

Modelowanie trójwymiarowego przepływu powietrza wokół zwałowiska odpadów pogórnich

PRZEMYSŁAW SKOTNICZNY

Instytut Mechaniki Górotworu PAN, ul. Reymonta 27; 30-059 Kraków

Streszczenie

Powietrze przepływające wokół zwałowiska odpadów pogórnich generuje duże gradienty ciśnień na jego powierzchni, które są niebezpieczne ze względu na prawdopodobieństwo napowietrzenia zwałowiska a co za tym idzie możliwość samozapłonu palnego materiału. W artykule omówiono numeryczne modelowanie przepływu powietrza wokół zwałowiska odpadów pogórnich w wyniku, którego otrzymano rozkłady ciśnień na powierzchni zwałowiska, rozkłady prędkości i intensywności turbulencji w otoczeniu zwałowiska ze wskazaniem na miejsca prawdopodobnej migracji powietrza do wewnątrz zwałowiska.

Słowa kluczowe: zwałowisko odpadów pogórnich, przepływ powietrza

Wstęp

Eksploatacja złóż węgla kamiennego prowadzi do wytwarzania olbrzymiej ilości odpadów. Część odpadów produkowanych w ciągu roku (średnio $\frac{3}{4}$ ogólnej ilości) poddawana jest bieżącej utylizacji natomiast reszta składowana jest na zwałowiskach. Ogólna szacowana na rok 2001 liczba składowanych na zwałowiskach powęglowych odpadów wynosi ponad 700 000 ton (*Program Ochrony Środowiska...*, 2004).

Wyróżnia się dwa zasadnicze rodzaje odpadów:

- Odpady górnicze (z robót szybowych i przekopów): (*Plan Zagospodarowania...*, 2004). Wyrównają się dużą zmiennością składu petrograficznego, ponieważ pochodzą z wyrobisk prowadzonych w kierunkach największej zmienności petrograficznej górotworu. W związku z tym, zawartość substancji palnej jest również wysoce zróżnicowana.
- Odpady przerobcze (gruboziarniste i drobnoziarniste, poflotacyjne oraz muły z obiegów wodno-mułowych). Odpady te pochodzą z procesów wzbogacania urobku wg różnych technologii, charakteryzują się większą stabilnością składu chemicznego, mineralogicznego i petrograficznego.

Składowane na zwałowiskach odpady stanowią zagrożenie dla środowiska naturalnego. Do głównych zagrożeń można zaliczyć: (*Plan Zagospodarowania...*, 2004)

- zanieczyszczenie wód gruntowych
- zapylenie środowiska
- pożar zwałowiska prowadzący do zanieczyszczenia atmosfery szkodliwymi gazami.

Dwa pierwsze z wyżej wymienionych zagrożeń mogą być stosunkowo łatwo zredukowane. Odpowiednie ukształtowanie zboczy zwałowiska wraz z zabezpieczeniem powierzchni w znacznym stopniu redukuje efekty związane z wymywaniem przez opady atmosferyczne substancji chemicznych (zazwyczaj w postaci soli metali), jak i kruszeniem się powłoki powierzchniowej doprowadzającym do wzrostu zapylenia otoczenia zwałowiska.

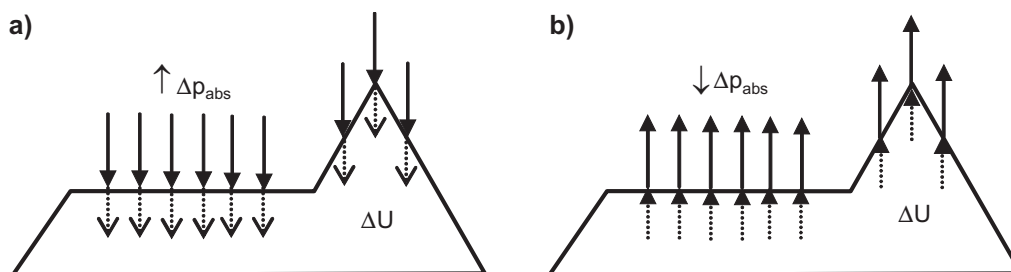
Najcięższym do zwalczenia jest zagrożenie pożarowe. Średniej wielkości zwałowisko odpadów pogórnich ma objętość około 2 mln m³, więc precyzyjne zlokalizowanie ogniska pożaru oraz efektywny proces gaszenia oraz wychłodzenia zdeponowanego materiału jest zagadnieniem szczególnie ważkim. (Korski i in., 2005)

W artykule przedstawiono wyniki symulacji przepływu powietrza wokół zwałowiska odpadów pogórnich, które mogą posłużyć do określenia niebezpiecznych stref w istniejących zwałowiskach, bądź wytyczenia optymalnego aerodynamicznego kształtu nowopowstałych.

Mechanizm powstawania pożaru w zwałowisku.

Przyjmuje się, że zagrzewanie pewnych specyficznych obszarów zwałowiska powstaje w wyniku wolnego, niskotemperaturowego utleniania substancji palnych zawartych w zwałowanym materiale przy równoczesnym niedostatecznym odbiorze ciepła. Po osiągnięciu przez zagrzewany tym sposobem materiał pewnej temperatury zwanej temperaturą krytyczną następuje proces zapalenia się substancji palnych zawartych w materiale.

Powstałe w ten sposób ognisko pożarowe pobiera tlen ze znajdującego się w porach (lub makroporach) materiału powietrza. Do tego dołącza się również proces przenikania powietrza do wnętrza zwałowiska dzięki zmianom ciśnienia barometrycznego – tzw. „oddychanie” zwałowiska (Litwizyn i in., 1963). Schematycznie proces zaznaczono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat „oddychania” zwałowiska; a) wdech, b) wydech

Równocześnie, przepływające wokół zwałowiska powietrze powoduje zmiany rozkładów ciśnień na jej powierzchni. Zakładając, że materiał składowany nie jest jednorodny, można założyć, że jednym z głównych mechanizmów propagacji źródeł pożarów w zwałowisku jest występowanie obszarów charakteryzujących się dużymi gradientami ciśnień, które powodują lokalne napowietrzanie hałdy, dostarczając powietrza do procesu spalania zwałowanego materiału. Z uwagi na to, że ilość powietrza dostająca się tą drogą jest niewielka z tego względu proces spalania jest niezupełny i niecałkowity.

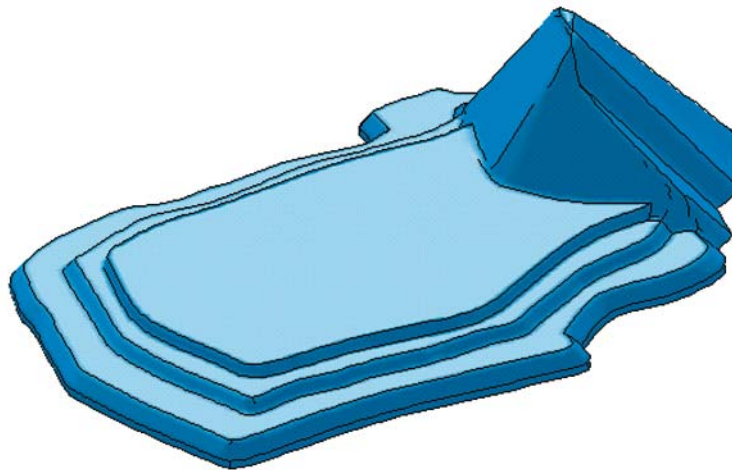
Opis problemu

Miejsce występowania ogniska pożarowego, jego temperatura oraz kierunek propagacji wewnątrz zwałowiska jest uwarunkowane wieloma czynnikami. Do czynników natury aerologicznej, które były wymienione powyżej, dochodzą czynniki natury geologicznej i petrograficznej. Ogólnie mówiąc założenie jednorodności zarówno geologicznej jak i petrograficznej materiału zwałowanego może być jedynie założeniem wstępnym. Wyniki publikowane w niniejszym artykule stanowią próbę opisu czynnika aerodynamicznego będącego jednym z dominujących w procesie powstawania i propagacji ognisk pożarowych w zwałowiskach odpadów pogórnich.

Przykład

Poniżej przedstawiono wyniki obliczeń dla czynnego termicznie, nadpoziomowego zwałowiska odpadów pogórnich „Rymer-Stozki”. Geometria zwałowiska, przedstawiona na rys. 2 jest typowa dla zreultywowanych zwałowisk (Uberman, Ostreğa, 2004). Częściowo, bądź w całości zreultywowane zwałowisko odpadów pogórnich charakteryzuje się budową tarasową z wyróżnioną płaszczyzną w części wierzchołkowej oraz z zachowanym jednym ze stożków (często jest to walor krajobrazowy, bądź historyczny).

Opisywany obiekt znajduje się w pobliżu zlikwidowanej kopalni „Rymer”, usytuowany jest na kierunku SW-NE, objętość materiału zwałowanego szacuje się na około 1600 000 m³. Jak wynika z wywiadu środowiskowego, w omawianym rejonie głównym kierunkiem wiatru jest kierunek S, SE. Z uwagi na brak dokładnych danych liczbowych dotyczących różnicy wiatru w tym terenie do dalszych rozważań przyjęto prędkość wyznaczoną podczas pomiarów. Wynosiła ona $u = 7,03$ m/s z kierunku S.

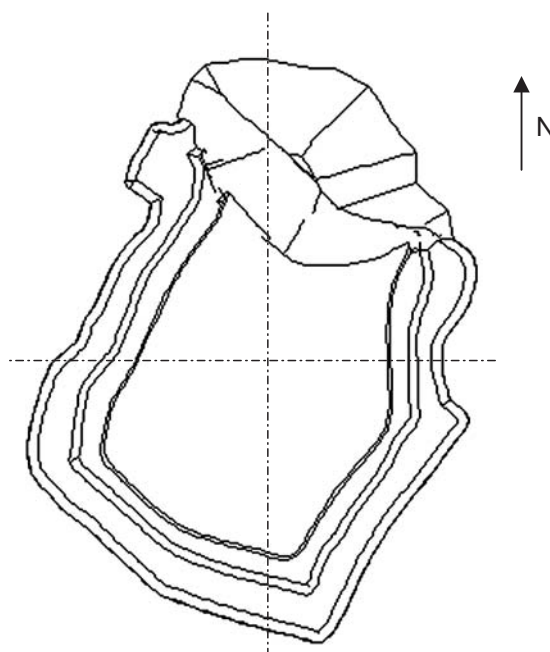


Rys. 2. Geometria zwałowiska odpadów powęglowych

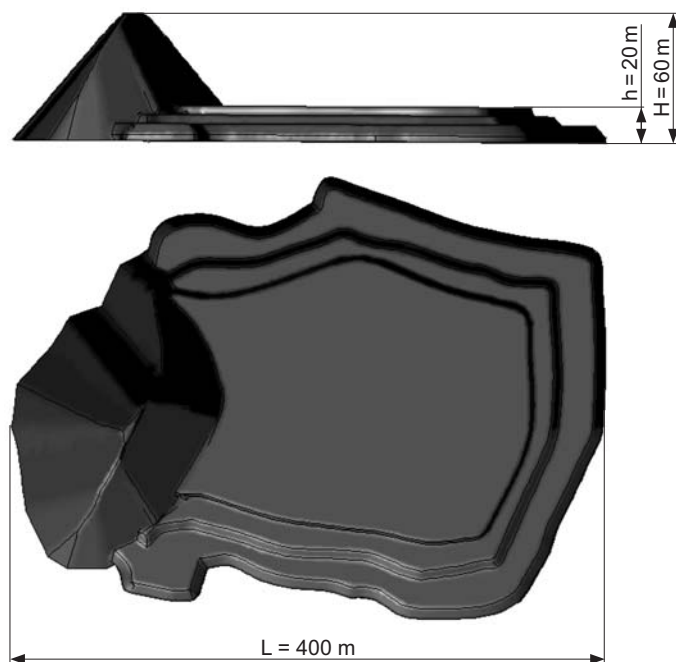
Plan sytuacyjny

Do obliczeń przyjęto, że omawiany obiekt znajduje się w otwartej przestrzeni dzięki czemu możliwe jest pominięcie wpływów rzeźby terenu i zabudowań na profile prędkości i ciśnień. Zwałowisko jest usytuowane na kierunku SW-NE (rys. 3).

Główne wymiary omawianego zwałowiska zaprezentowano na rys. 4.



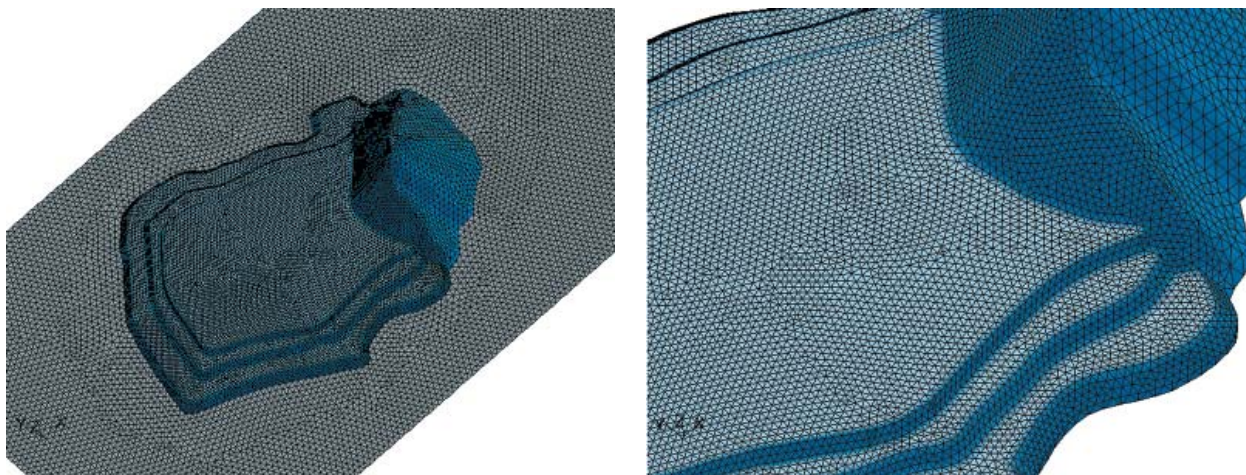
Rys. 3. Usytuowanie zwałowiska odpadów pogórnich



Rys. 4. Główne wymiary zwałowiska

Budowa modelu zwałowiska do procesu obliczeniowego

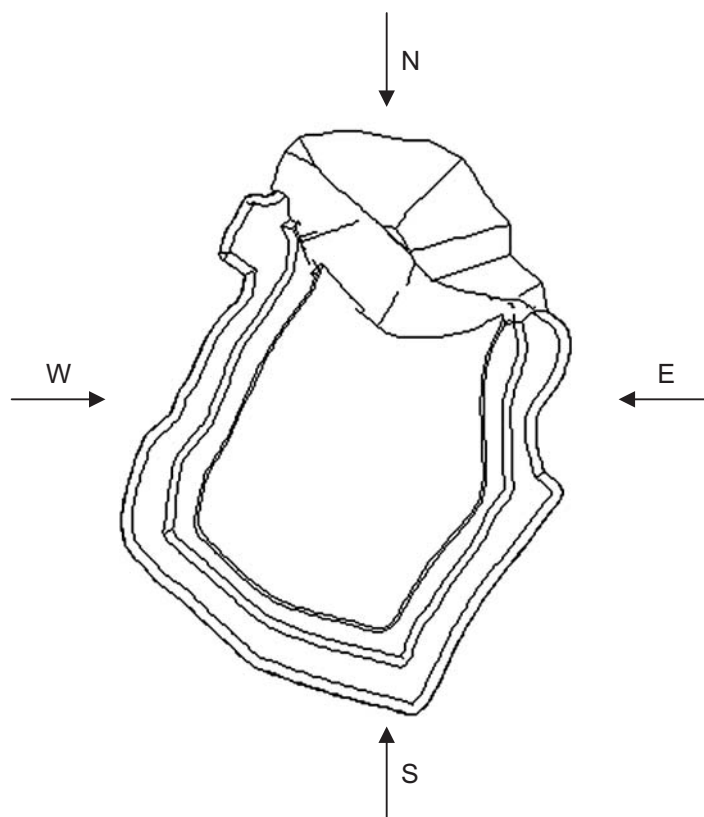
Trójwymiarową geometrię modelu obliczeniowego wykonano w preprocesorze Gambit. Ponieważ zwałowisko odpadów pogórniczych z reguły posiada bardzo złożoną geometrię, do celów obliczeniowych należało zbudować model, który nie odbiegając od ogólnego zarysu obiektu spełniałby ogólne prawa podobieństwa modelowego. Zamieszczony na rys. 5 trójwymiarowy model zwałowiska odwzorowuje ogólny kształt zwałowiska. Teoretycznie, całkowite odwzorowanie wszystkich kątów i płaszczyzn jest możliwe, ale nie stosowane z uwagi na konieczność zagęszczenia siatki obliczeniowej, co z kolei negatywnie odbija się na szybkości uzyskania rozwiązania. Gotowa siatka obliczeniowa dla omawianego przykładu zawierała ponad 2 miliony elementów typu tetrahedral, tak więc dodatkowe odwzorowania szczegółów spowodowałyby zdecydowane zwiększenie tej liczby.



Rys. 5. Trójwymiarowy model obliczeniowy hałdy wraz z siatką obliczeniową

Procedura obliczeniowa

Obliczenia przeprowadzono przy prędkości wiatru równej $U = 7,03$ m/s, dla czterech głównych kierunków przepływu powietrza wokół zwałowiska (rys. 6).



Rys. 6. Obliczeniowe kierunki wiatru

Obliczenia przeprowadzono w programie Fluent dla przypadku przepływu stacjonarnego oraz izotermicznego. Zwałowisko potraktowano jako ośrodek jednolity, nieprzepuszczalny. W obliczeniach ograniczono się do wyznaczenia ciśnień panujących na pobocznicach zwałowiska ze szczególnym uwzględnieniem obszarów o wysokiej różnicy (Δp), prędkości powietrza w otoczeniu zwałowiska oraz dodatkowo wartości intensywności turbulencji w niewralgicznych miejscach.

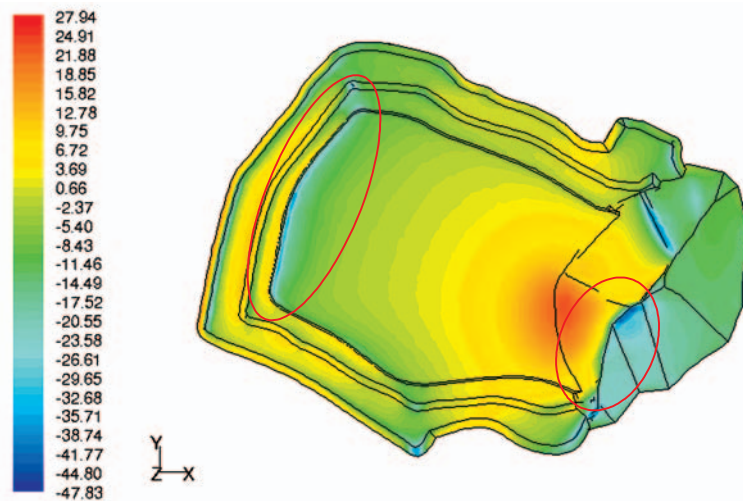
Wyniki obliczeń

Skutkiem przepływu powietrza wokół zwałowiska odpadów pogórnich jest powstawanie powierzchni o niejednorodnych rozkładach ciśnień, które w przypadku materiału niejednorodnego i przepuszczalnego, czyli materiału rzeczywistego zwałowiska, mogą spowodować ruch powietrza w jej wnętrzu. Ponadto w bezpośrednim otoczeniu zwałowiska pojawiają się struktury turbulენტne, które w przypadku występowania niestacjonarności w przepływie powietrza wokół zwałowiska, typu zmiany wartości prędkości – podmuchy, mogą wpływać dodatkowo na proces napowietrzania zwałowiska poprzez tworzenie się lokalnych stref zatłaczających. Zjawisko to można zaobserwować na zamieszczonych poniżej izopowierzchniach intensywności turbulencji wokół zwałowiska.

Strona południowa

Strona południowa zwałowiska odpadów „Rymer-Stożki” jest szczególnie narażona na negatywny wpływ wiatru ze względu na jego częstość występowania.

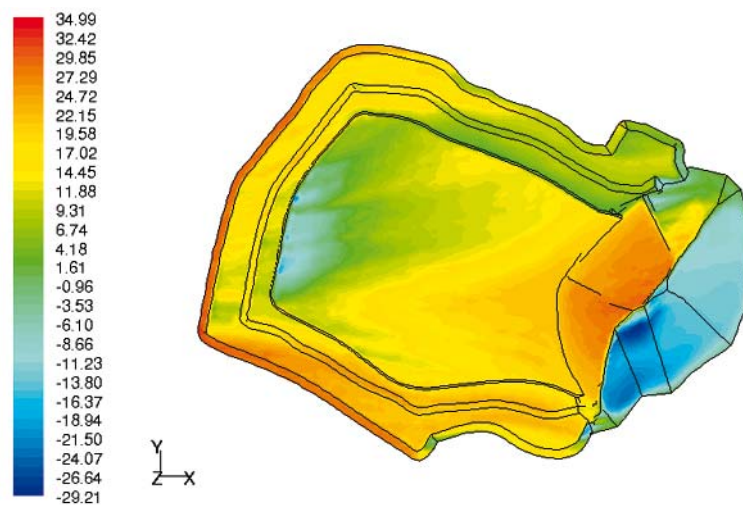
Na rys. 7 zamieszczono izobary ciśnień statycznych p_s na powierzchni zwałowiska dla przypadku napływu powietrza od strony południowej. Analizując rozkład ciśnień statycznych można zauważyć występowanie stref dużej różnicy ciśnienia, sięgającego 70 Pa. Obszary te, na rys. 7 zaznaczono na czerwono.



Rys. 7. Izobary ciśnień statycznych p_s [Pa] na powierzchni zwałowiska przy napływie powietrza od południa

W przypadku lokalizacji nieszczelności w warstwie wierzchniej omawianych obszarów istnieje duże ryzyko napowietrzenia materiału zwałowiska, a co za tym idzie zwiększenie intensywności procesu utleniania.

Na rys. 8 w podobny sposób przedstawiono izobary ciśnienia całkowitego p_c na powierzchni zwałowiska.



Rys. 8. Izobary ciśnień całkowitych p_c [Pa] na powierzchni zwałowiska przy napływie powietrza od południa

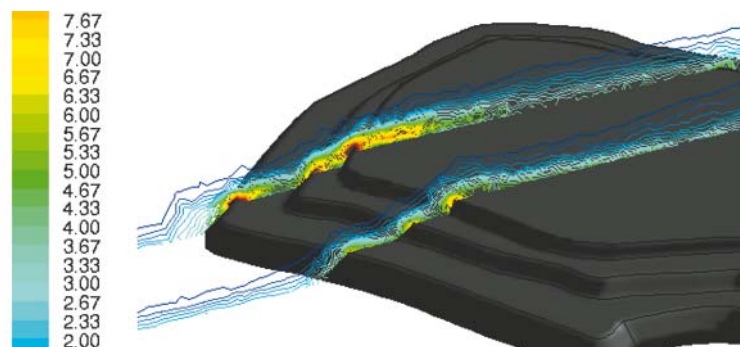
Podobnie jak w przypadku rozkładów ciśnień statycznych, duże różnice, rzędu 50 Pa występują w pobliżu krawędzi górnego tarasu zwałowiska, oraz od strony N-W stożka.

Ponadto, czerwoną strzałką zaznaczono kierunek gradientu ciśnienia całkowitego na wierzchołku zwałowiska. Efekt ten ma bezpośredni związek z tworzeniem się i zanikaniem w kierunku stożka obszarów o zwiększonej wartości wektora wirowości (rys. 8a).

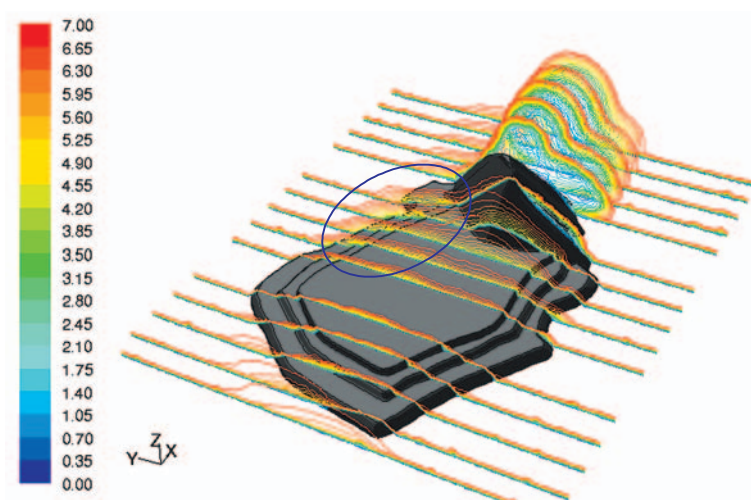
Pole prędkości powietrza omywającego zwałowisko jest w dużej mierze zakłócone przez obecność stożka. Można to zaobserwować na zamieszczonych poniżej (rys. 9) izoliniach modułu prędkości w kolejnych, oddalonych od siebie o 30 m przekrojach prostopadłych do wektora prędkości średniej przepływającego powietrza.

Również na rys. 9 można zaobserwować strefę zmniejszonej prędkości leżącą w cieniu aerodynamicznym za zwałowiskiem (kolor niebieski), w których występują zjawiska rewersji wektora prędkości (rys. 9a).

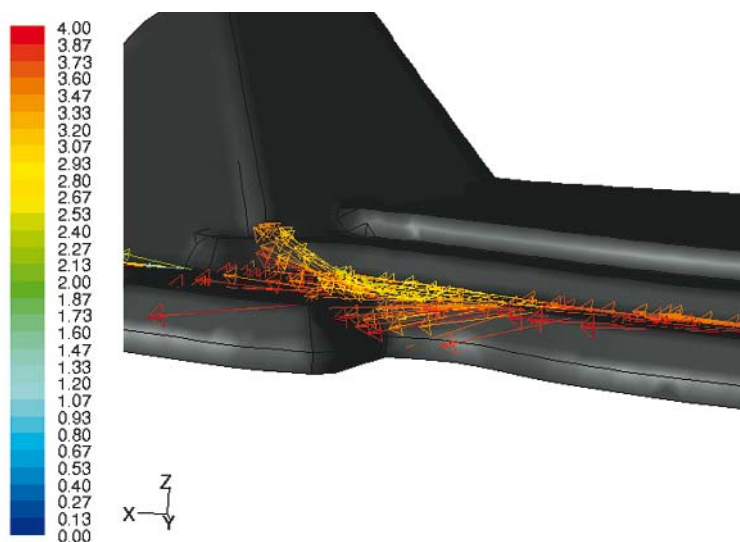
Jak zostało wcześniej wspomniane obecność stożka w przepływie powietrza wokół zwałowiska powoduje duże zakłócenia pola prędkości co powoduje zwiększenie wartości intensywności turbulencji w przekrojach leżących za stożkiem.



Rys. 8a. Izolinie wektora wirowości $rot(U)$ [1/s] w dwóch równoległych do siebie przekrojach przy napływie powietrza od południa



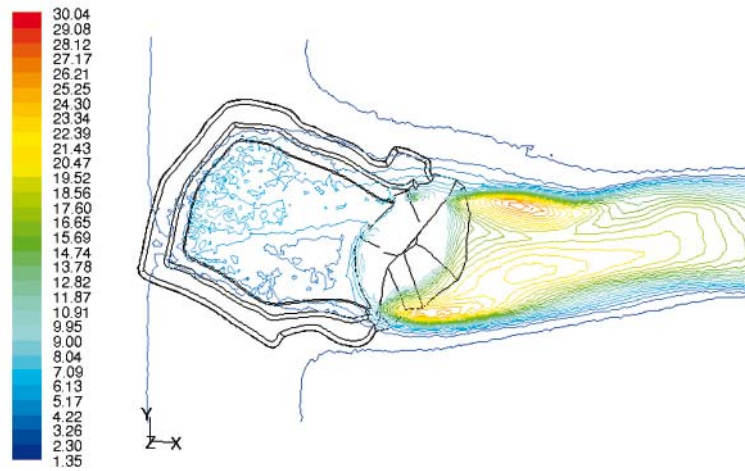
Rys. 9. Moduł prędkości U [m/s] w poszczególnych przekrojach poprzecznych prostopadłych do kierunku wektora przy napływie powietrza od południa



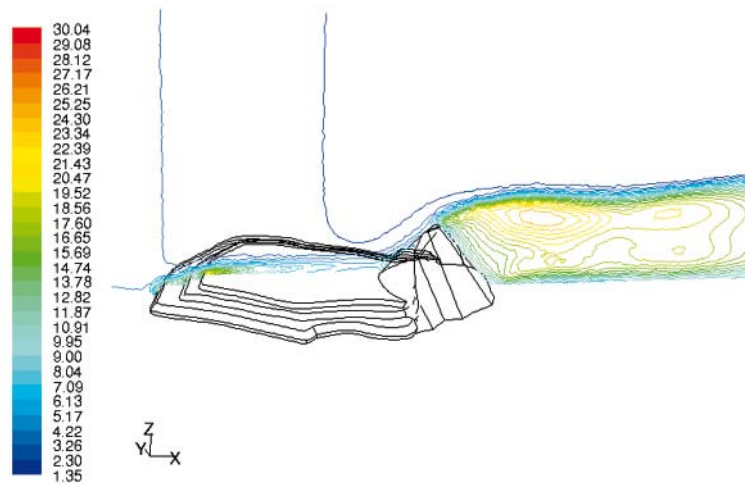
Rys. 9a. Strefa zmiany kierunku wektora prędkości U [m/s]

Na rys. 10 zaprezentowano izolinie wartości intensywności turbulencji w płaszczyźnie X-Y leżącej na wysokości 1 m od wierzchołku zwalowiska. Można zauważyć dwa duże ogniska turbulencji znajdujące się po dwóch stronach stożka. Sądząc po kształcie śladu turbulentnego można przypuszczać, że dla oma-

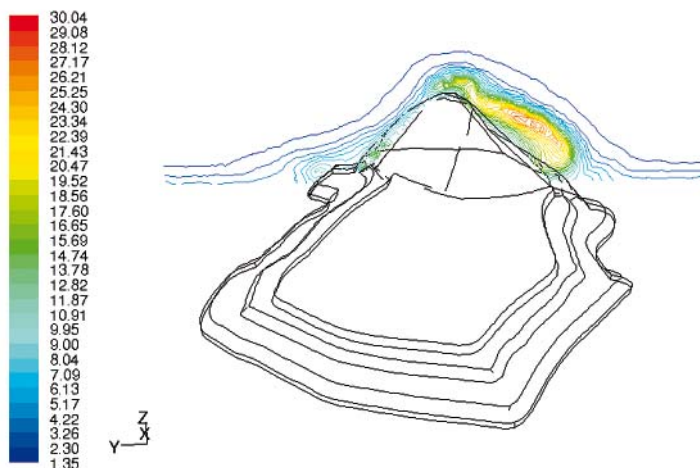
wianej geometrii oraz warunków przepływowych w przestrzeni za stożkiem kształtuje się ścieżka wirowa. Znajduje to potwierdzenie w analizie kształtu izolinii i wartości intensywności turbulencji dla przekrojów usytuowanych w płaszczyznach X-Z, oraz Y-Z zamieszczonych odpowiednio na rys. 11-12.



Rys. 10. Intensywność turbulencji T [%] w przekroju podłużnym zwałowiska na wysokości 1 m nad wierzchołkiem przy napływie powietrza od południa



Rys. 11. Intensywność turbulencji T [%] w przekroju poprzecznym zwałowiska przy napływie powietrza od południa

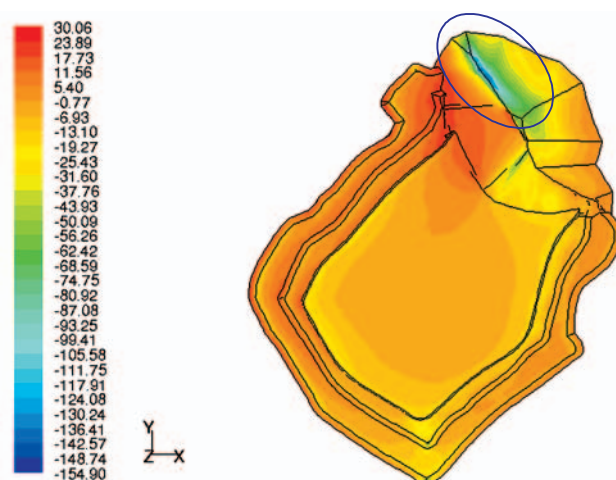


Rys. 12. Intensywność turbulencji T [%] w przekroju poprzecznym stożka przy napływie powietrza od południa

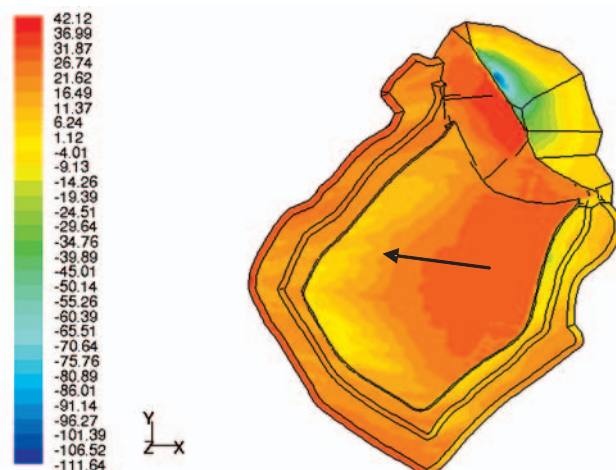
Strona zachodnia

Wiatry wiejące od strony zachodniej zwałowiska powodują powstawanie obszarów o zróżnicowanej wartości ciśnień statycznych, których rozkład jest zamieszczony na rys. 13. Uwagę zwraca, w przeciwieństwie do poprzedniego przypadku przepływowego, bardziej jednorodny rozkład ciśnień oraz większe wartości różnic Δp . Na szczególną uwagę zasługuje obszar zaznaczony na rys. 13 kolorem niebieskim, w którym występuje maksymalna wartość różnicy ciśnień statycznych – rzędu 180 Pa.

Również inny w stosunku do poprzedniego przypadku jest rozkład ciśnień całkowitych. Jak można zaobserwować na rys. 14 oprócz dużego nadciśnienia w rejonie szczytu stożka można wyróżnić duży obszar leżący na wierzchołku zwałowiska, charakteryzujący się dużą różnicą ciśnień całkowitych (kierunek gradientu zaznaczono strzałką).



Rys. 13. Izobary ciśnień statycznych p_s [Pa] na powierzchni zwałowiska przy napływie powietrza od zachodu

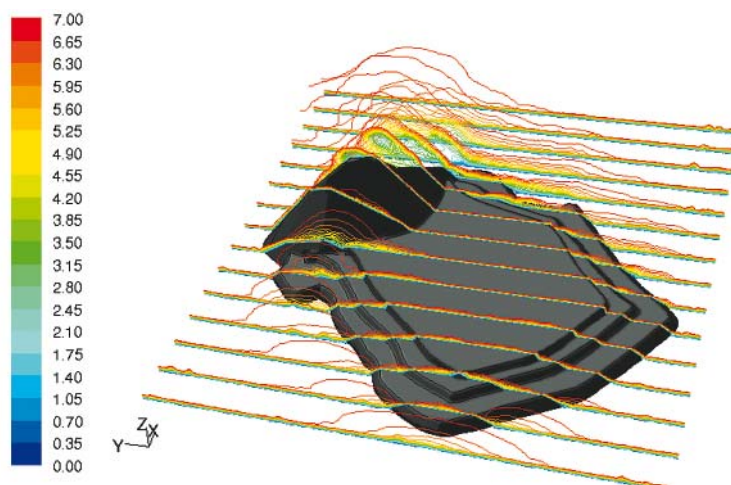


Rys. 14. Izobary ciśnień statycznych p_s [Pa] na powierzchni zwałowiska przy napływie powietrza od zachodu

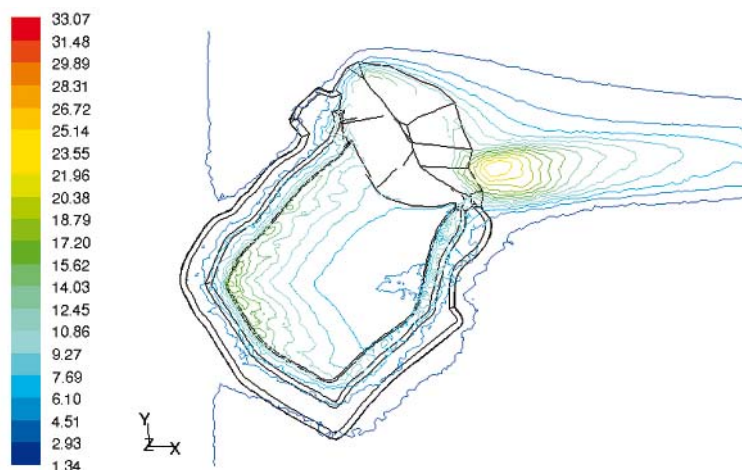
Rozkład modułu wektora prędkości przedstawiony na rys. 15 podobnie jak w poprzednim przypadku wykazuje istnienie strefy zaburzonej w przepływie za stożkiem, która, jednakże w przeciwieństwie do poprzedniego przypadku przepływowego ma mniejszy zasięg.

Zachowanie się strugi przepływającego od strony zachodniej powietrza wokół zwałowiska ma również wpływ na wielkość strefy turbulენტnej za stożkiem. Na rys. 16 zaprezentowano izolinie wartości intensywności turbulencji w przekroju leżącym w płaszczyźnie X-Y, 1 m od wierzchołka zwałowiska. Analizując

wartości intensywności turbulencji i porównując je z wartościami z poprzedniego przypadku można łatwo zauważyć, że już w odległości 60 m od podstawy stożka wartość intensywności turbulencji osiąga poziom rzędu 18% (27-28% dla poprzedniego przypadku).



Rys. 15. Moduł prędkości U [m/s] w poszczególnych przekrojach poprzecznych prostopadłych do kierunku wektora przy napływie powietrza od zachodu



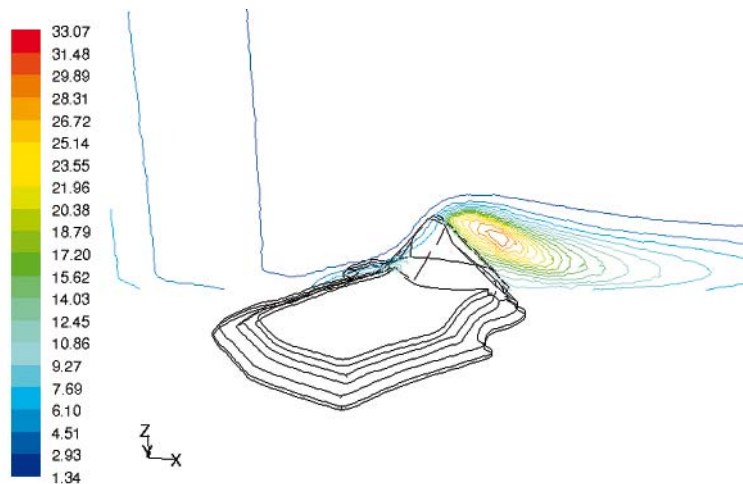
Rys. 16. Intensywność turbulencji T [%] w przekroju podłużnym zwałowiska na wysokości 1m nad wierzchołkiem przy napływie powietrza od zachodu

Podobnie, dla przekroju leżącego w płaszczyźnie $Y-Z$, zamieszczonym na rys. 17 można zauważyć, że strefa turbulencji jest „dociskana” do tworzącej stożka. Na uwagę zasługuje również fakt mniejszej wartości intensywności turbulencji w porównywanym obszarze – średnio o ok. 5%. Efekt ten występuje również w pozostałych przekrojach:

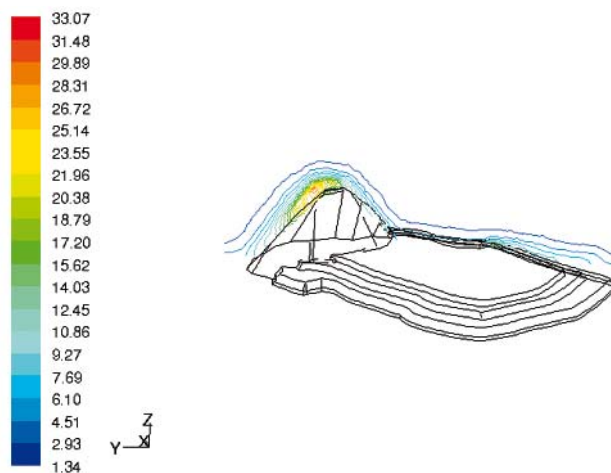
- $Y-Z$ - umieszczony na rys. 17,
- $X-Z$ – umieszczony na rys.18.

Strona północna

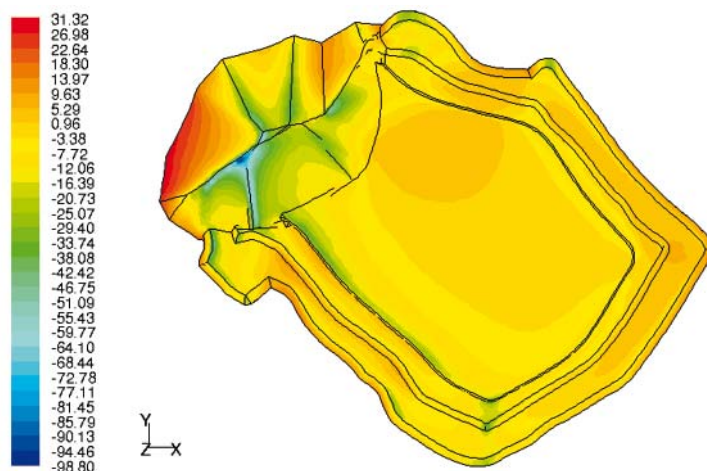
Tworzące się strefy ciśnień w przypadku napływu strumienia powietrza z północy charakteryzują się najmniejszym jak dotąd zróżnicowaniem. Zamieszczone na rys. 19 izobary ciśnień statycznych wykazują niewielką obszarowo strefę nadciśnienia na zboczu stożka od strony napływu. Obszar maksymalnej różnicy ciśnień zaznaczony na rys. 19 kolorem czerwonym jest zdecydowanie najmniejszy z dotąd omawianych. Wartość Δp w tym obszarze nie przekracza 100 Pa.



Rys. 17. Intensywność turbulencji T [%] w przekroju podłużnym zwałowiska na wysokości 1m nad wierzchołką przy napływie powietrza od zachodu



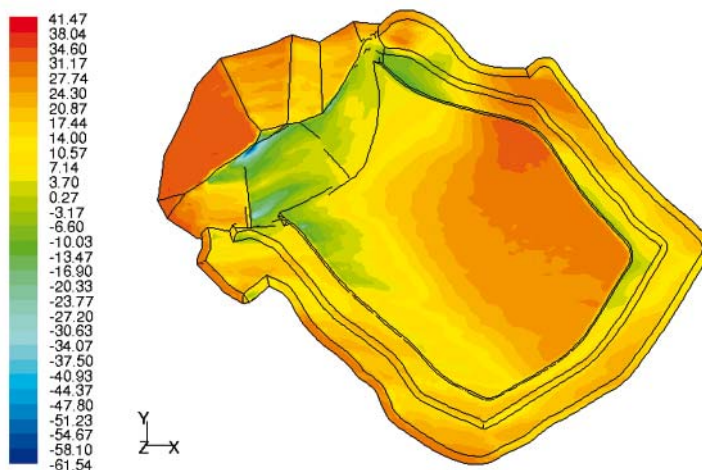
Rys. 18. Intensywność turbulencji T [%] w przekroju podłużnym zwałowiska na wysokości 1m nad wierzchołką przy napływie powietrza od zachodu



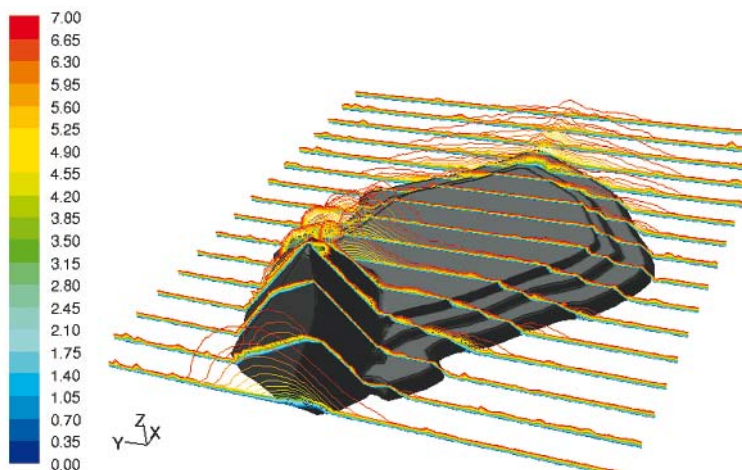
Rys. 19. Izobary ciśnień statycznych p_s [Pa] na powierzchni zwałowiska przy napływie powietrza od północy

Podobnie w rozkładzie ciśnień całkowitych zamieszczonych na rys. 20 oprócz dużej strefy nadciśnienia na zboczu stożka można wyróżnić niewielką strefie nadciśnienia sięgającego wartości 40 Pa w części wschodniej wierzchołki zwałowiska.

Powyższe obserwacje znajdują wytłumaczenie w obrazie rozkładów prędkości wokół zwałowiska. Zamieszczone na rys. 21 wartości modułu prędkości w przekrojach poprzecznych wskazują na istnienie dwóch niewielkich stref zaburzeń pola prędkości w śladzie za stożkiem oraz za krawędzią zwałowiska od strony S-W. Wspomniane dwa ślady przenoszą większą część strefy podciśnienia poza bryłę zwałowiska.

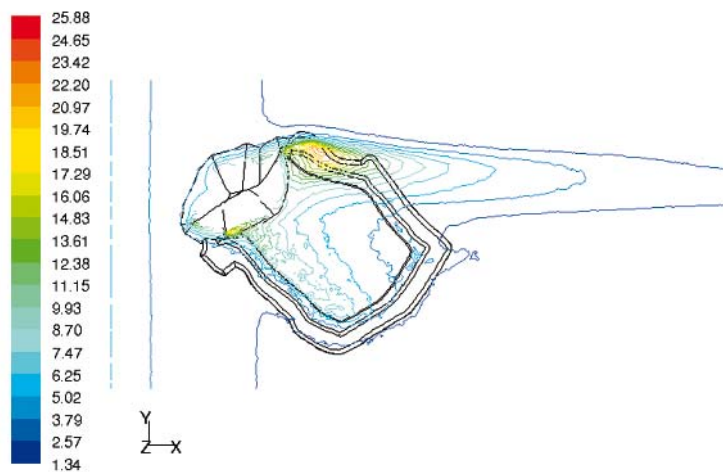


Rys. 20. Izobary ciśnień całkowitych p_c [Pa] na powierzchni zwałowiska przy napływie powietrza od północy

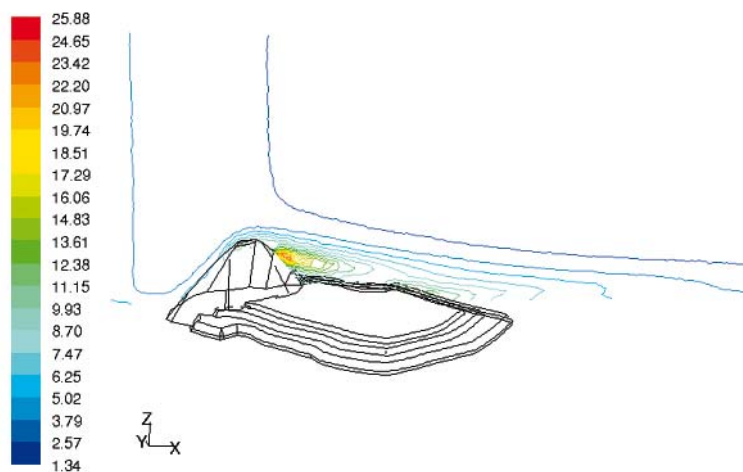


Rys. 21. Moduł prędkości U [m/s] w poszczególnych przekrojach poprzecznych prostopadłych do kierunku wektora przy napływie powietrza od północy

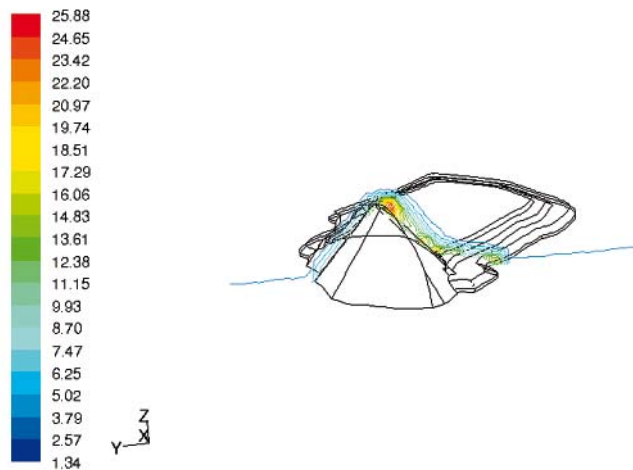
Wartości intensywności turbulencji dla omawianego przykładu, których izoliny w odpowiednich płaszczyznach X-Y, Y-Z oraz X-Z są zamieszczone na rys. 22-24. Największa strefa burzliwego przepływu znajduje się po stronie wschodniej zwałowiska, w pobliżu zbocza stożka (rys. 22). Zasięg tej strefy jest bardzo niewielki, około 40 m.



Rys. 22. Intensywność turbulencji T [%] w przekroju podłużnym zwałowiska na wysokości 1m nad wierzchołką przy napływie powietrza od północy



Rys. 23. Intensywność turbulencji T [%] w przekroju poprzecznym zwałowiska na wysokości 1m nad wierzchołką przy napływie powietrza od północy

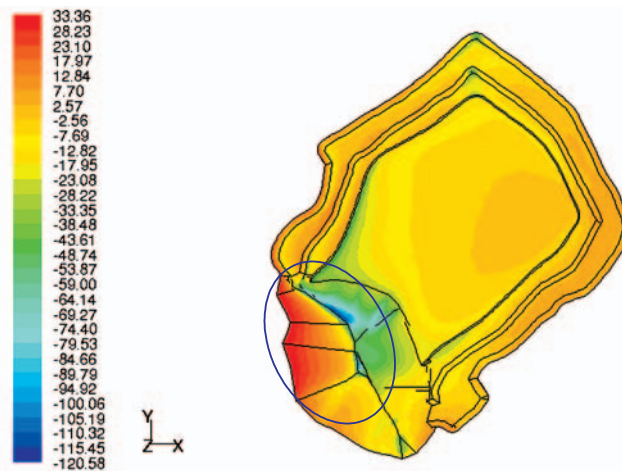


Rys. 24. Intensywność turbulencji T [%] w przekroju poprzecznym zwałowiska przy napływie powietrza od północy

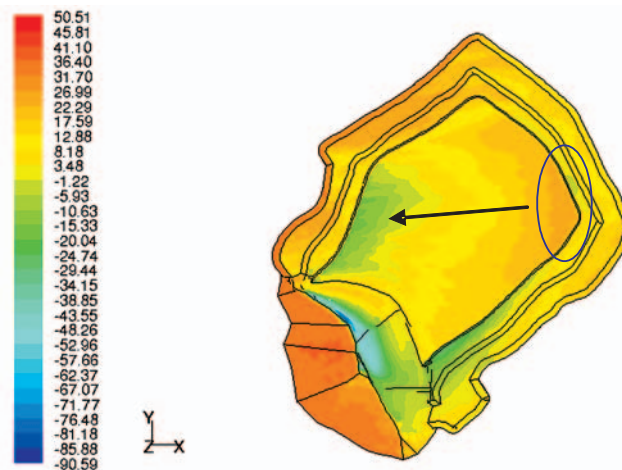
Strona wschodnia

Ostatnim z omawianych przypadków jest napływ powietrza na zwałowisko od strony wschodniej. Na rys. 25 zamieszczono izobary ciśnień statycznych na powierzchni zwałowiska. Podobnie jak w poprzednich przykładach, najbardziej narażonym fragmentem zwałowiska jest stożek. Kolorem niebieskim zaznaczono obszar najwyższego $\Delta p = 150$ Pa z maksimum wynoszącym 33.36 Pa u podnóża. Ponadto od strony wschodniej, na wysokości wierzchołki zwałowiska występuje niewielki obszar podciśnienia sięgającego -45 Pa.

Zamieszczone na rys. 26 izobary ciśnienia całkowitego wykazują istnienie dużej strefy gradientu ciśnienia na wierzchołku zwałowiska. Kierunek gradientu zaznaczono strzałką.



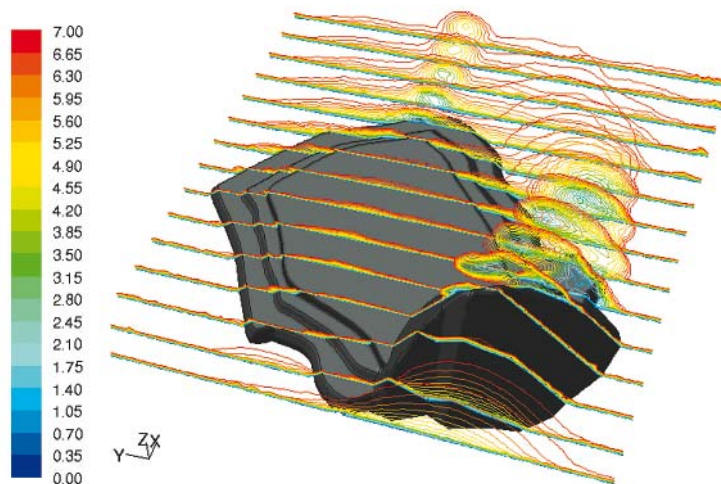
Rys. 25. Izobary ciśnień statycznych p_s [Pa] na powierzchni zwałowiska przy napływie powietrza od wschodu



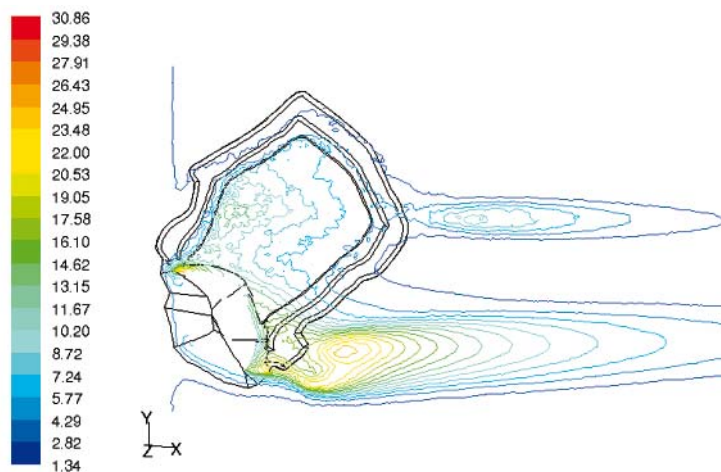
Rys. 26. Izobary ciśnień całkowitych p_c [Pa] na powierzchni zwałowiska przy napływie powietrza od wschodu

Obserwowane w przypadku napływu powietrza od strony północnej dwa ślady zaburzeń pola modułu prędkości, również występują w omawianym przykładzie. Jednakże zasięg, oraz wartości prędkości w śladach są zdecydowanie wyższe niż poprzednio (rys. 27).

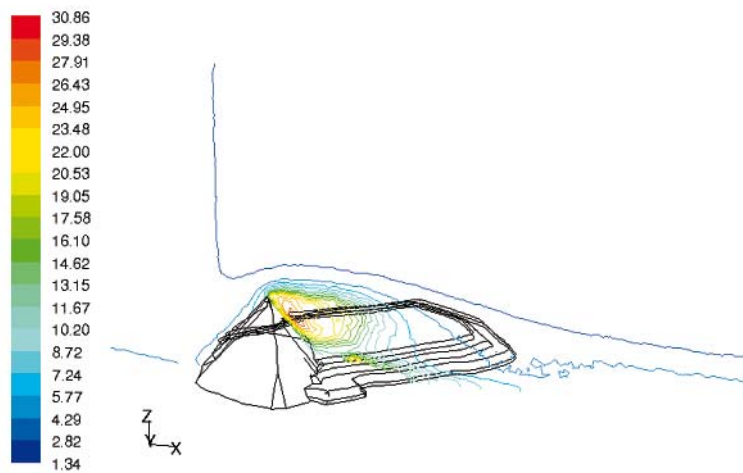
Zależność ta znajduje odzwierciedlenie w obrazie wartości intensywności turbulencji w poszczególnych przekrojach. Na rys. 28 przedstawiono rozkład wartości intensywności turbulencji w przekroju poprzecznym X-Y 1 m nad wierzchołkiem zwałowiska. Można łatwo zauważyć dwa duże ślady turbulentne – większy spowodowany przepływem powietrza wokół stożka i mniejszy spowodowany sływem powietrza z wierzchołki zwałowiska. Izolinie intensywności turbulencji zamieszczone na kolejnych rysunkach (rys. 29 i 30) przedstawiają wartość i zasięg zjawiska w przekrojach, odpowiednio Y-Z oraz X-Z.



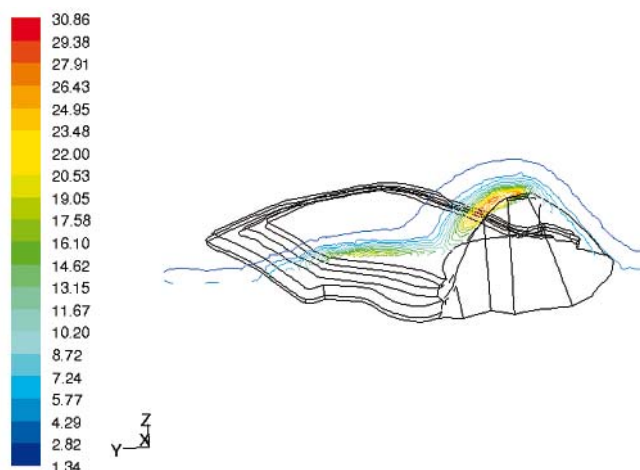
Rys. 27. Moduł prędkości U [m/s] w poszczególnych przekrojach poprzecznych prostopadłych do kierunku wektora przy napływie powietrza od wschodu



Rys. 28. Intensywność turbulencji T [%] w przekroju podłużnym zwałowiska na wysokości 1 m nad powierzchnią przy napływie powietrza od wschodu



Rys. 29. Intensywność turbulencji T [%] w przekroju poprzecznym zwałowiska przy napływie powietrza od wschodu



Rys. 30. Intensywność turbulencji T [%] w przekroju poprzecznym zwałowiska przy napływie powietrza od wschodu

Podsumowane i wnioski

W opracowaniu przedstawiono wyniki wstępnych obliczeń rozkładów modułu prędkości, intensywności turbulencji w otoczeniu czynnego termicznie zwałowiska odpadów pogórnich „Rymer” oraz rozkładów ciśnień absolutnych p_{abs} , ciśnień całkowitych p_c na jego powierzchni, dla czterech kierunków napływu powietrza, dla prędkości wiatru $U = 7$ m/s, przy założeniu jednorodności i nieprzepuszczalności materiału zwałowiska.

Przeprowadzona analiza pozwala ustalić obszary o zwiększonych wartościach ciśnień a co za tym idzie mogących mieć wpływ na proces powstawania i propagacji ognisk pożarowych wewnątrz zwałowiska. Należy jednak mieć świadomość, że mechanizm procesów termicznych i aerologicznych jest niezwykle złożony. Do przeprowadzenia pełnej analizy przypadku należy dysponować większą liczbą danych pomiarowych, meteorologicznych i termicznych, które wspomagane symulacją komputerową mogą pozwolić na skuteczny sposób opisanego a docelowo zwalczania problemu. Po przeanalizowaniu opisanego problemu można wysnuć następujące wnioski związane z naturą przepływu powietrza wokół zwałowiska:

- Istnienie dużych różnic ciśnień statycznych p_s , całkowitych p_c oraz ich gradientów na powierzchni zwałowiska może mieć dodatkowy wpływ na intensywność procesów termicznych wewnątrz zwałowiska. Duże różnice ciśnień powodują lepszą penetrację materiału porowatego (materiał rzeczywisty zwałowiska) przez co lepsze napowietrzenie zwałowiska.
- Pozostawiony po stronie północnej stożek stanowi dobrą zaporę przeciwko negatywnym rozkładom ciśnień (p_c i p_s) które występują na wierzchołku zwałowiska. Efekt ten jest szczególnie dobrze widoczny dla napływu powietrza od strony północnej (rys. 21, 22).
- Kształt stożka ma wpływ na wielkość intensywności turbulencji, w przekrojach poprzecznych i podłużnym przy tych samych wartościach wielkości brzegowych.
- Przepływ od strony południowej powoduje występowanie najbardziej rozległych obszarów występowania różnic jak i również dużych gradientów ciśnień.
- Istnieje konieczność rozszerzenia przedstawionego modelu obliczeniowego. Najistotniejszą zmianą powinno być zaimplementowanie modelu przepływu przez porowate medium. Ponadto, analiza powinna również objąć procesy niestacjonarne (zmiana wartości wektora prędkości w czasie, zmiana ciśnienia barometrycznego w czasie) oraz, co najważniejsze procesy termiczne.

Interesującym zagadnieniem, które wynikło podczas przeprowadzania wizji lokalnej opisywanego obiektu jest występowanie szeregu spękań i szczelin w pobocznicach zwałowiska. Na wierzchołku zwałowiska występują spękania powierzchni w szczególności w pobliżu zboczy od strony południowej, które również, w świetle przedstawionych badań modelowych mogą być bardzo dobrymi tunelami napowietrzającymi zwałowisko.

Literatura

- Litwiniszczym J., Liu Ci-Tong, Mączyński J., 1963: *Filtracja pod działaniem wiatru przy pożarach zwałów węgla*. Kraj. Zjazd BHP NT. Nauka i technika w walce o bezpieczeństwo w górnictwie. Katowice 1963, PAN, Państw. Rada Górn. SITG, 13 s.
- Korski J., Henslok P., Bodynek P., 2004: *Doświadczenia z likwidacji zapożarowania składowiska odpadów powęglowych „Skalny” w Łaziskach Górnych*, ZN Politechnika Śląska seria Górnictwo z. 261.
- Program Ochrony Środowiska Województwa Śląskiego do 2004 oraz cele długoterminowe do roku 2015*, <http://www.silesia-region.pl>
- Plan Zagospodarowania Przestrzennego Województwa Śląskiego: 2004* http://www.silesia-region.pl/przest_plan/pzpws
- Uberman R., Ostrega A., 2004: *Sposób rekultywacji i zagospodarowania zwałowisk nadkładu i składowisk odpadów górniczych*, Górnictwo Odkrywkowe nr 7-8/2004. Poltegor – Instytut, Wrocław.

Modeling of 3D air flow around coal waste dump

Abstract

Air flowing around coal waste dump causes high pressure gradients on its surface. Existence of this phenomenon may have impact on the rise of the material's temperature, which could lead to spontaneously combustion. Presented article discusses 3D simulation of an air flow around coal waste dump. The results are given as contour maps of static and absolute pressure on the dump's surface, which indicate the area of maximum pressure gradient values, and the contours of velocity and turbulence intensity around dump as well.

Keywords: coal waste dump, air flow

Recenzent: prof. dr hab. inż. *Wacław Trutwin*, Instytut Mechaniki Górotworu PAN