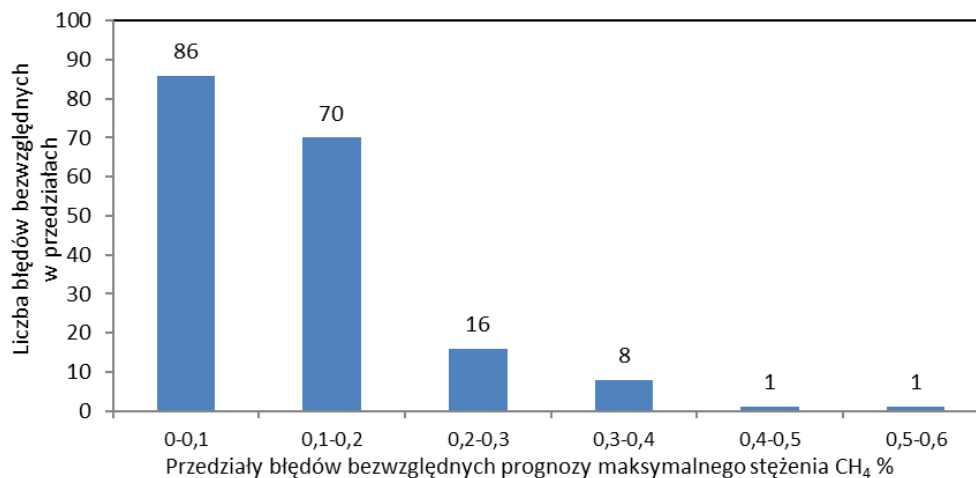


**Rys. 34 Położenie maksymalnego stężenia pomiarowego względem górnej granicy prognozy (1,3 razy prognoza)**

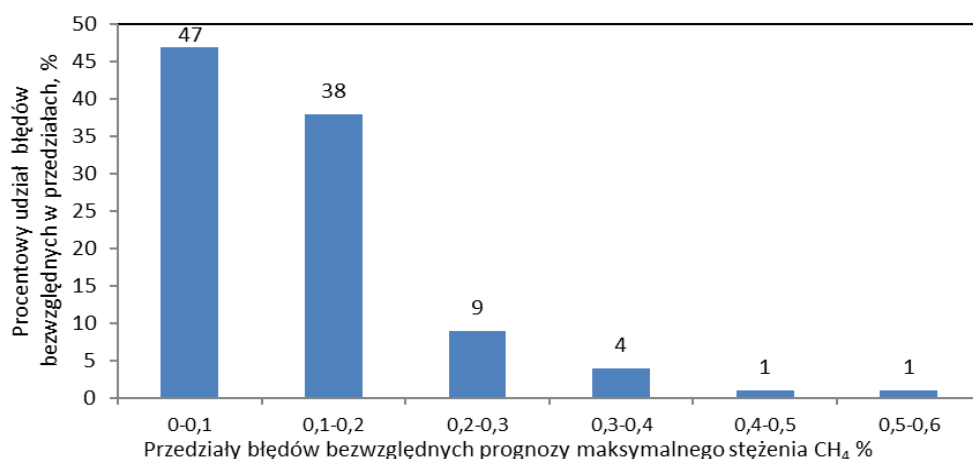
Źródło: opracowanie własne

Najwięcej błędów bezwzględnych prognozy maksymalnego stężenia metanu, bo aż 86 (47% wszystkich błędów bezwzględnych) znajduje się w przedziale od 0,0% CH<sub>4</sub> do 0,1% CH<sub>4</sub> (rys. 35 i 36). Liczba błędów bezwzględnych o wartościach od 0,1% CH<sub>4</sub> do 0,2% CH<sub>4</sub> wynosi 70 i stanowi 38% wszystkich błędów. W przedziale

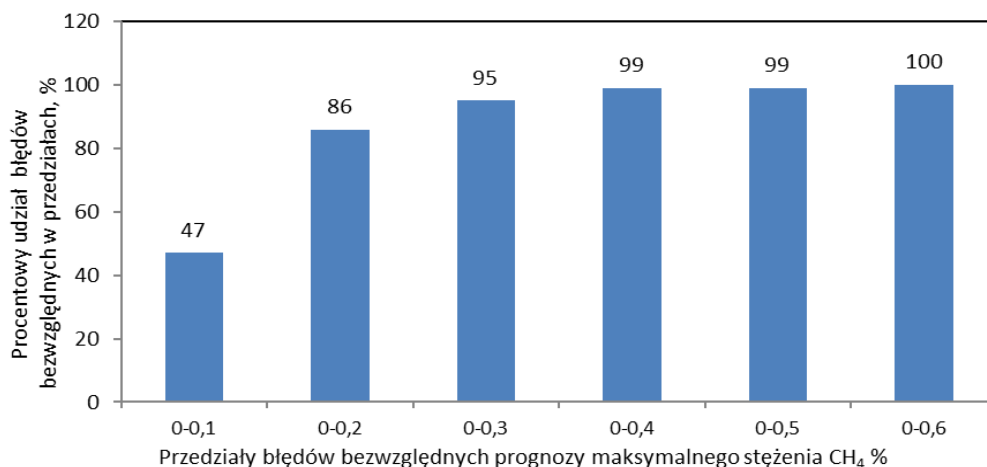
od 0% do 0,2% znajduje się 86% błędów bezwzględnych prognozy, a w przedziale od 0% CH<sub>4</sub> do 0,3% CH<sub>4</sub> znajduje się 95% błędów bezwzględnych (rys. 37).



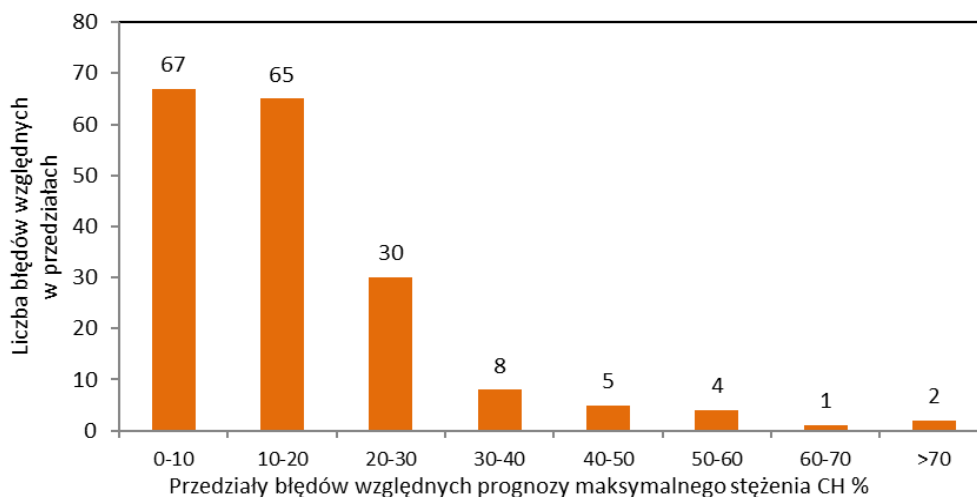
**Rys. 35 Liczba błędów bezwzględnych prognozy maksymalnego stężenia metanu**  
Źródło: opracowanie własne



**Rys. 36 Procentowy udział błędów bezwzględnych maksymalnego stężenia metanu w przedziałach błędów**  
Źródło: opracowanie własne

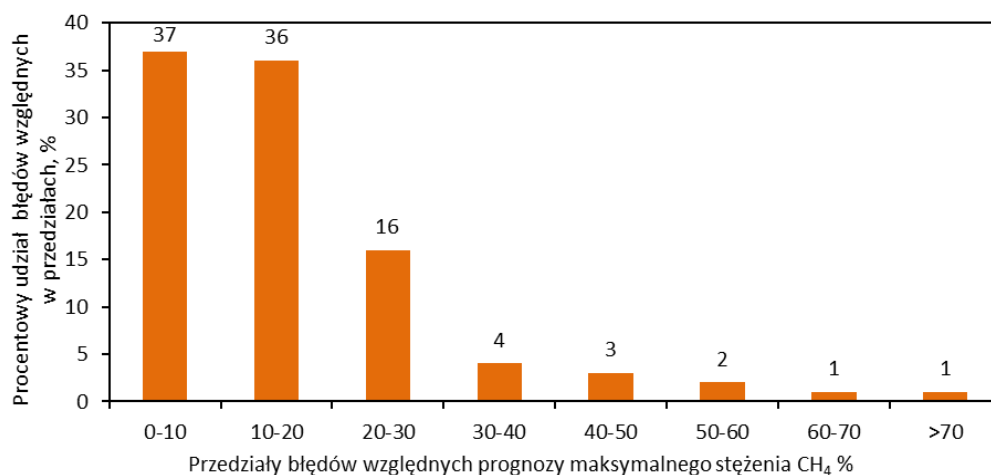


**Rys. 37 Procentowy udział błędów bezwzględnych w rosnących przedziałach błędów**  
Źródło: opracowanie własne



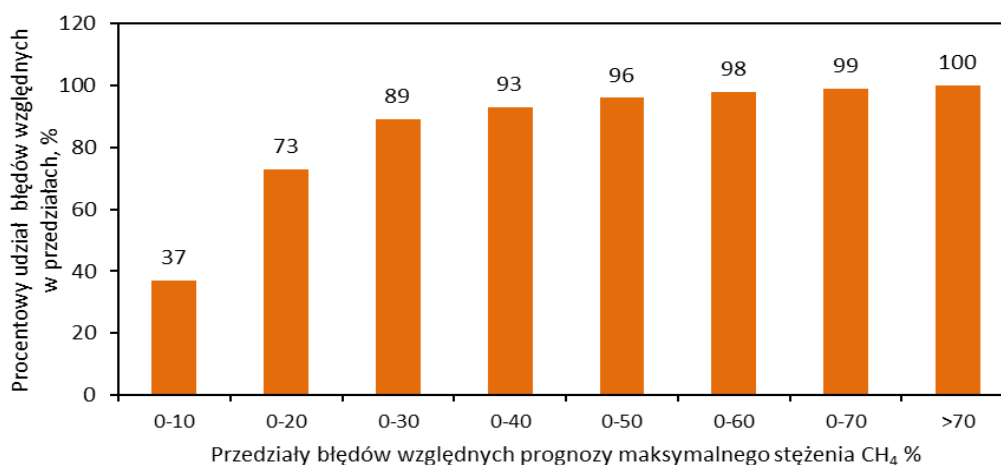
**Rys. 38 Liczby błędów względnych prognozy maksymalnego stężenia metanu w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne



**Rys. 39 Procentowy udział błędów względnych prognozy maksymalnego stężenia metanu w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne



**Rys. 40 Procentowy udział błędów względnych prognozy maksymalnego stężenia metanu w rosnących przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne

Najwięcej błędów względnych prognozy maksymalnego stężenia metanu, bo 67 (37% wszystkich błędów względnych) znajduje się w przedziale od 0% do 10% (rys. 38 i 39). Prawie taka sama liczba błędów należy do przedziału od 10% do 20% i wynosi 65, co stanowi 36% wszystkich błędów względnych.

Błędy względne (rys. 40) o wartościach od 0% do 20% stanowią 73% błędów względnych, w przedziale od 0% do 30% stanowią 89% wszystkich błędów względnych, a do przedziału od 0% do 30% należy 89% tych błędów.

# Ściana A-32 w pokładzie 430/2

**Tabela 6**  
*Parametry statystyczne dotyczące maksymalnego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego*

| Parametr     | Stężenie pomiarowe<br>% CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd względny<br>% |
|--------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| średnia      | 0,9                                     | 0,9                                        | 0,1                                   | 17,0               |
| mediana      | 0,8                                     | 0,9                                        | 0,1                                   | 13,2               |
| percentyl 75 | 1,1                                     | 1,0                                        | 0,2                                   | 23,5               |
| percentyl 90 | 1,4                                     | 1,2                                        | 0,3                                   | 35,1               |
| max          | 1,9                                     | 1,6                                        | 1,1                                   | 83,3               |
| min          | 0,3                                     | 0,4                                        | 0,0                                   | 0,1                |
| zakres       | 1,6                                     | 1,2                                        | 1,1                                   | 83,2               |
| suma         | 202,4                                   | 202,2                                      | 32,8                                  | 3831,0             |

Dane pomiarowe dotyczą 226 dni, przy czym prognozę autoregresyjną sporządzono dla 225 dni (za wyjątkiem pierwszego dnia pomiarów). Współczynnik korelacji pomiędzy wartościami pomiarowymi i prognozowanymi maksymalnego stężenia metanu wynosi  $r = 0,86$  a współczynnik determinacji  $R^2 = 0,74$  co oznacza że z prawdopodobieństwem 74% istnieje zależność liniowa między maksymalnym stężeniem pomiarowym i prognozowanym metanu.

Średnie wartości maksymalnego stężenia pomiarowego i prognozowanego są równe i wynoszą 0,9% CH<sub>4</sub>, natomiast ich mediany (odpowiednio 0,8 CH<sub>4</sub> i 0,9% CH<sub>4</sub>) różnią się o 0,1% CH<sub>4</sub> (tabela 6)

Percentyl 0,75 stężenia pomiarowego (1,1% CH<sub>4</sub>) jest wyższy o 0,1% CH<sub>4</sub> od wartości tego wskaźnika statystycznego dla stężenia prognozowanego. Natomiast percentyl 0,9 maksymalnego stężenia pomiarowego jest o 0,2% CH<sub>4</sub> wyższy od wartości tego wskaźnika dla stężenia prognozowanego.

Stężenie pomiarowe maksymalnego stężenia metanu mieści się w granicach od 0,3% CH<sub>4</sub> do 1,9% CH<sub>4</sub>, czyli zakres zmienności wynosi 1,6% CH<sub>4</sub>, a granice wahań maksymalnego stężenia prognozowanego wynoszą od 0,4% CH<sub>4</sub> do 1,6% CH<sub>4</sub>, czyli zakres tych wahań wynoszący 1,2% CH<sub>4</sub> jest niższy o 0,4% CH<sub>4</sub> w stosunku do stężeń pomiarowych.

Sumy stężeń maksymalnych pomiarowych i prognozowanych są prawie identyczne wynoszą odpowiednio 202,4% CH<sub>4</sub> i 202,2% CH<sub>4</sub>.

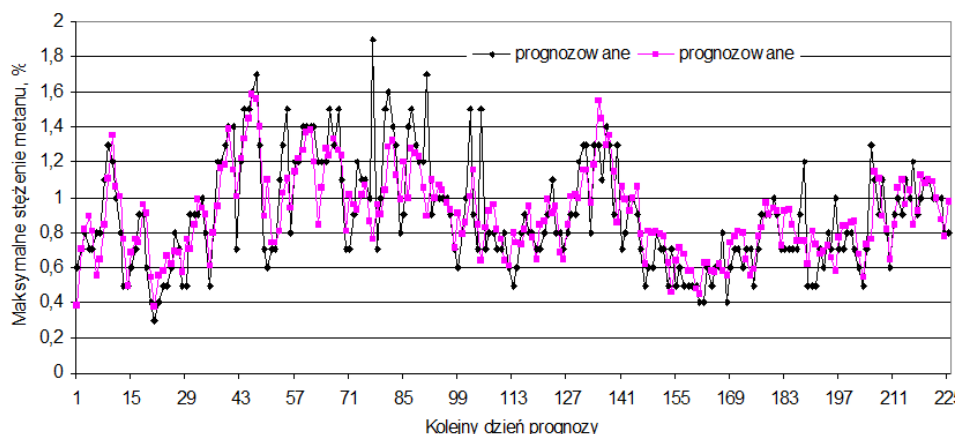
Średni błąd bezwzględny prognozy wynosi 0,1% CH<sub>4</sub>, a średni błąd względny wynosi 17,0%.

Mediana błędów bezwzględnych wynosi 0,1% CH<sub>4</sub>, natomiast błędów względnych 13,2%.

Percentyl 0,75 błędów bezwzględnych wynosi 0,2% CH<sub>4</sub> a błędów względnych wynosi 23,5%. Natomiast percentyl 0,90 błędów bezwzględnych wynosi 0,3% CH<sub>4</sub>, a błędów względnych 35,1%.

Maksymalna wartość błędów bezwzględnych wynosi 1,1% CH<sub>4</sub>, a ich zakres jest także równy tej wartości. Maksymalna wartość błędów względnych wynosi 83,3%, a ich zakres jest mniejszy jedynie o 0,1% od wartości maksymalnej.

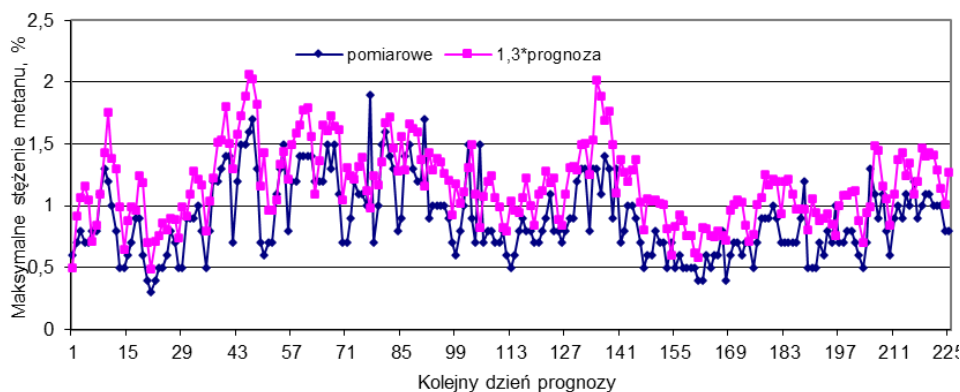
Z wykresów przedstawionych na rysunku 41 wynika, że w kilku przypadkach maksymalne stężenie pomiarowe przybiera niespodziewanie wysokie wartości, aby w następnym dniu spaść do znacznie niższego poziomu.



**Rys. 41 Wykres maksymalnego stężenia pomiarowego i prognozowanego**

Źródło: opracowanie własne

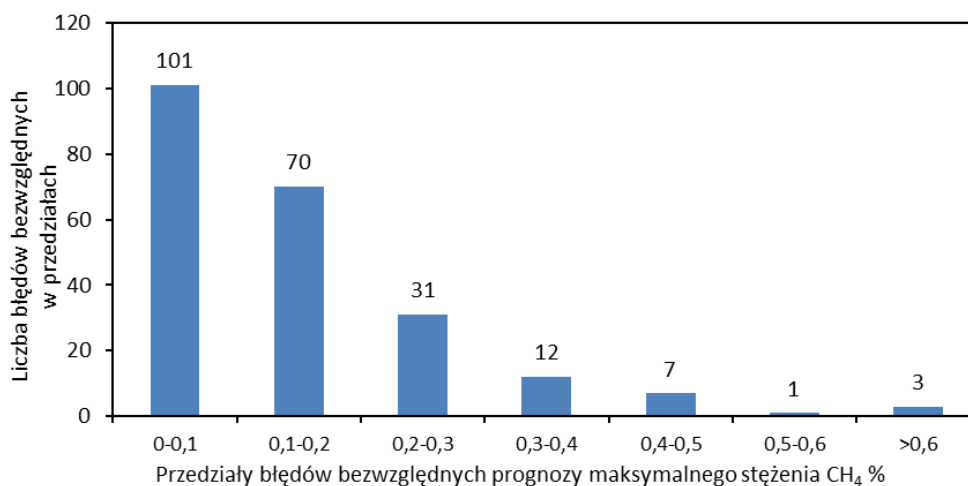
Rysunek 42 przedstawia wykresy maksymalnych stężeń metanu pomiarowych i górną granicę prognozy (1,3 raz prognoza). Obliczenia wykazały, że w 19 przypadkach na 225 (czyli około 8,4%), wartości stężenia pomiarowego przekraczają górną granicę prognozy.



**Rys. 42 Położenie maksymalnego stężenia pomiarowego względem górnej granicy prognozy (1,3 razy prognoza)**

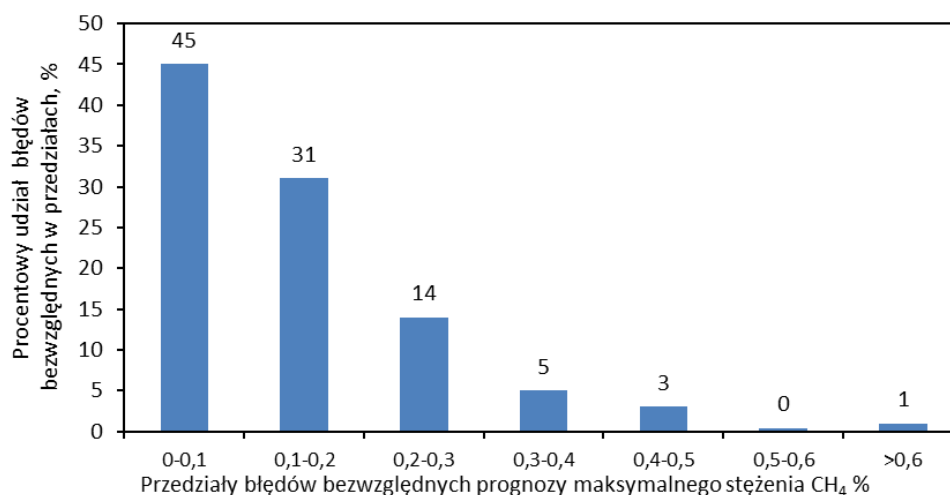
Źródło: opracowanie własne

Najwięcej błędów bezwzględnych prognozy maksymalnego stężenia metanu (101 czyli 45% wszystkich błędów bezwzględnych) znajduje się w przedziale od 0,0% CH<sub>4</sub> do 0,1% CH<sub>4</sub> (rys. 43 i 44). Liczba błędów bezwzględnych o wartościach od 0,1% CH<sub>4</sub> do 0,2% CH<sub>4</sub> wynosi 70 (31% wszystkich błędów), a przedział od 0,2% CH<sub>4</sub> do 0,3% CH<sub>4</sub> zawiera 31 błędów (14% całości błędów).



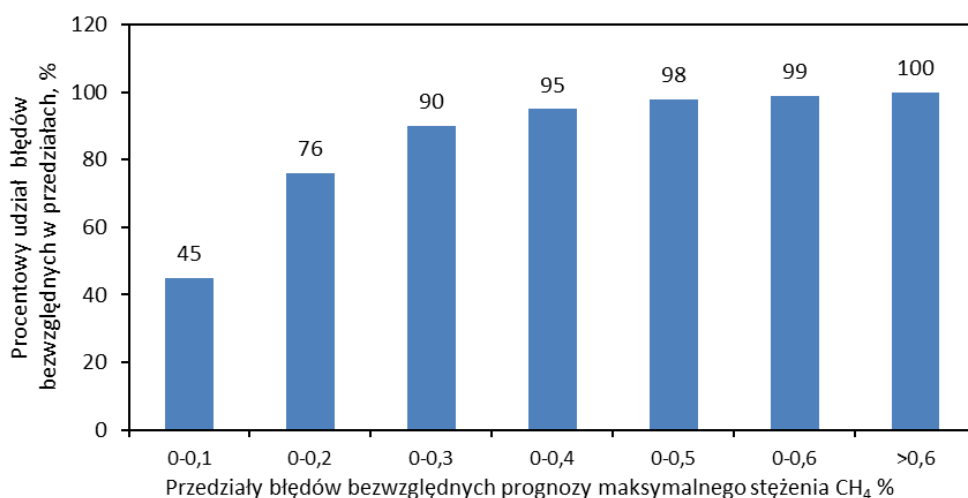
**Rys. 43 Liczba błędów bezwzględnych prognozy maksymalnego stężenia metanu**

Źródło: opracowanie własne



**Rys. 44 Procentowy udział błędów bezwzględnych maksymalnego stężenia metanu w przedziałach**

Źródło: opracowanie własne

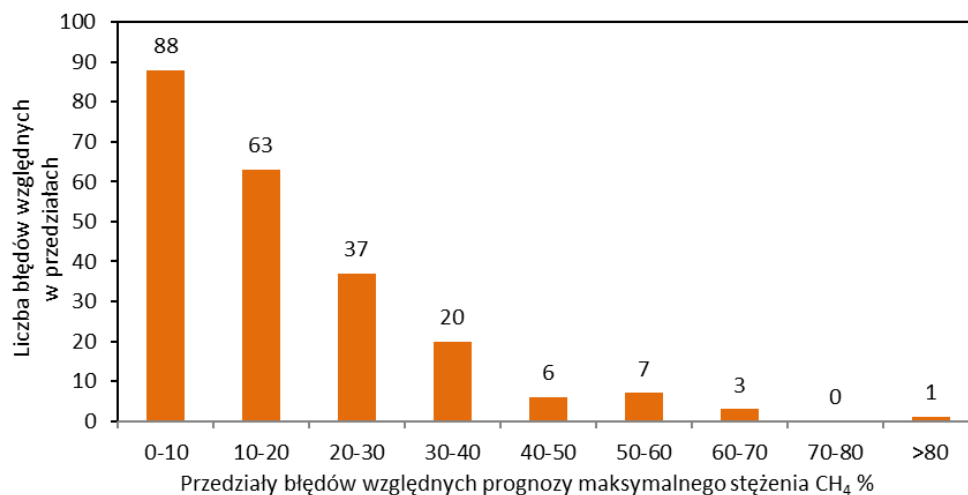


**Rys. 45 Procentowy udział błędów bezwzględnych w rosnących przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne

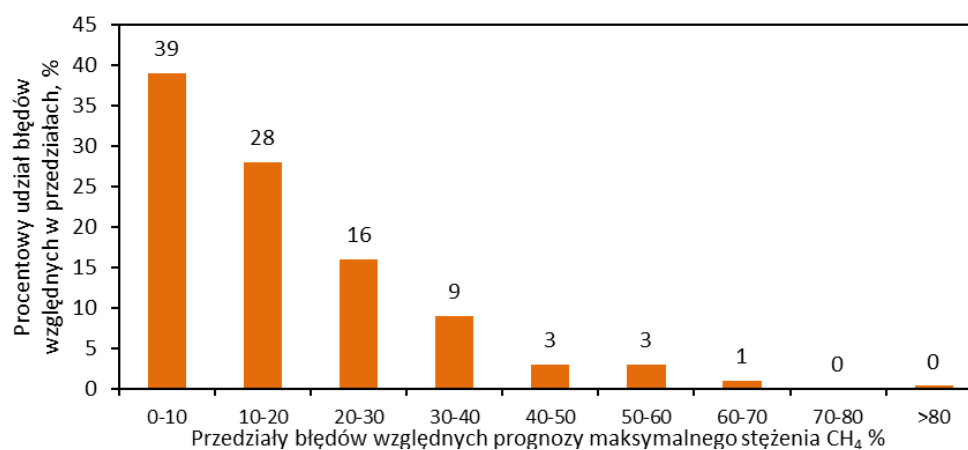
Z przedstawionej wyżej statystyki wynika, że w przedziale od 0% do 0,2% znajduje się 76% błędów bezwzględnych prognozy, a w przedziale od 0% CH<sub>4</sub> do 0,3% CH<sub>4</sub> znajduje się 90% błędów bezwzględnych (rys. 45).

Najwięcej błędów względnych prognozy maksymalnego stężenia metanu, bo 88 (39% wszystkich błędów względnych) znajduje się w przedziale od 0% do 10% (rys. 46 i 47). W przedziale od 10% do 20% znajdują się 63 błędy względne (28% wszystkich), a w przedziale od 20% do 30% występuje 37 (16% wszystkich) błędów względnych.



**Rys. 46 Liczby błędów względnych prognozy maksymalnego stężenia metanu**

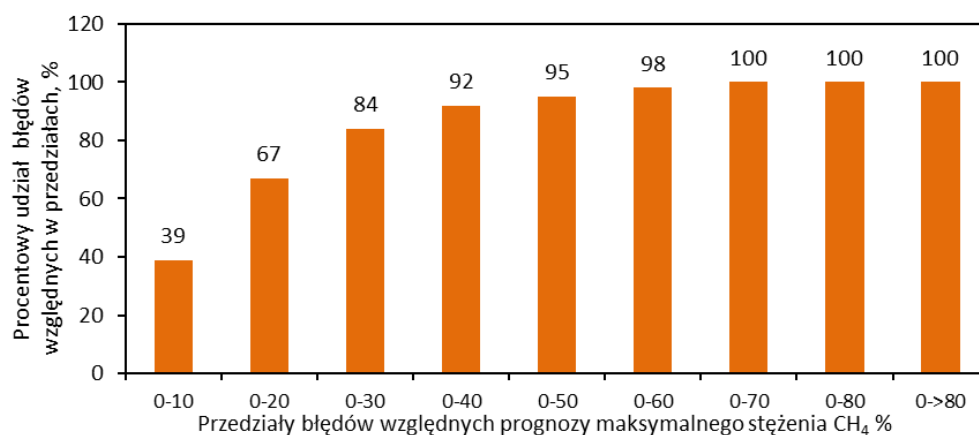
Źródło: opracowanie własne



**Rys. 47 Procentowy udział błędów względnych prognozy maksymalnego stężenia metanu w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne

Błędy względne w przedziale od 0%-20% stanowią 67%, od 0% do 30% stanowią 84% wszystkich błędów względnych, a w przedziale 0% do 40% ich liczba stanowi 92% całkowitej liczby błędów względnych (rys. 48).



**Rys. 48 Procentowy udział błędów względnych prognozy maksymalnego stężenia metanu w rosnących przedziałach błędów**

*Źródło: opracowanie własne*

# Ściana E-4 w pokładzie 505/1

**Tabela 7**  
*Parametry statystyczne dotyczące maksymalnego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego*

| Parametr       | Stężenie pomiarowe<br>% CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd względny<br>% |
|----------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| średnia        | 0,9                                     | 1,0                                        | 0,1                                   | 17,4               |
| mediana        | 0,9                                     | 0,9                                        | 0,1                                   | 12,7               |
| percentyl 0,75 | 1,1                                     | 1,1                                        | 0,2                                   | 21,5               |
| percentyl 0,90 | 1,4                                     | 1,3                                        | 0,3                                   | 35,6               |
| max            | 1,6                                     | 1,5                                        | 0,6                                   | 92,7               |
| min            | 0,4                                     | 0,4                                        | 0,0                                   | 0,5                |
| zakres         | 1,2                                     | 1,1                                        | 0,6                                   | 92,2               |
| suma           | 118,4                                   | 120,8                                      | 18,8                                  | 2187,9             |

Dane pomiarowe dotyczą 127 dni, przy czym prognozę autoregresyjną sporządzono dla 126 dni (za wyjątkiem pierwszego dnia pomiarów). Współczynnik korelacji pomiędzy wartościami pomiarowymi i prognozowanymi maksymalnego stężenia metanu wynosi  $r = 0,82$  a współczynnik determinacji  $R^2 = 0,67$  co oznacza że jedynie z prawdopodobieństwem 67% istnieje zależność liniowa między maksymalnym stężeniem pomiarowym i prognozowanym metanu.

Średnia wartość maksymalnego stężenia pomiarowego (0,9% CH<sub>4</sub>) jest o 0,1% CH<sub>4</sub> mniejsza od wartości prognozowanej (1,0% CH<sub>4</sub>), natomiast mediany stężeń pomiarowych i prognozowanych są sobie równe i wynoszą 0,90% CH<sub>4</sub> (tabela 7). Percentyle 0,75 pomiarowych i prognozowanych maksymalnych stężeń metanu są równe 1,1% CH<sub>4</sub>, natomiast percentyl 0,9 wartości pomiarowych wynosi 1,4% CH<sub>4</sub> a prognozowanych jest o 0,1% CH<sub>4</sub> niższy (1,3% CH<sub>4</sub>).

Maksymalne stężenie pomiarowe metanu mieści się w granicach od 0,4% CH<sub>4</sub> do 1,6% CH<sub>4</sub>, czyli zakres zmienności wynosi 1,2% CH<sub>4</sub>, a granice wahań maksymalnego stężenia prognozowanego wynoszą od 0,4% CH<sub>4</sub> do 1,5% CH<sub>4</sub>, czyli zakres tych wahań (1,1% CH<sub>4</sub>) jest niższy o 0,1% CH<sub>4</sub> w stosunku do stężeń pomiarowych.

Prognoza maksymalnego stężenia metanu jest nieco zawyżona w stosunku do stężenia pomiarowego, gdyż suma stężeń maksymalnych pomiarowych wynosi 118,4% CH<sub>4</sub>, a prognozowanych 120,8% CH<sub>4</sub>.

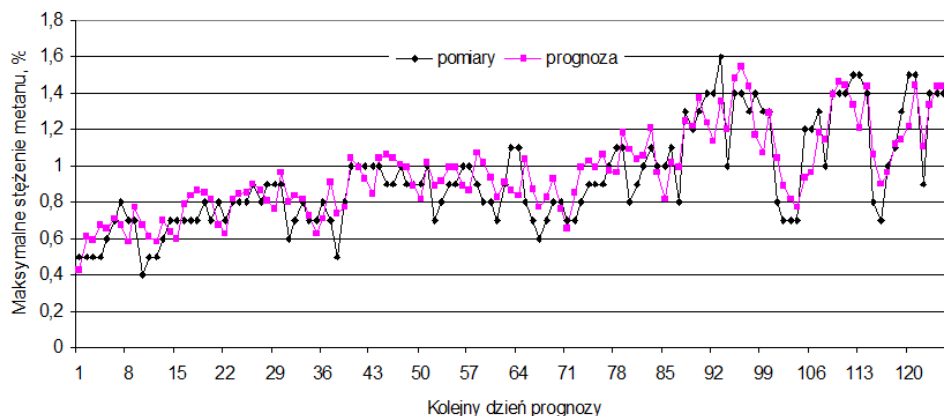
Średni błąd bezwzględny prognozy wynosi 0,1% CH<sub>4</sub>, a średni błąd względny wynosi 17,4 %.

Mediana błędów bezwzględnych wynosi 0,1% CH<sub>4</sub>, natomiast błędów względnych 12,7%.

Percentyl 0,75 błędów bezwzględnych wynosi 0,2% CH<sub>4</sub>, a błędów względnych 21,5%. Natomiast percentyl 0,90 błędów bezwzględnych wynosi 0,3% CH<sub>4</sub>, a błędów względnych 35,6%.

Maksymalna wartość błędów bezwzględnych wynosi 0,6% CH<sub>4</sub>, a zakres błędów jest także równy tej wartości. Maksymalna wartość błędów względnych wynosi 92,7%, minimalna 0,5%, czyli ich zakres wynosi 92,2%.

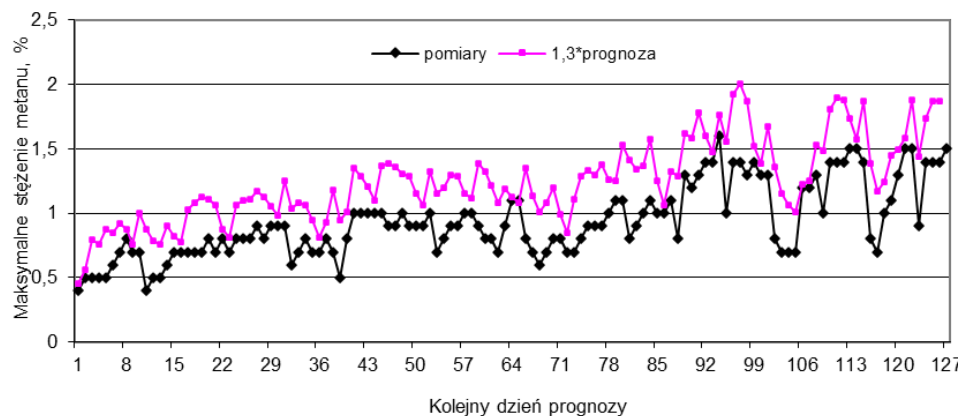
Z analizy wykresów przedstawionych na rysunku 49 wynika, że w kilku przypadkach maksymalne stężenie pomiarowe przybiera niespodziewanie wysokie wartości, aby w następnym dniu spaść do znacznie niższego poziomu.



**Rys. 49 Wykres maksymalnego stężenia pomiarowego i prognozowanego**

Źródło: opracowanie własne

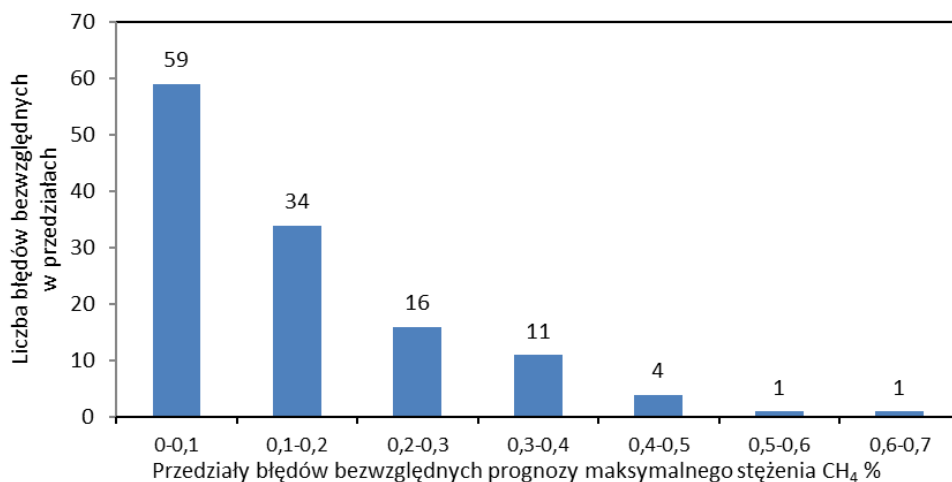
Rysunek 50 przedstawia wykresy maksymalnych stężeń metanu pomiarowych i górną granicę prognozy (1,3 razy prognoza). Obliczenia wykazały, że w 1 przypadku na 126 (około 0,8%) wartości stężenia pomiarowego przekraczają górną granicę prognozy.



**Rys. 50 Położenie maksymalnego stężenia pomiarowego względem górnej granicy prognozy (1,3 razy prognoza)**

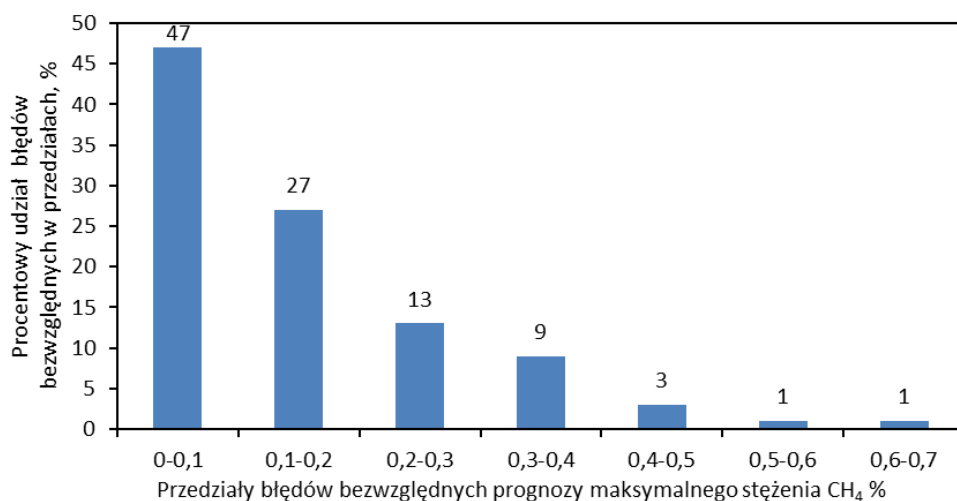
Źródło: opracowanie własne

Najwięcej błędów bezwzględnych prognozy maksymalnego stężenia metanu (59 co stanowi 47% wszystkich błędów bezwzględnych) znajduje się w przedziale od 0,0% CH<sub>4</sub> do 0,1% CH<sub>4</sub> (rys. 51 i 52). Liczba błędów bezwzględnych o wartościach od 0,1% CH<sub>4</sub> do 0,2% CH<sub>4</sub> wynosi 34 i stanowi 27% wszystkich błędów, a w przedziale od 0,2% CH<sub>4</sub> do 0,3% CH<sub>4</sub> zawiera się 16 błędów, czyli 13% całej liczby błędów bezwzględnych.



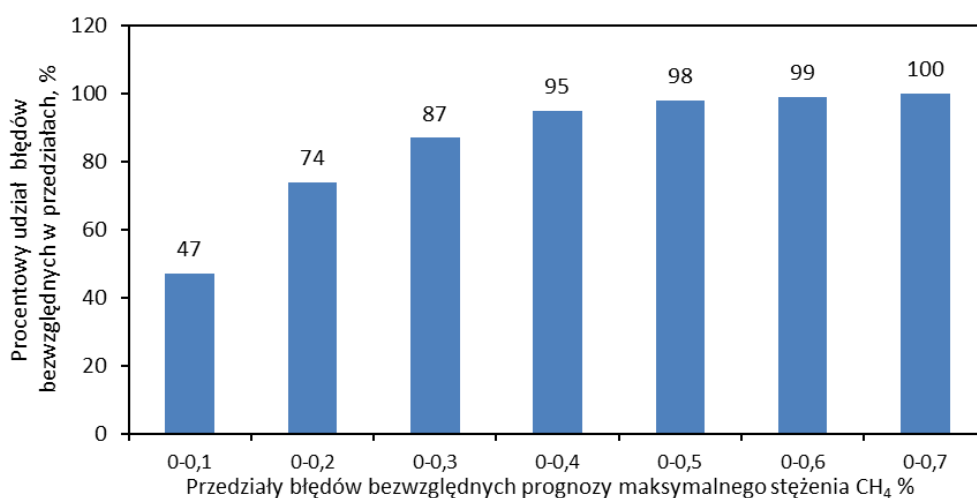
**Rys. 51 Liczba błędów bezwzględnych prognozy maksymalnego stężenia metanu**

Źródło: opracowanie własne



**Rys. 52 Procentowy udział błędów bezwzględnych maksymalnego stężenia metanu**

Źródło: opracowanie własne

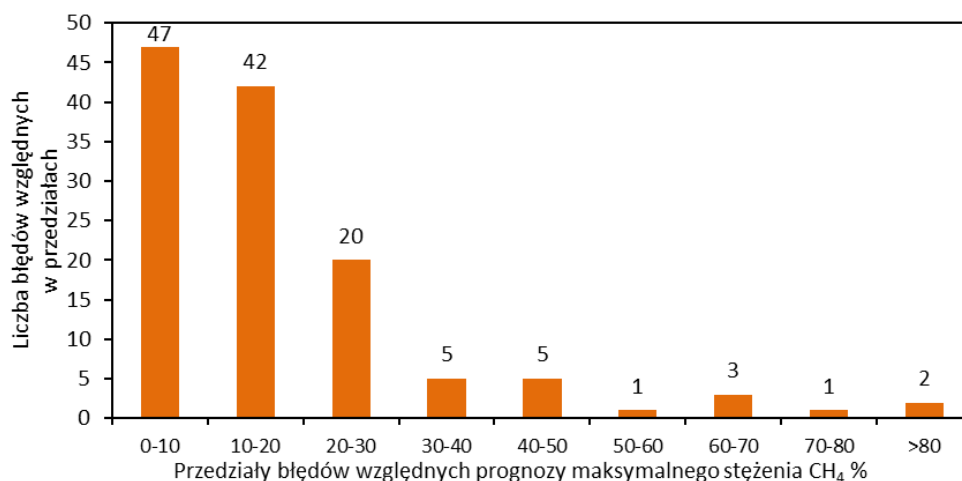


**Rys. 53 Procentowy udział błędów bezwzględnych w rosnących przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne

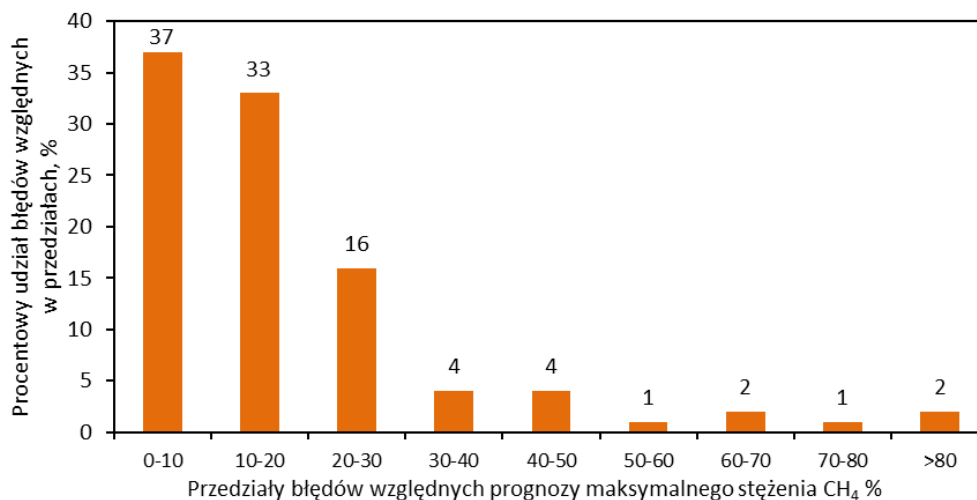
W przedziale od 0% CH<sub>4</sub> do 0,2% CH<sub>4</sub> znajduje się 74% błędów bezwzględnych prognozy, a w przedziale od 0% CH<sub>4</sub> do 0,3% CH<sub>4</sub> znajduje się 87% błędów bezwzględnych (rys. 53).

Najwięcej błędów względnych prognozy maksymalnego stężenia metanu (rys. 54 i 55), bo 47 (37% wszystkich błędów względnych), znajduje się w przedziale od 0% do 10%, w przedziale od 10% do 20% występują 42 błędy (33% wszystkich), a w przedziale od 20% do 30% – 20 błędów (16% całości).



**Rys. 54 Liczby błędów względnych prognozy maksymalnego stężenia metanu**

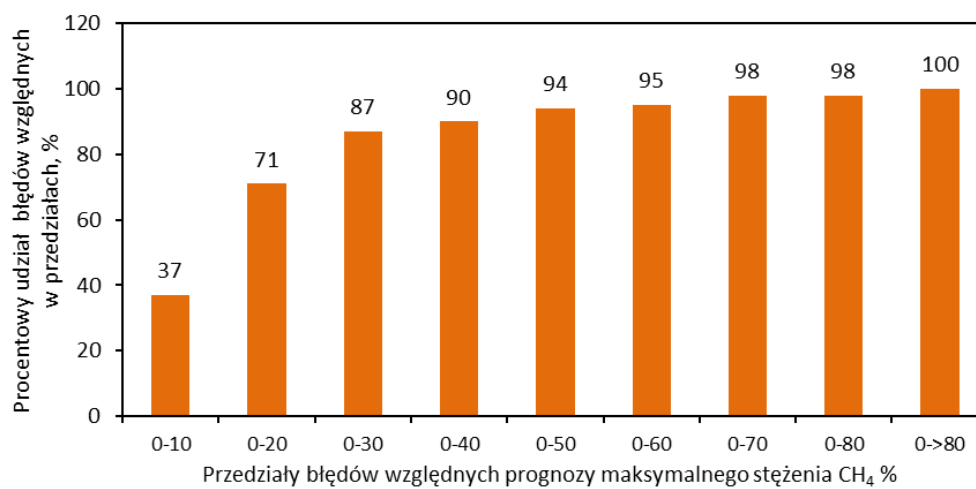
Źródło: opracowanie własne



**Rys. 55 Procentowy udział błędów względnych prognozy maksymalnego stężenia metanu w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne

Błędy względne od 0% do 20% stanowią 71% ich liczby, w przedziale od 0% do 30% występuje 87% wszystkich błędów względnych, a do przedziału od 0% do 40% należy 90% błędów względnych prognoz (rys. 56).



**Rys. 56 Procentowy udział błędów względnych prognozy maksymalnego stężenia metanu w rosnących przedziałach błędów**

*Źródło: opracowanie własne*

# Ściana G-6 w pokładzie 413/2

**Tabela 8**  
*Parametry statystyczne dotyczące maksymalnego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego*

| Parametr       | Stężenie pomiarowe<br>% CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd względny<br>% |
|----------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| średnia        | 0,5                                     | 0,6                                        | 0,1                                   | 20,7               |
| mediana        | 0,5                                     | 0,6                                        | 0,1                                   | 16,2               |
| percentyl 0,75 | 0,6                                     | 0,6                                        | 0,1                                   | 26,3               |
| percentyl 0,90 | 0,6                                     | 0,7                                        | 0,2                                   | 44,8               |
| max            | 1,6                                     | 0,8                                        | 1,2                                   | 136,6              |
| min            | 0,2                                     | 0,3                                        | 0,0                                   | 0,3                |
| zakres         | 1,4                                     | 0,5                                        | 1,2                                   | 136,3              |
| suma           | 118,5                                   | 130,0                                      | 22,6                                  | 4842,5             |

Dane pomiarowe dotyczą 235 dni, przy czym prognozę autoregresyjną sporządzono dla 234 dni (za wyjątkiem pierwszego dnia pomiarów). Współczynnik korelacji pomiędzy wartościami pomiarowymi i prognozowanymi maksymalnego stężenia metanu jest bardzo niski i wynosi  $r = 0,39$  a współczynnik determinacji  $R^2 = 0,15$  co oznacza że z prawdopodobieństwem 15% istnieje zależność liniowa między maksymalnym stężeniem pomiarowym i prognozowanym metanu. Zależność ta jest bardzo słaba. Jednak gdyby z danych usunąć pomiary dla dwóch dni (kolejnych), wtedy wartość współczynnika korelacji wynosiłaby  $r = 0,55$  a współczynnika determinacji  $R^2 = 0,30$ .

Średnia wartość maksymalnego stężenia pomiarowego wynosi 0,5% CH<sub>4</sub>, a prognozowanego 0,6% CH<sub>4</sub>. Mediany posiadają te same wartości.

Percentyl 0,75 stężenia pomiarowego wynosi 0,6% CH<sub>4</sub>. Taką samą wartość posiada percentyl 0,75 dla stężeń prognozowanych. Natomiast percentyl 0,9 maksymalnego stężenia pomiarowego wynosi 0,6% CH<sub>4</sub>, i jest o 0,1% CH<sub>4</sub> niższy od wartości tego wskaźnika dla stężenia prognozowanego.

Stężenie pomiarowe maksymalnego stężenia metanu mieści się w granicach od 0,2% CH<sub>4</sub> do 1,6% CH<sub>4</sub>, czyli jego zakres wynosi 1,4% CH<sub>4</sub>. Jednak gdyby usunąć skrajny pomiar (1,6%) i zakres zmian stężenia byłby w granicach od 0,2% CH<sub>4</sub> do 0,7% CH<sub>4</sub>, czyli wynosiłby nie 1,4% CH<sub>4</sub> lecz 0,5% CH<sub>4</sub>.

Prognozowane wartości maksymalnego stężenia metanu oscylują w przedziale od 0,3% CH<sub>4</sub> do 0,8% CH<sub>4</sub>, a zatem ich zakres wynosi 0,5% CH<sub>4</sub>.

Sumy stężeń maksymalnych pomiarowych i prognozowanych wynoszą odpowiednio 118,5% CH<sub>4</sub> i 130,0% CH<sub>4</sub>.

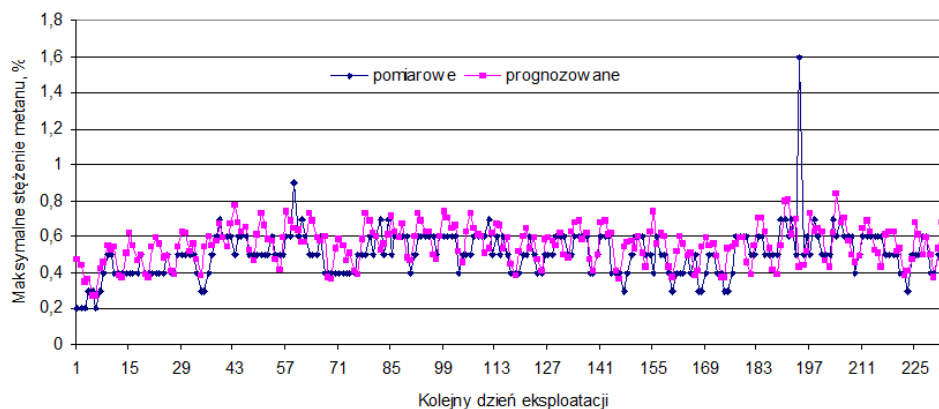
Średni błąd bezwzględny prognozy wynosi 0,1% CH<sub>4</sub>, a średni błąd względny wynosi 20,7%.

Mediana błędów bezwzględnych wynosi 0,1% CH<sub>4</sub>, natomiast błędów względnych 16,2%.

Percentyl 0,75 błędów bezwzględnych wynosi 0,1% CH<sub>4</sub>, a błędów względnych wynosi 26,3%. Natomiast percentyl 0,90 błędów bezwzględnych wynosi 0,2% CH<sub>4</sub>, a błędów względnych 44,8%.

Maksymalna wartość błędów bezwzględnych wynosi 1,2% CH<sub>4</sub>, a ich zakres jest także równy tej wartości. Maksymalna wartość błędów względnych wynosi 136,6%, natomiast ich zakres jest mniejszy o 0,3% (wynosi 136,3%).

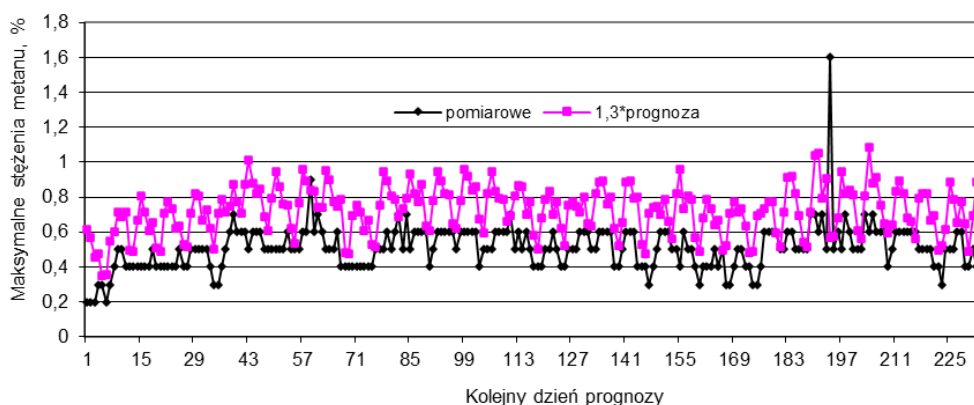
Z wykresów przedstawionych na rysunku 57 wynika, że w jednym przypadku stężenie pomiarowe przybiera niespodziewanie wysokie wartości.



**Rys. 57 Wykres maksymalnego stężenia pomiarowego i prognozowanego**

Źródło: opracowanie własne

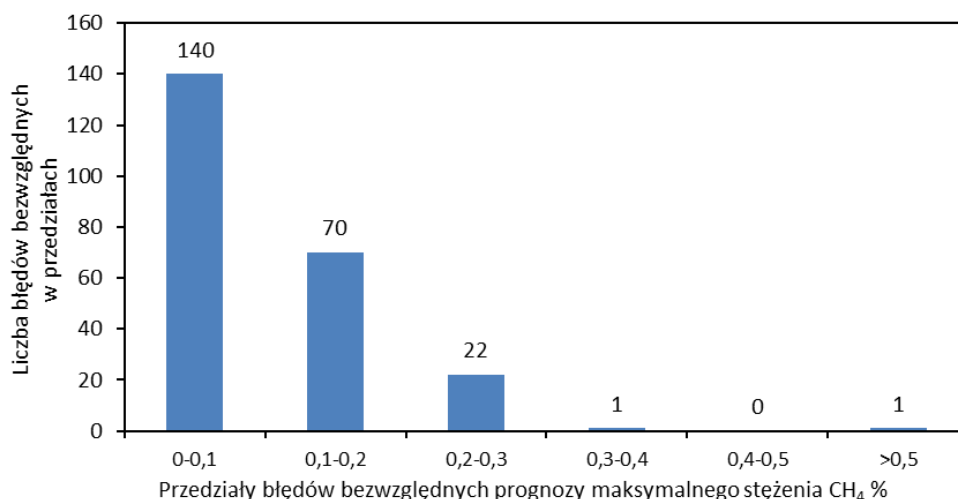
Rysunek 58 przedstawia wykresy maksymalnych stężeń metanu pomiarowych i górną granicę prognozy (1,3 razy prognoza). Obliczenia wykazały, że w 1 przypadku na 234 (około 0,8% wszystkich), wartość stężenia pomiarowego przekracza górną granicę prognozy.



**Rys. 58 Położenie maksymalnego stężenia pomiarowego względem górnej granicy prognozy (1,3 razy prognoza)**

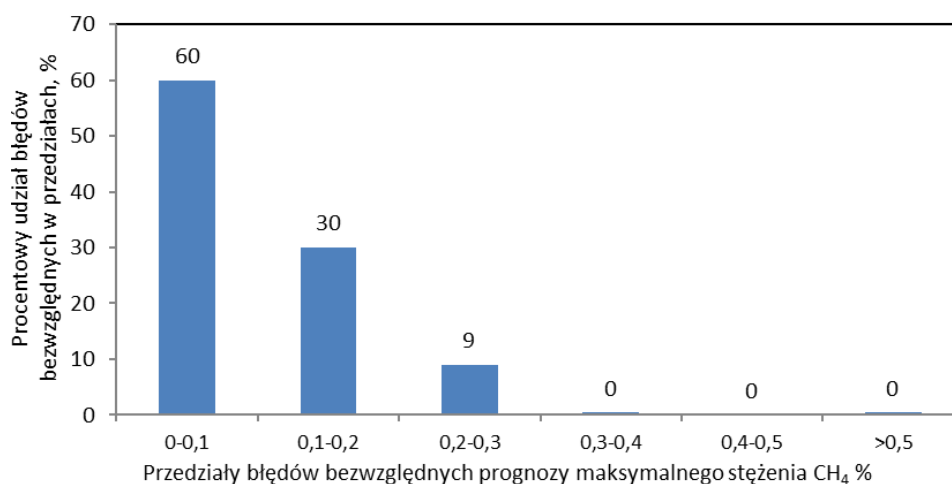
Źródło: opracowanie własne

Najwięcej błędów bezwzględnych prognozy maksymalnego stężenia metanu, 140 (60% wszystkich błędów bezwzględnych) znajduje się w przedziale od 0,0% CH<sub>4</sub> do 0,1% CH<sub>4</sub> (rys. 59 i 60). Liczba błędów bezwzględnych o wartościach od 0,1% CH<sub>4</sub> do 0,2% CH<sub>4</sub> wynosi 70 i stanowi 30% wszystkich błędów.



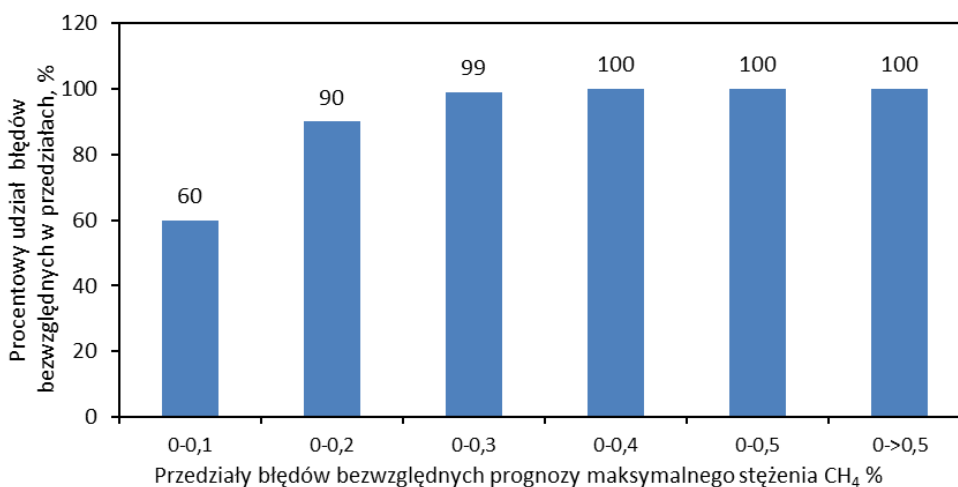
**Rys. 59 Liczba błędów bezwzględnych prognozy maksymalnego stężenia metanu**

Źródło: opracowanie własne



**Rys. 60 Procentowy udział błędów bezwzględnych maksymalnego stężenia metanu w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne

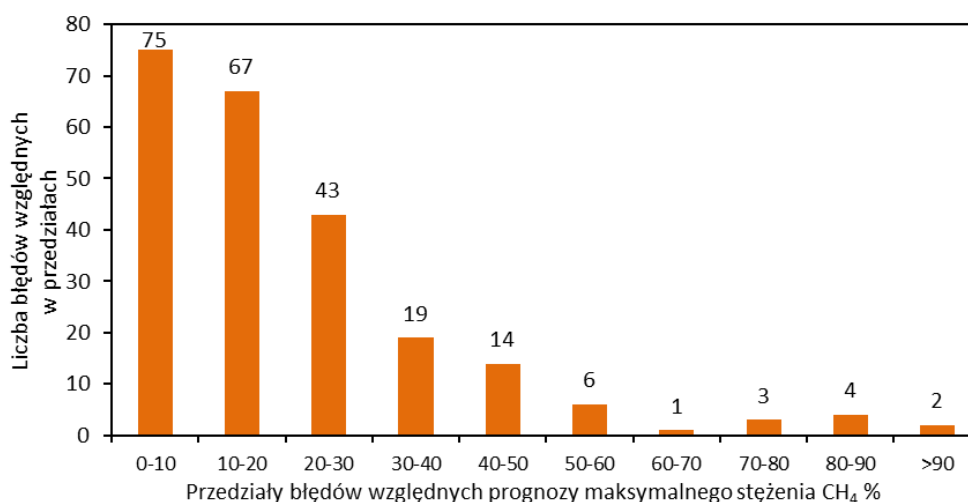


**Rys. 61 Procentowy udział błędów bezwzględnych w rosnących przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne

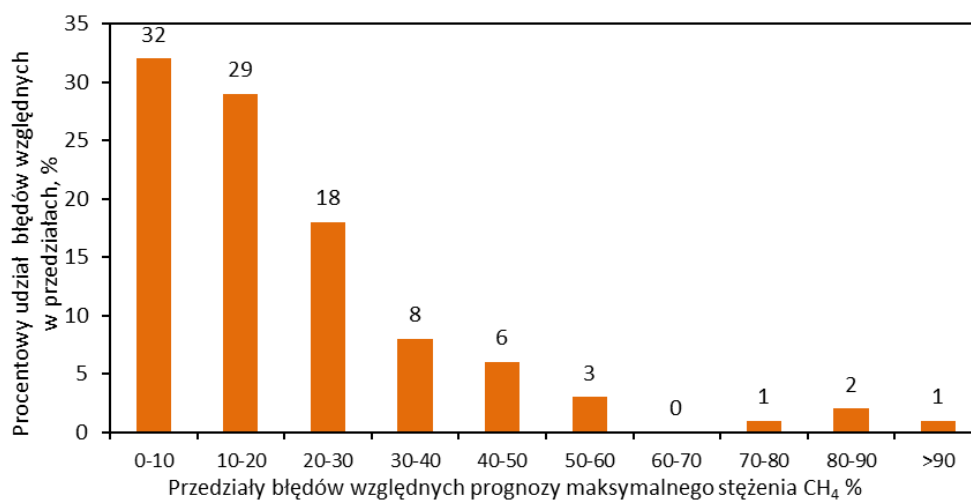
W przedziale od 0% do 0,2% znajduje się 90% błędów bezwzględnych prognozy, a w przedziale od 0%CH<sub>4</sub> do 0,3% CH<sub>4</sub> znajduje się 99% błędów bezwzględnych (rys. 61).

Najwięcej błędów względnych prognozy maksymalnego stężenia metanu, bo 75 (32% wszystkich błędów względnych), znajduje się w przedziale od 0% do 10% (rys. 62 i 63), w przedziale od 10% do 20% występuje 67 błędów względnych (29% wszystkich), a w przedziale od 20% do 30% – 43 błędy względne (18% wszystkich).



**Rys. 62 Liczby błędów względnych prognozy maksymalnego stężenia metanu w przedziałach błędów**

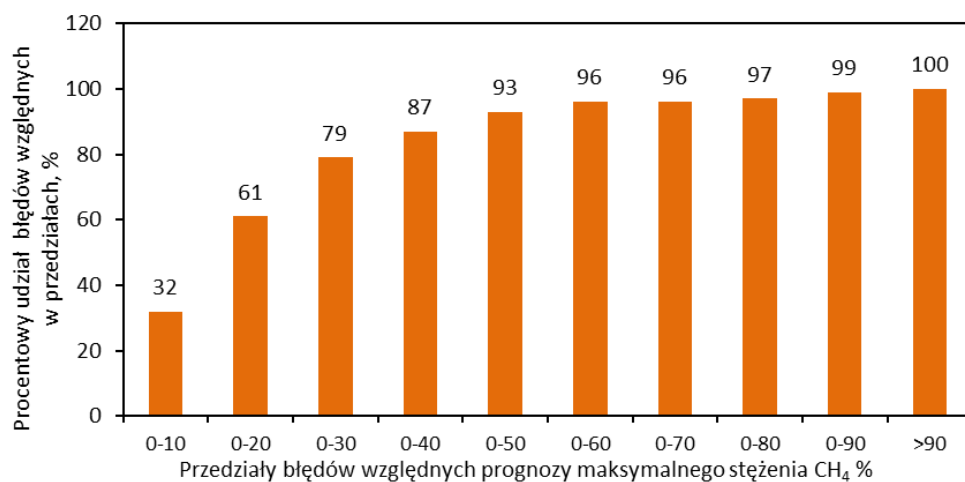
Źródło: opracowanie własne



**Rys. 63 Procentowy udział błędów względnych prognozy maksymalnego stężenia metanu w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne

Błędy względne do 20% stanowią 61%, a do 30% – 79% wszystkich błędów względnych. 87% wszystkich błędów względnych jest nie większa niż 40% (rys. 64).



**Rys. 64 Procentowy udział błędów względných prognozy maksymalnego stężenia metanu w rosnących przedziałach błędów**

*Źródło: opracowanie własne*

# Ściana W-5 w pokładzie 361

**Tabela 9**  
*Parametry statystyczne dotyczące maksymalnego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego*

| Parametr     | Stężenie pomiarowe<br>% CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd względny<br>% |
|--------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| średnia      | 0,9                                     | 1,0                                        | 0,1                                   | 14,5               |
| mediana      | 0,9                                     | 1,0                                        | 0,1                                   | 10,0               |
| percentyl 75 | 1,1                                     | 1,2                                        | 0,2                                   | 19,6               |
| percentyl 90 | 1,3                                     | 1,3                                        | 0,2                                   | 35,7               |
| max          | 1,8                                     | 1,7                                        | 0,6                                   | 85,3               |
| min          | 0,4                                     | 0,5                                        | 0,0                                   | 0,0                |
| zakres       | 1,4                                     | 1,2                                        | 0,6                                   | 85,3               |
| suma         | 314,2                                   | 340,5                                      | 39,8                                  | 4842,4             |

Dane pomiarowe dotyczą 337 dni, przy czym prognozę autoregresyjną sporządzono dla 336 dni (za wyjątkiem pierwszego dnia pomiarów). Współczynnik korelacji pomiędzy wartościami pomiarowymi i prognozowanymi maksymalnego stężenia metanu wynosi  $r = 0,87$  a współczynnik determinacji  $R^2 = 0,76$  co oznacza że z prawdopodobieństwem 76% istnieje zależność liniowa między maksymalnym stężeniem pomiarowym i prognozowanym metanu.

Średnia wartość maksymalnego stężenia pomiarowego wynosi 0,9% CH<sub>4</sub>, a prognozowanego 1,0% CH<sub>4</sub> (tabela 9). Mediany posiadają te same wartości.

Percentyl 0,75 stężenia pomiarowego wynosi 1,1% CH<sub>4</sub>, a 1,2% CH<sub>4</sub> stężenia prognozowanego. Natomiast percentyl 0,9 maksymalnego stężenia pomiarowego i maksymalnego stężenia prognozowanego wynosi 1,3% CH<sub>4</sub>.

Stężenie pomiarowe maksymalnego stężenia metanu mieści się w granicach od 0,4% CH<sub>4</sub> do 1,8% CH<sub>4</sub>, czyli jego zakres wynosi 1,4% CH<sub>4</sub>. Prognozowane wartości maksymalnego stężenia metanu oscylują w przedziale od 0,5% CH<sub>4</sub> do 1,7% CH<sub>4</sub>, a zatem ich zakres wynosi 1,2% CH<sub>4</sub>.

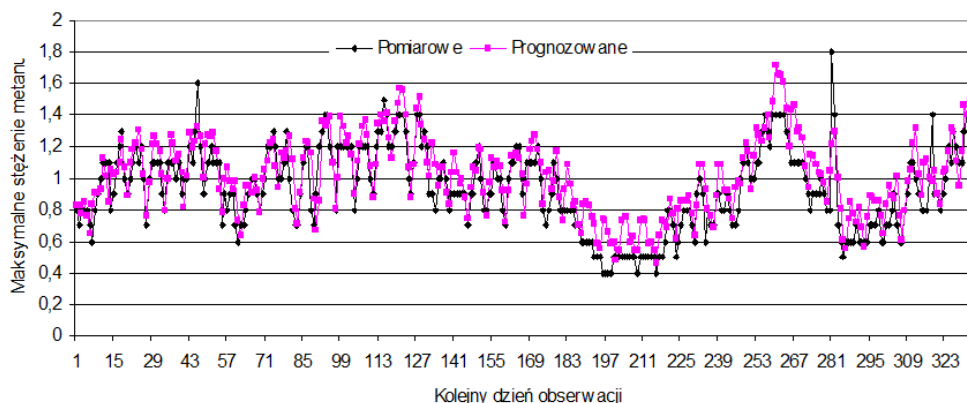
Sumy stężeń maksymalnych pomiarowych i prognozowanych wynoszą odpowiednio 314,2% CH<sub>4</sub> i 340,5% CH<sub>4</sub>. Z powyższego wynika, że biorąc pod uwagę wszystkie prognozy jednodniowe, suma prognoz w całym okresie jest nadmiarowa.

Średni błąd bezwzględny prognozy wynosi 0,1% CH<sub>4</sub>, a średni błąd względny wynosi 14,5%.

Mediana błędów bezwzględnych wynosi 0,1% CH<sub>4</sub>, natomiast błędów względnych 10,0%.

Percentyl 0,75 błędów bezwzględnych wynosi 0,2%CH<sub>4</sub>, a błędów względnych 19,6%. Natomiast percentyl 0,90 błędów bezwzględnych wynosi 0,2%CH<sub>4</sub>, a błędów względnych 35,7%. Maksymalna wartość błędów bezwzględnych wynosi 0,6% CH<sub>4</sub>, a ich zakres jest także równy tej wartości. Maksymalna wartość błędów względnych wynosi 85,3%. Zakres błędów względnych jest równy ich wartości maksymalnej.

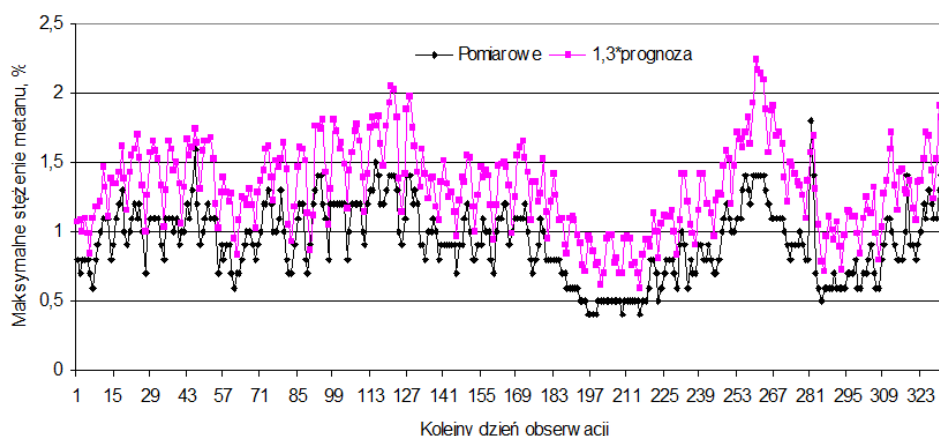
Z wykresów przedstawionych na rysunku 65 wynika, że zdarzały się przypadki nagłego silnego wzrostu maksymalnego stężenia metanu.



**Rys. 65 Wykres maksymalnego stężenia pomiarowego i prognozowanego**

Źródło: opracowanie własne

Rysunek 66 przedstawia wykresy maksymalnych stężeń metanu pomiarowych i górną granicę prognozy (1,3 razy prognoza). Obliczenia wykazały, że w 3 przypadkach na 336 (co stanowi około 0,9%) wartości stężenia pomiarowego przekroczyły górną granicę prognozy.

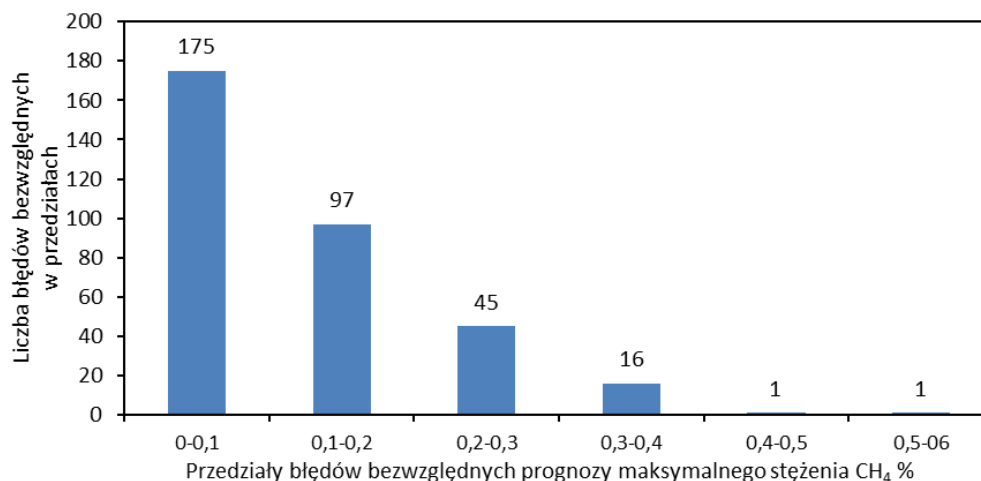


**Rys. 66 Położenie maksymalnego stężenia pomiarowego względem górnej granicy prognozy (1,3 razy prognoza)**

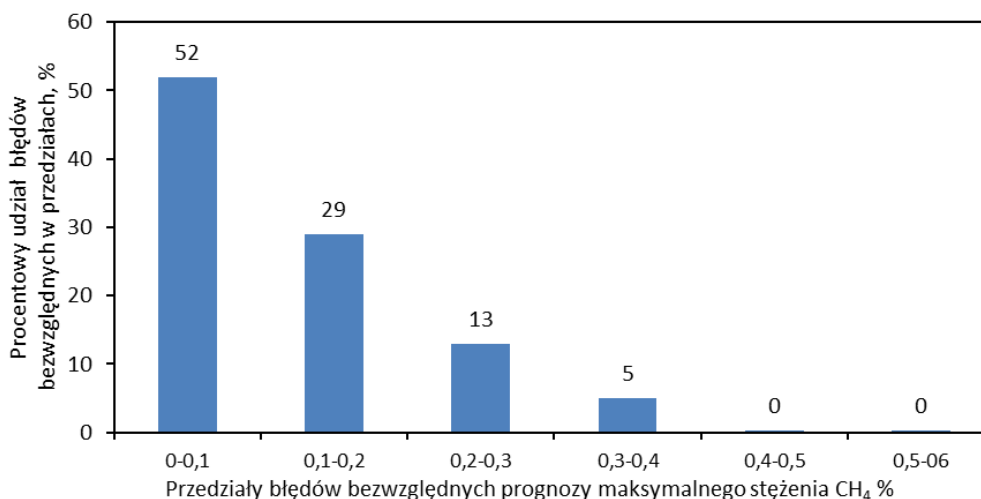
Źródło: opracowanie własne

Najwięcej błędów bezwzględnych prognozy maksymalnego stężenia metanu, 175 (52% wszystkich błędów bezwzględnych) znajduje się w przedziale od 0,0% CH<sub>4</sub> do 0,1% CH<sub>4</sub> (rys. 67 i 68). Liczba błędów bezwzględnych o wartościach od 0,1% CH<sub>4</sub> do 0,2% CH<sub>4</sub> wynosi 97 i stanowi 29% wszystkich błędów, a błędy bezwzględne z przedziału od 0,2% CH<sub>4</sub> do 0,3% CH<sub>4</sub> stanowią 45 przypadki, co stanowi 13% wszystkich błędów bezwzględnych.

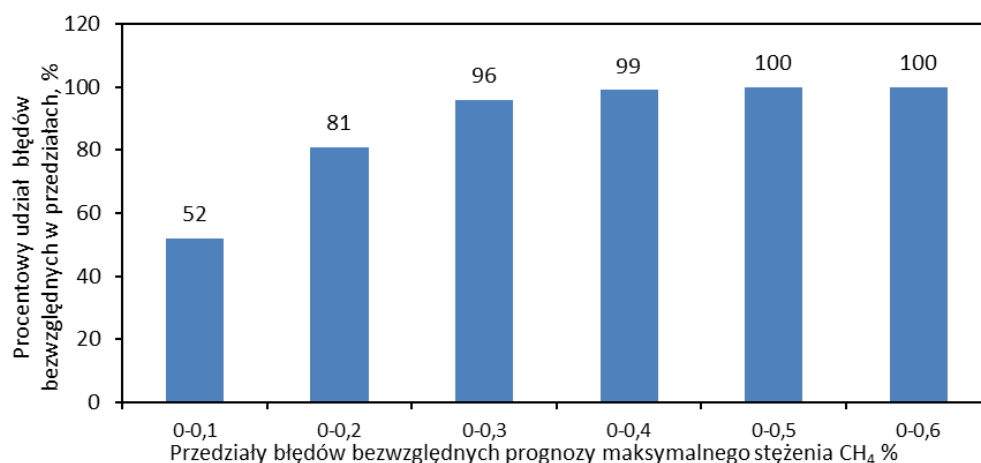
W przedziale od 0% do 0,2% znajduje się 81% błędów bezwzględnych prognozy, a w przedziale od 0% CH<sub>4</sub> do 0,3% CH<sub>4</sub> znajduje się 96% błędów bezwzględnych (rys. 69).



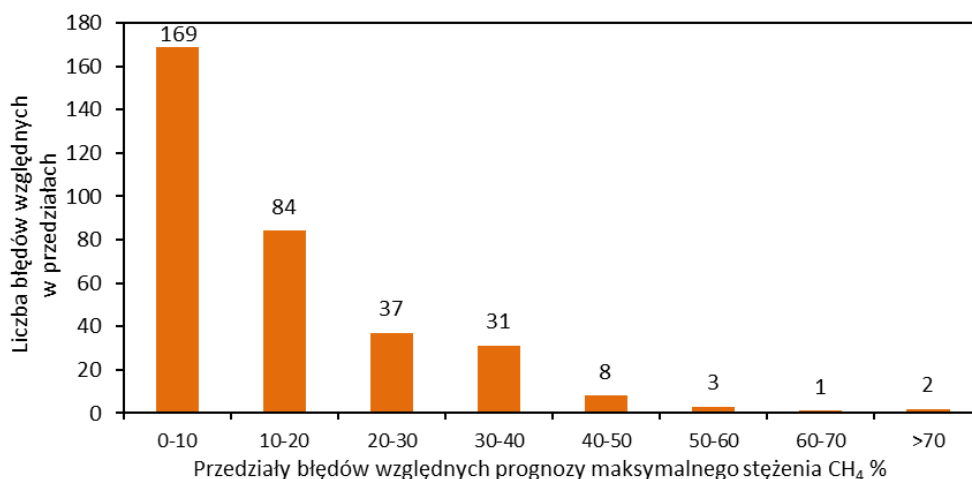
**Rys. 67 Liczba błędów bezwzględnych prognozy maksymalnego stężenia metanu**  
*Źródło: opracowanie własne*



**Rys. 68 Procentowy udział błędów bezwzględnych maksymalnego stężenia metanu w przedziałach błędów**  
*Źródło: opracowanie własne*

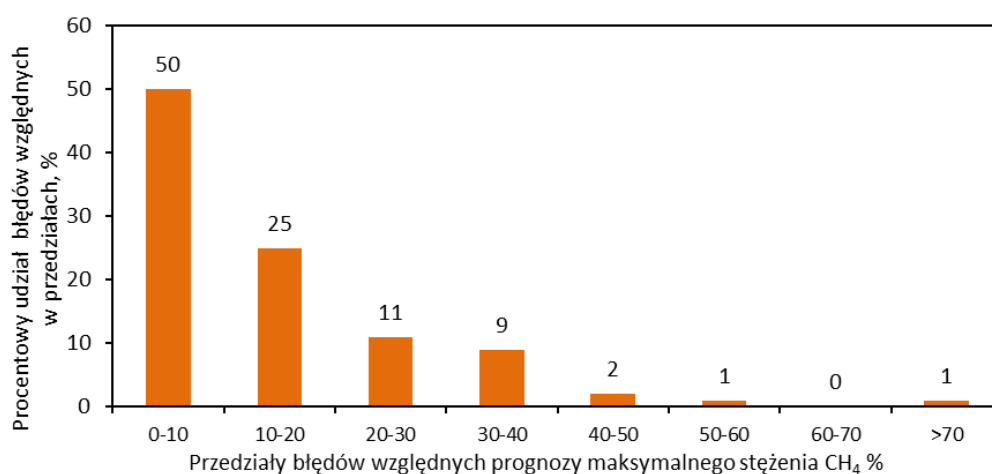


**Rys. 69 Procentowy udział błędów bezwzględnych w rosnących przedziałach błędów**  
*Źródło: opracowanie własne*



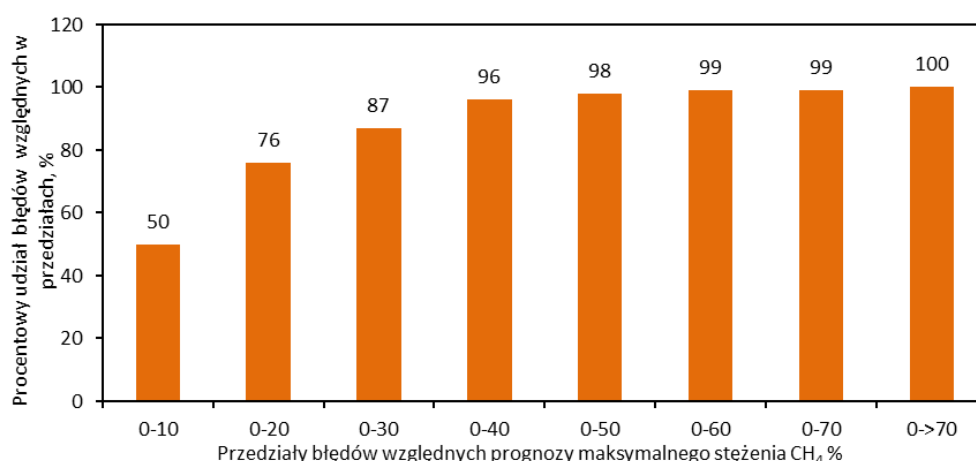
**Rys. 70 Liczby błędów względnych prognozy maksymalnego stężenia metanu w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne



**Rys. 71 Procentowy udział błędów względnych prognozy maksymalnego stężenia metanu w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne



**Rys. 72 Procentowy udział błędów względnych prognozy maksymalnego stężenia metanu w rosnących przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne

Najwięcej błędów względnych prognozy maksymalnego stężenia metanu (rys. 70 i 71), bo 169 (50,3% wszystkich błędów względnych) znajduje się w przedziale od 0% do 10%. W przedziale błędów względnych 10%-20% wystąpiły 84 błędy względne (25% całości błędów), a w przedziale 20%-30% – 37 błędów (11% wszystkich błędów).

Błędy względne do 20% stanowią 76%, a do 30% stanowią 87% wszystkich błędów względnych (rys. 72).

## Ściana N-4 w pokładzie 404/2

**Tabela 10**  
*Parametry statystyczne dotyczące maksymalnego stężenia metanu na wylocie z chodnika wentylacyjnego*

| Parametr       | Stężenie pomiarowe<br>% CH <sub>4</sub> | Stężenie prognozowane<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd bezwzględny<br>% CH <sub>4</sub> | Błąd względny<br>% |
|----------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| średnia        | 1,17                                    | 1,14                                       | 0,1                                   | 11,6               |
| mediana        | 1,2                                     | 1,1                                        | 0,1                                   | 8,8                |
| percentyl 0,75 | 1,3                                     | 1,3                                        | 0,2                                   | 16,4               |
| percentyl 0,90 | 1,5                                     | 1,4                                        | 0,3                                   | 25,1               |
| max            | 1,7                                     | 1,7                                        | 0,7                                   | 50,4               |
| min            | 0,6                                     | 0,7                                        | 0,0                                   | 0,0                |
| zakres         | 1,1                                     | 1,0                                        | 0,7                                   | 50,4               |
| suma           | 214,8                                   | 207,2                                      | 24,6                                  | 2116,8             |

Dane pomiarowe dotyczą 183 dni, przy czym prognozę autoregresyjną sporządzono dla 182 dni (za wyjątkiem pierwszego dnia pomiarów). Współczynnik korelacji pomiędzy wartościami pomiarowymi i prognozowanymi maksymalnego stężenia metanu wynosi  $r = 0,79$  a współczynnik determinacji  $R^2 = 0,63$  co oznacza że z prawdopodobieństwem 76% istnieje zależność liniowa między maksymalnym stężeniem pomiarowym i prognozowanym metanu.

Średnia wartość maksymalnego stężenia pomiarowego wynosi 1,17% CH<sub>4</sub>, a prognozowanego 1,14% CH<sub>4</sub>. Mediana wartości pomiarowych maksymalnego stężenia metanu wynosi 1,2% CH<sub>4</sub>, natomiast prognozowanych – 1,1% CH<sub>4</sub>.

Percentyle 0,75 stężenia pomiarowego i prognozowanego wynoszą 1,3% CH<sub>4</sub>. Natomiast percentyl 0,9 wartości pomiarowych wynosi 1,5% CH<sub>4</sub>, zaś wartości prognozowanych – 1,4% CH<sub>4</sub>.

Stężenie pomiarowe maksymalnego stężenia metanu mieści się w granicach od 0,6% CH<sub>4</sub> do 1,7% CH<sub>4</sub>, czyli jego zakres wynosi 1,1% CH<sub>4</sub>. Prognozowane wartości maksymalnego stężenia metanu oscylują w przedziale od 0,7% CH<sub>4</sub> do 1,7% CH<sub>4</sub>, a zatem ich zakres jest o 0,1% CH<sub>4</sub> mniejszy i wynosi 1,0% CH<sub>4</sub>.

Suma stężeń pomiarowych (214,8% CH<sub>4</sub>) jest o 7,6% CH<sub>4</sub> wyższa od wartości tego parametru dla stężenia prognozowanego (207,2% CH<sub>4</sub>), czyli prognoza jest wykonana z niewielkim niedomiarem.

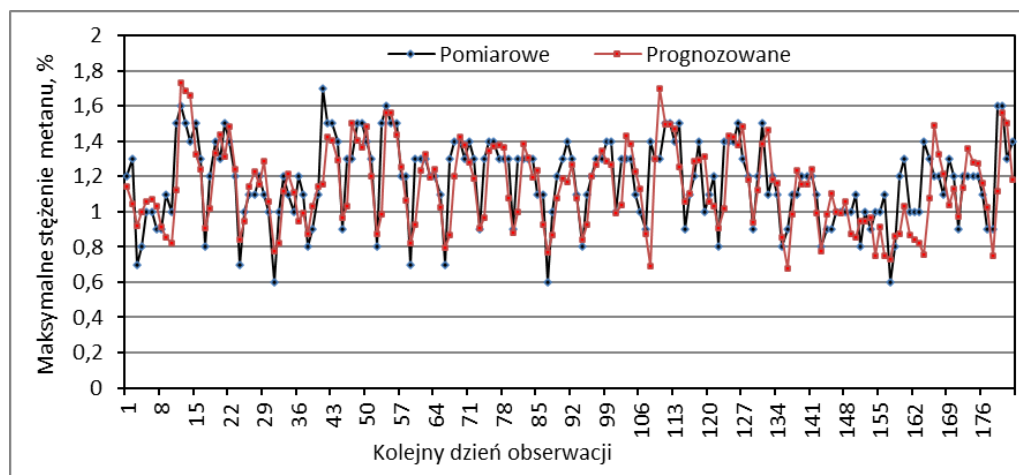
Średni błąd bezwzględny prognozy wynosi 0,1% CH<sub>4</sub>, a średni błąd względny wynosi 11,6%.

Mediana błędów bezwzględnych wynosi 0,1% CH<sub>4</sub>, natomiast błędów względnych 8,8%.

Percentyl 0,75 błędów bezwzględnych wynosi 0,2% CH<sub>4</sub>, a błędów względnych wynosi 16,4%. Percentyl 0,90 błędów bezwzględnych wynosi 0,3% CH<sub>4</sub>, a błędów względnych 25,1%.

Maksymalna wartość błędów bezwzględnych wynosi 0,7% CH<sub>4</sub>, a ich zakres jest także równy tej wartości. Maksymalna wartość błędów względnych wynosi 50,4%. Zakres błędów względnych jest równy ich wartości maksymalnej.

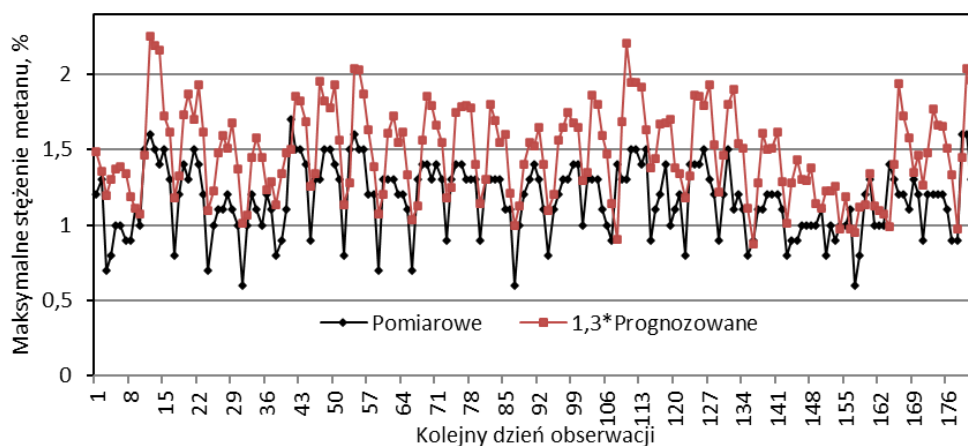
Z wykresów przedstawionych na rysunku 73 wynika, że w większości dni stężenie prognozowane jest bliskie stężeniu pomiarowemu. Istnieją jednak przypadki nagłych wzrostów stężenia, co może prowadzić do przekroczenia dopuszczalnych stężeń metanu.



**Rys. 73 Wykres maksymalnego stężenia pomiarowego i prognozowanego**

Źródło: opracowanie własne

Rysunek 74 przedstawia wykresy pomiarowych maksymalnych stężeń metanu i górną granicę prognozy (1,3 razy prognoza). Obliczenia wykazały, że w 10 dniach na 182 (około 5,5%) wartości stężenia pomiarowego przekraczają górną granicę prognozy.



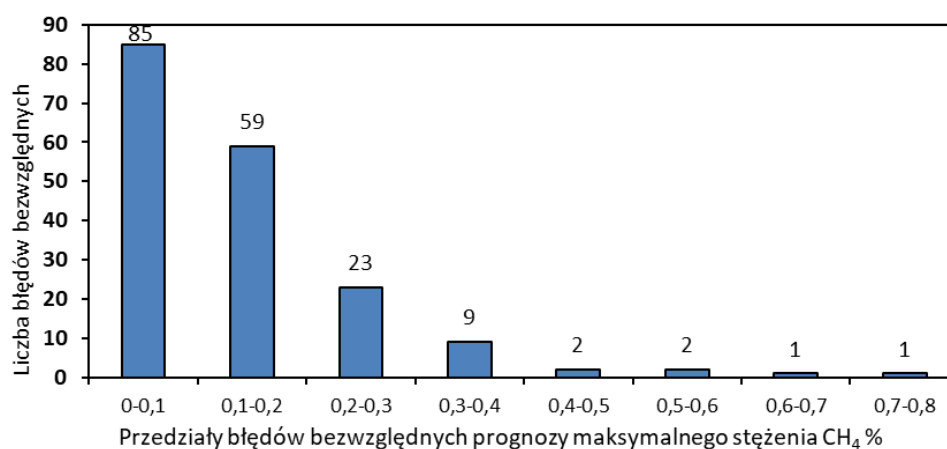
**Rys. 74 Położenie maksymalnego stężenia pomiarowego względem górnej granicy prognozy (1,3 razy prognoza)**

Źródło: opracowanie własne

Najwięcej błędów bezwzględnych prognozy maksymalnego stężenia metanu (85 przypadków – 47% wszystkich błędów bezwzględnych) znajduje się w przedziale od 0,0% CH<sub>4</sub> do 0,1% CH<sub>4</sub> (rys. 75 i 76).

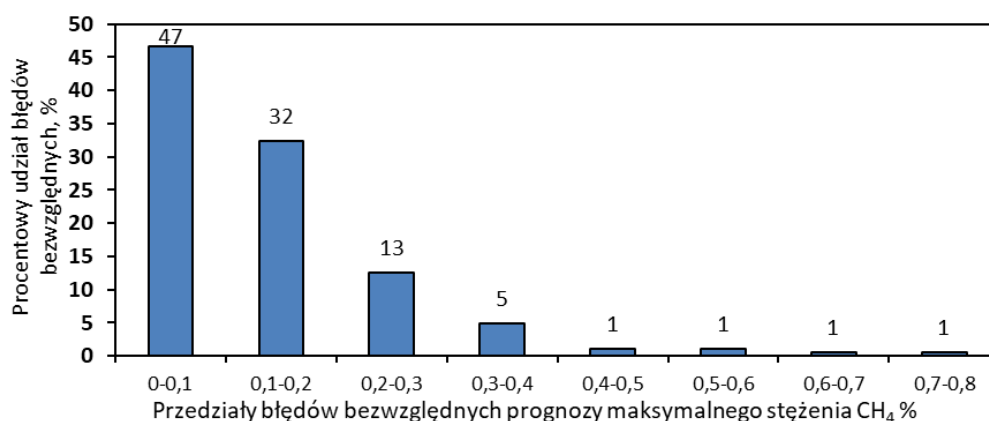
## ZAŁĄCZNIK 2

Liczba błędów bezwzględnych o wartościach od 0,1% CH<sub>4</sub> do 0,2% CH<sub>4</sub> wynosi 59 i stanowi 32% wszystkich błędów, a błędy z przedziału od 0,2% CH<sub>4</sub> do 0,3% CH<sub>4</sub> stanowią 23 przypadki, co stanowi 13% wszystkich błędów bezwzględnych.



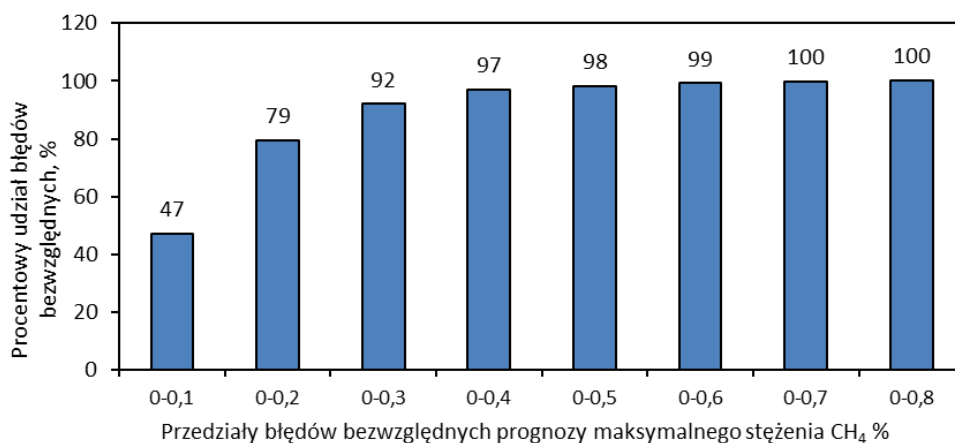
**Rys. 75 Liczba błędów bezwzględnych prognozy maksymalnego stężenia metanu**

Źródło: opracowanie własne



**Rys. 76 Procentowy udział błędów bezwzględnych maksymalnego stężenia metanu w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne

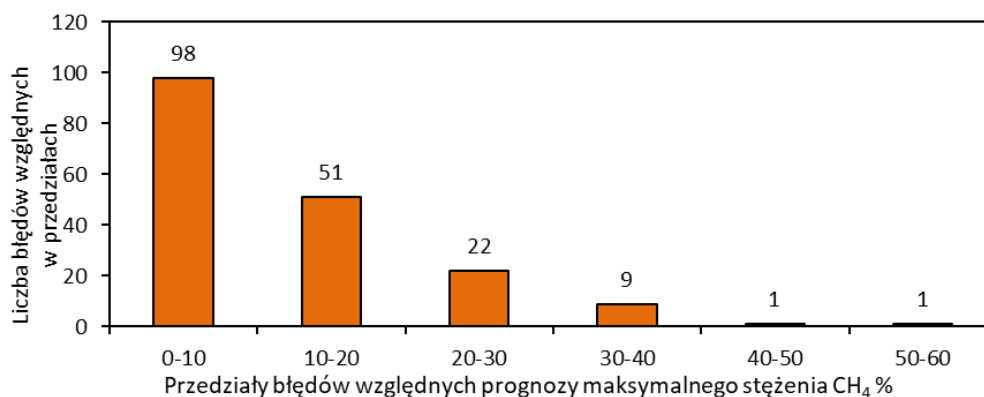


**Rys. 77 Procentowy udział błędów bezwzględnych maksymalnego stężenia metanu w rosnących przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne

W przedziale wartości błędów bezwzględnych od 0% do 0,2% znajduje się 79% błędów bezwzględnych prognozy, a w przedziale od 0% CH<sub>4</sub> do 0,3% CH<sub>4</sub> znajduje się 92% błędów bezwzględnych (rys. 77).

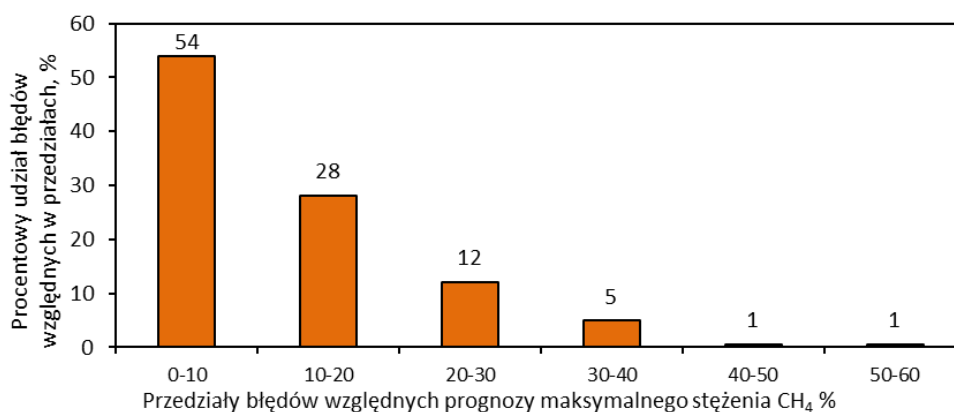
Najwięcej błędów względnych prognozy maksymalnego stężenia metanu, bo 98 (54% wszystkich błędów względnych), znajduje się w przedziale od 0% do 10% (rys. 78 i 79).



**Rys. 78 Liczby błędów względnych prognozy maksymalnego stężenia metanu w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne

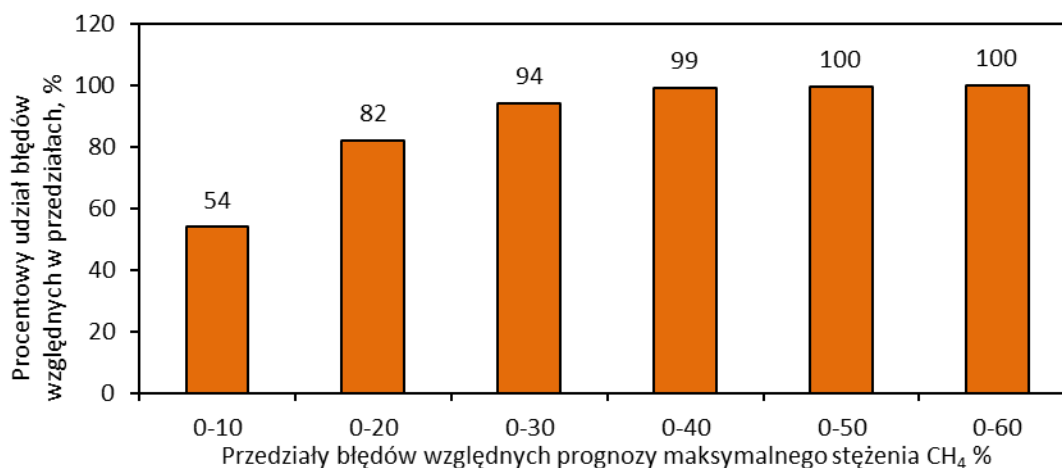
W przedziale błędów względnych 10%-20% wystąpiło 51 błędów względnych (28% całości błędów względnych), a w przedziale 20%-30% – 22 błędów (12% wszystkich błędów względnych).



**Rys. 79 Procentowy udział błędów względnych prognozy maksymalnego stężenia metanu w przedziałach błędów**

Źródło: opracowanie własne

Błędy względne o wartościach od 0% do 10% stanowią 54% wszystkich błędów względnych (rys. 80), w przedziale od 0% do 20% stanowią 82%, a od 0% do 30% stanowią 94% wszystkich błędów względnych.



**Rys. 80 Procentowy udział błędów względnych prognozy maksymalnego stężenia metanu w rosnących przedziałach błędów**

*Źródło: opracowanie własne*

# SPIS LITERATURY

- [1] Badura H., Kołodziejczyk P.: Zastępcze układy przewietrzania w pokładach tąpących 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 H.: Propozycja nowych miar wielkości zagrożenia metanowego. *Materiały konferencyjne XXXII Dni Techniki ROP'2006, XXIII seminarium na temat: „Zwalczanie zagrożenia metanowego oraz wyrzutami gazów i skał – teoria i praktyka”*, Rybnik 26.10 2006
- [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 Minimg. 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. Technická Diagnostika*, z1, rocznik XX, 2011.
- [14] Badura H., Zawadzki J., Fabiańczyk P.: Kriging blokowy oraz metody GIS w geostatystycznym oszacowaniu metanowości 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 wspomagania 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] Bojko B.: Analiza rejestracji stężeń metanu w wyrobiskach górniczych – wybrane przykłady. Materiały 3 Szkoły Aerologii Górniczej, Zakopane, 12-15 października 2004.
- [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 6<sup>th</sup> US Mine Ventilation Symposium. 1993.
- [28] Dubiński J. i inni: Koncentracja wydobywania a zagrożenia górnicze. Katowice, 1999.
- [29] Dziurzyński W., Pałka T., Tracz J., Trutwin W.: Zastosowanie programów komputerowych do analizy stanu kopalnianej sieci wentylacyjnej. Górotwór jako ośrodek wielofazowy, t. 3, Kraków, AGH, 1991.
- [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., Niezgoda F.: Badania eksperymentalne rozkładu stężenia metanu w rejonach eksploatacji w czasie okresowego zatrzymania wentylatora głównego przewietrzania. Materiały 3 Szkoły Aerologii Górniczej, Zakopane, 12-15 października 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 ściany. *Przegl. Gór.*, nr 2, 1977.
- [37] Frycz A., Szlązak J.: Wentylacyjne sposoby zwalczania zagrożenia metanowego. *Bezpieczeństwo i Higiena Pracy* nr 1, 1978.
- [38] Gajda J.B.: Prognozowanie i symulacja a decyzje gospodarcze. Wydawnictwo C. H. Beck, Warszawa, 2001.
- [39] Grubengasbekaempfung im Hohlleistungstreb. Praca zbiorowa pod redakcją K. Noacka. Steinkohlenbergbauverein, Essen 1977.
- [40] Gumuła S., Trutwin W.: Zmiany koncentracji metanu w wyrobiskach kopalnianych zawierających źródła metanu w świetle badań laboratoryjnych. *Archiwum Górnictwa* t. XXII, z 1, 1977.
- [41] Kalisz J., Kozłowski B., Niesobski W.: Maksymalne wydzielanie się metanu w chodnikach i ścianach oraz metody jego prognozowania. *Komunikat GIG* nr. 515. Katowice, 1971.
- [42] Kataro Ohega, Sohei Shimada: Gas emission prediction and control in deep coal mines. *Mineral Resources Engineering*. Vol. 9 No. 2, 2000.
- [43] Konopko W., Kabiesz J., Cygankiewicz J.: Wstrząsy i tąpnięcia jako inicjatory zagrożenia metanowego. *Przegląd Górniczy* nr 3, 1992.
- [44] Kozłowski B.: Nowa metoda prognozowania zagrożenia metanowego. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej*, Gliwice, 1969.
- [45] Kozłowski B., Grębski Z.: Odmetanowanie górotworu w kopalniach. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice, 1982.
- [46] Kozłowski B.: Prognozowanie zagrożeń metanowych w kopalniach głębinowych. *Politechnika Śląska*. Skrypt, Gliwice, 1986.
- [47] 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.
- [48] Krach A., Trutwin W.: Układ automatycznej regulacji stężenia metanu w bocznicy wentylacyjnej. *Zeszyty Probl. Gór.* t. 11, z. 2, 1973.
- [49] 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.
- [50] 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.
- [51] Krause E., Łukowicz K.: Dynamiczna prognoza metanowości bezwzględnej ścian (poradnik techniczny). GIG, KD "Barbara", Katowice – Mikołów, 2000.
- [52] 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.
- [53] Kubaczka Cz.: Wpływ wielkości wydobywania na stan zagrożenia metanowego w rejonie ściany eksploatacyjnej. Praca doktorska, AGH, Kraków, 2009.
- [54] Kubaczka Cz., Szlązak N.: Zmiany wydzielania metanu w czasie prowadzenia eksploatacji ścian w pokładach metanowych. *Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej*. Kraków, 2013.
- [55] Kufel T.: Ekonometria. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem programu GRETL. Wyd. Naukowe PWN, 2011.
- [56] Kufel T.: Ekonometria. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem programu GRETL. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2004.
- [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 7<sup>th</sup> 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] Maddala G.S.: Ekonometria. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa, 2006.
- [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] Pawiński J., Roszkowski J., Strzebiński J.: Przewietrzanie kopalń. Wyd. „Śląsk”, Katowice, 1979
- [75] Pawiński J., Roszkowski J., Szlązak N.: Zmiany koncentracji metanu w wyrobiskach korytarzowych. Archiwum Górn., t. 40, z. 3 1995.
- [76] Prognozowanie gospodarcze. Praca zbior. pod red. M. Cieślak, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2001.
- [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., Roszczyniański 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., Nguyen 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 górnictw 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 kopalń Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A. Materiały 3 Szkoły Aerologii Górniczej, Zakopane, 12-15 październik 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 25<sup>th</sup> 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., Czyżuła 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. 33-44.
- [113] Zawadzki, J. Metody geostatystyczne dla kierunków przyrodniczych i technicznych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 2011
- [114] Zeliaś A.: Teoria prognoz. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1997.
- [115] Żyła M., Kreiner K., Bodek E.: The Problem of the Chemical Nature of Hard Coals Surface with Consideration Given to Their Sorptive properties. *Archives of Mining Sciences*, Vol. 36, No.3, 1991.
- [116] <https://cordis.europa.eu/article/id/422140-back-to-square-one-methane-emissions-are-rising-again-study-shows/pl>; dostęp 07-06-2021
- [117] <https://epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials/>; dostęp 07-06-2021.
- [118] <https://open.uj.edu.pl/mod/page/view.php?id=1214>; dostęp 07.06-2021.
- [119] [https://pl.wikipedia.org/wiki/Potencja%C5%82\\_tworzenia\\_efektu\\_cieplarnianego](https://pl.wikipedia.org/wiki/Potencja%C5%82_tworzenia_efektu_cieplarnianego); dostęp 07-06-2021.
- [120] <https://www.teraz-srodowisko.pl/slownik-ochrona-srodowiska/definicja/GWP.html>; dostęp 07-06-2021 rozpoznania i zwalczania zagrożenia metanowego [82].