

**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ MECHANICZNY

Katedra Energetyki i Aparatury Przemysłowej

RAPORT CZĘŚCIOWY Z PRAC W RAMACH ZADANIA 1

"Opracowanie założeń dotyczących usprawnienia procesu odpylania w pilarkach formatowych górnego i dolnego układu"

Raport obejmuje sprawozdanie z poniżej wymienionych działań, realizowanych zgodnie z terminarzem opracowanym i zaakceptowanym po wizycie przedstawicieli Zespołów badawczych z Politechniki Gdańskiej w Rema S.A. w Reszlu.

- Działanie 1.5. - opisane w Rozdziałach 1, 2 i 3
- Działania 1.6, 1.7., 1.8.1. – 1.8.2. - opisane w Rozdziałach 4 i 5

autorzy opracowania:

dr inż. J. Barański

dr inż. M. Jewartowski

dr inż. J. Wajs

prof. dr hab. inż. K. Orłowski

Gdańsk, lipiec 2016

POLITECHNIKA GDAŃSKA

ul. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk

tel. +48 58 347 19 29
fax: +48 58 347 28 16
e-mail: ktc@mech.pg.gda.pl
www.pg.gda.pl

Poniższe opracowanie dotyczy realizacji zadania 1. pt. „Opracowanie założeń dotyczących usprawnienia procesu odpylania w pilarkach formatowych górnego i dolnego układu” w ramach umowy pomiędzy REMA S. A. w Reszlu a Wydziałem Mechanicznym Politechniki Gdańskiej z dnia 12. stycznia 2016 r.

Działanie 1.5.

W ramach prac z zakresu działania 1.5. zrealizowano co następuje:

1. Stworzenie modelu numerycznego istniejącego układu odpylania pilarki formatowej.
2. Analiza danych niezbędnych do założenia warunków brzegowych wykorzystanych w symulacjach numerycznych.
3. Przygotowanie modelu numerycznego koleby dolnej oraz obudowy górnej układu odpylania do przeprowadzenia symulacji numerycznych.
4. Przeprowadzenie symulacji numerycznych istniejącego układu odpylania dla różnych warunków pracy pilarki.
5. Analiza otrzymanych wyników obliczeń numerycznych.

Działanie 1.6.

W ramach prac z zakresu działania 1.6. zrealizowano co następuje:

1. Przygotowano trzy warianty modeli numerycznych kształtu koleby dolnej oraz obudowy górnej układu odpylania.
2. Dla przygotowanych wariantów modeli numerycznych założono warunki brzegowe z uwzględnieniem danych pilarki i wyników badań eksperymentalnych.
3. Przeprowadzono symulacje numeryczne nowych wariantów koleby dolnej oraz obudowy górnej podczas operacji przecinania materiału i analizę ograniczeń technologiczno-konstrukcyjnych.
4. Dokonano analizy wyników obliczeń numerycznych wariantów kształtu koleby dolnej i obudowy górnej wraz z uwzględnieniem ograniczeń technologiczno-konstrukcyjnych.

Działanie 1.7. i Działania 1.8.1. - 1.8.2.

W ramach prac z zakresu działań 1.7. i 1.8.1. zrealizowano co następuje:

1. Przeprowadzono sprawdzające obliczenia numeryczne kształtu koleby dolnej dostarczonego przez firmę REMA S.A.

2. Wyniki obliczeń numerycznych dla przygotowanych na PG wariantów koleby dolnej z wynikami obliczeń numerycznych koleby dostarczonej przez firmę REMA S.A. oraz podjęto decyzję dotyczącą nowego kształtu koleby dolnej układu odpylania
3. Zaproponowano przygotowanie 2 nowych kształtów obudowy górnej w celu przeprowadzenia badań eksperymentalnych nowego układu odpylania.
4. Przedstawiono wstępny kształt układu odpylania pilarki formatowej.

1. OPIS MODELU NUMERYCZNEGO PILARKI Fx3 FIRMY REMA S.A.

DZIAŁANIE 1.5.

Pakiet ANSYS Fluent, jako oprogramowanie CFD składa się z następujących części:

- preprocesora Gambit, za pomocą którego możliwe jest utworzenie geometrii modelu, zdyskretyzowanie numeryczne modelu oraz przypisanie typu materiałów wykorzystywanych w konstrukcji oraz typu warunków brzegowych;
- procesora Fluent, który pozwala określić rodzaj materiałów danych elementów, warunki brzegowe i początkowe oraz wykonać obliczenia numeryczne;
- postprocesora Fluent, za pomocą którego możliwe jest przedstawienie uzyskanych wyników obliczeń pól temperatury, ciśnień, prędkości, koncentracji oraz umożliwia otrzymanie informacji na temat wartości pól temperatury, ciśnień, prędkości, koncentracji w każdym elemencie siatki numerycznej w postaci graficznej.

Najważniejszym i informującym o klasie pakietu jest moduł rozwiązujący. Dwa pozostałe moduły stanowią również użyteczną część pakietu, aczkolwiek są programami pomocniczymi. Ułatwiają one m.in. definiowanie problemu, numeryczną generację siatki modelu, szybkie zapoznanie się z najważniejszymi wynikami prowadzonych obliczeń.

Oprogramowanie ANSYS Fluent przy dyskretyzacji (podziale) obszaru obliczeniowego wykorzystuje siatki strukturalne oraz siatki niestructuralne. Dzięki temu przy dyskretyzacji obszaru obliczeniowego, możliwe jest utworzenie bardzo skomplikowanych geometrii urządzeń, czy ich elementów. Zastosowanie siatek niestructuralnych prowadzi do mniejszej liczby objętości skończonych, przy zachowaniu wymaganej dokładności obliczeń. Definiowana przestrzeń może zawierać dowolną liczbę wlotów i wylotów, może być zamknięta lub też zawierać ciała stałe przewodzące lub nie przewodzące ciepła. Na jej granicach można zadawać odpowiednie, dla rozpatrywanego problemu, warunki m.in. dotyczące temperatury czy strumienia ciepła. Istnieje możliwość założenia w obliczeniach dla pól prędkości oraz temperatury warunków zarówno symetrii, jak i okresowości.

Do obliczeń numerycznych procesów ciepłno-przepływowych występujących w rzeczywistym urządzeniu wykorzystano komercyjny pakiet obliczeniowy ANSYS Fluent w wersji 15. Przy rozwiązywaniu układu równań różniczkowych cząstkowych w formie całkowitej modeli fizycznych przepływu turbulentnego kod obliczeniowy stosuje metodę objętości skończonych oraz metodę iteracji z szybkim uzyskaniem zbieżności.

Składa się ona z następujących elementów:

- dyskretyzacja numeryczna skonstruowanej geometrii obszaru obliczeniowego na zbiór indywidualnych, skończonych objętości kontrolnych;
- całkowanie podstawowych równań mechaniki płynów w każdej objętości kontrolnej dla utworzenia równań algebraicznych wszystkich niewiadomych;
- rozwiązanie poszczególnych równań algebraicznych.

Równania podstawowe rozwiązywane są po kolei w następującej sekwencji: równanie zachowania masy, zachowania pędu i zachowania energii. Układ równań podstawowych daje jedną iterację lub krok rozwiązania.

Program ANSYS Fluent do obliczeń cieplno-przepływowych posiada kilka modeli turbulencji modelujących równanie zachowania pędu, z których najbardziej znanym jest model k-ε. Struktura oprogramowania pozwala na wprowadzanie modeli turbulencji nie będących w jego bibliotece. Oprócz rozwiązywania głównych wielkości jak pole temperatury i prędkości, istnieje możliwość jednoczesnego określenia innych wartości z odpowiednimi warunkami granicznymi.

W większości urządzeń przemysłowych lub ich elementach występują przepływy turbulenty, dla których prędkości przepływu są duże, a wartości liczb Reynoldsa charakteryzujących przepływ znajdują się w zakresie właściwym dla przepływów turbulentnych. Modelowanie przepływu w układzie odpylania pilarki formatowej wymaga rozwiązania układu równań zachowania masy, pędu i energii.

Podstawowe równania zachowania

Cechą charakterystyczną przepływu turbulentnego są przypadkowe, chaotyczne, nieregularne zmiany w czasie i przestrzeni prędkości i parametrów (ciśnienia, temperatury) cząstek płynu, z czym wiąże się bardziej intensywne przenoszenie pędu i energii niż przy przepływie laminarnym.

Dla homogenicznego przepływu płynu ściśliwego, modelowanie numeryczne opiera się na rozwiązaniu układu równań zachowania masy, pędu, energii, transportu związków chemicznych i reakcji chemicznych oraz równań stanu opisujących dynamikę reagującej mieszaniny w obszarze dwuwymiarowym i trójwymiarowym. W większości przypadków przepływy występujące w technice są przepływami turbulentnymi i z tego powodu równania zachowania muszą być uśrednione w czasie. W wyniku uśrednienia powstają dodatkowe człony wymagające zastosowania równań domknięcia przez wykorzystanie modeli turbulentnych.

Podstawowe równania zachowania przepływającego płynu opisane są następującymi zależnościami:

Równanie ciągłości strugi (zachowania masy)

Zgodnie z prawem zachowania masy w zamkniętym układzie fizycznym masa czynnika nie może ani powstawać, ani ulegać zanikowi. Założenie ciągłości płynu prowadzi do wniosku, że wypełnia on całkowicie przestrzeń objętą przepływem, czyli że nie występują tam przerwy, ani żadne inne nieciągłości (przepływ jednorodny). Na podstawie tych założeń można przeprowadzić bilans masy, w rezultacie którego otrzymamy równanie ciągłości przepływu:

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0, \quad i = x, y, z \quad (1)$$

gdzie:

- t - czas,
- ρ - gęstość płynu,
- u_i - składowa prędkości płynu w i-tym kierunku.

Równanie wektorowe bilansu pędu (zachowania pędu)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_j} + \frac{\partial \tau_{ij}^c}{\partial x_j} + \rho g_i + F_i \quad (2)$$

gdzie:

$-\frac{\partial p}{\partial x_j}$ - gradient ciśnienia,

τ_{ij}^c - całkowity tensor naprężeń lepkich,

ρg_i - siła ciężkości,

F_i - siła zewnętrzna oddziałująca na składniki w i-tym kierunku.

Całkowity tensor naprężeń lepkich składa się z molekularnych naprężeń lepkich i turbulentnych naprężeń lepkich, tzn.:

$$\tau_{ij}^c = \tau_{ij} + \overline{\rho u_i u_j} \quad (3)$$

Tensor naprężeń lepkich τ_{ij} wyrażony jest wzorem:

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \mu \frac{\partial u_m}{\partial x_m} \delta_{ij} \quad (4)$$

gdzie:

μ - lepkość molekularna płynu (drugi człon jest wynikiem deformacji objętości płynu),

δ_{ij} - delta Kroneckera.

Po podstawieniu do równania bilansu pędu równania opisującego tensor naprężeń otrzymujemy:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = & -\frac{\partial p}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \mu \frac{\partial u_m}{\partial x_m} \delta_{ij} \right] + \\ & + \rho g_i + F_i + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(-\overline{\rho u_i u_j} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

Równanie posiada takie same składniki jak równanie (2), przy czym prędkość oznacza teraz wartość uśrednioną a dodatkowy człon $(\overline{\rho u_i u_j})$ opisujący turbulentny transport pędu, nosi nazwę tensora naprężeń Reynoldsa.

Równanie bilansu energii (zachowania energii)

Modelowanie procesu wymiany ciepła w programie ANSYS Fluent, jest możliwe tylko, gdy włączymy do obliczeń równanie transportu energii. Równanie (6) składa się z poszczególnych członów opisujących transport ciepła w wyniku konwekcji, przewodnictwa cieplnego oraz dyfuzji składników mieszaniny, jak również generację ciepła na skutek dyssypacji energii kinetycznej przy

przepływie płynu lepkiego. Dodatkowy człon źródłowy S_h ujmuje objętościowe źródła ciepła (np. w wyniku reakcji chemicznej).

$$\frac{\partial(\rho h)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho h u_i) = \frac{\partial p}{\partial t} + u_i \frac{\partial p}{\partial x_i} - \frac{\partial}{\partial x_i} \left(k_{\text{eff}} \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} \sum_j h_j J_{ji} + \tau_{ij}^c \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + S_h \quad (6)$$

gdzie:

- k_{eff} - całkowita przewodność cieplna zawierająca przewodność molekularną i turbulentną,
- J_{ji} - współczynnik dyfuzji j' -tego składnika,
- S_h - człon źródłowy,
- h - entalpia właściwa mieszaniny.

Równanie stanu układu

Traktując płyn jako gaz idealny, równanie stanu posiada następującą postać:

$$p = \rho RT = \rho \tilde{R} T \sum_{i=1}^N \frac{m_i}{M_i} \quad (7)$$

gdzie:

- ρ - gęstość mieszaniny,
- R - indywidualna stała gazowa,
- T - temperatura bezwzględna,
- m_i - udział masowy i' -tego składnika mieszaniny,
- \tilde{R} - uniwersalna stała gazowa,
- M - masa molowa i' -tego składnika mieszaniny.

Przy obliczaniu przepływów nieściśliwych związków między prędkością a ciśnieniem jest silny. W takim przypadku korzystne jest zastosowanie metody SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equation) lub SIMPLEC (SIMPLE-Consistent) celem poprawienia szybkości zbieżności obliczeń i spełnienia równania zachowania masy.

W metodzie SIMPLE gradient ciśnienia występujący w równaniach zachowania pędu przedstawia się w postaci sumy dwóch składników: wartości tego gradientu dla poprzedniego kroku czasu τ i poprawki uwzględniającej zmianę wartości gradientu dla rozpatrywanego momentu czasu $\tau + 1$. Początkowo pole ciśnienia wyznaczane jest w przybliżeniu w celu obliczenia równań zachowania pędu aby otrzymać wstępny obraz pola prędkości. Następnie obliczane są poprawki ciśnienia i prędkości z wykorzystaniem równania zachowania masy. Po wyznaczeniu ciśnienia i składowych wektora prędkości można rozwiązać równanie zachowania energii korzystając już z klasycznych metod.

Metoda SIMPLEC nieznacznie różni się od metody SIMPLE. Różnicą jest wyrażenie stosowane we współczynniku korygującym przepływ. Metoda SIMPLEC jest stosowana, gdy korekta ciśnienie-prędkość sprawia największą trudność w uzyskaniu zbieżności rozwiązania.

Dokładność i zbieżność

Dyskretyzacja zmiennych przestrzennych i czasu wnosi niedokładności do modelu matematycznego rozpatrywanego procesu. Wiadomo też, że istnieje kilka przyczyn niedokładności rozwiązania numerycznego. Pierwszą z nich jest dyskretyzacja równań różniczkowych, która prowadzi do tzw. błędu metody. Oszacowanie tego błędu jest bardzo trudne, ale w niektórych przypadkach możliwe. Jeżeli metoda spełnia postulat zgodności, to wielkość błędu maleje ze zmniejszaniem kroku przestrzennego lub czasowego. Dlatego rząd tego błędu często szacuje się w ten sposób, że wykonuje się obliczenia przy różnych długościach kroku i porównuje wyniki. Z kolei zmniejszenie kroku siatki prowadzi zwykle do większej liczby niewiadomych, a zatem prowadzi do zmniejszenia efektywności metody. Kolejną przyczyną niedokładności metody jest niedokładność operacji arytmetycznych, wykonywanych przez komputer, tzw. błędy zaokrągleń. W rozwiązaniach numerycznych mogą pojawić się błędy z innych przyczyn, do których można zaliczyć błąd modelowania.

Błąd metody numerycznej może narastać w kolejnych krokach obliczeń, także z przyczyn związanych z samą strukturą schematu różnicowego. Taka właściwość schematu różnicowego nazywa się niestabilnością metody. Natomiast gdy niewielkie zaburzenia lub wystąpienie błędu numerycznego na dowolnym etapie obliczeń przenosi się dalej z malejącą amplitudą to metoda numeryczna jest stabilna.

Każda metoda numeryczna powinna być przynajmniej warunkowo stabilna, tzn. stabilna dla pewnego zakresu parametrów takich jak np.: krok czasu lub siatki przestrzennej. Najczęściej ze stabilności metody wynika jej zbieżność.

Obecnie, nie ma uniwersalnego pomiaru do oceny zbieżności. Jednakże, w wielu problemach praktycznych, kryterium zbieżności może być układ reszt malejących rzędu 10^{-3} dla rozwiązywanych równań zachowania, a dla równania zachowania energii kryterium zbieżności wynosi 10^{-6} .

W przypadku, gdy błędy dyskretyzacji zmniejszają się wraz z postępowaniem zagęszczania siatki, schemat dyskretyzacji jest stabilny. Gdy błąd numeryczny ε_p w komórce maleje w obliczeniu z kroku n do $n + 1$, jak poniżej:

$$\left| \frac{\varepsilon_p^{n+1}}{\varepsilon_p^n} \right| \leq 1 \quad (8)$$

to rozwiązanie numeryczne jest stabilne. Dalquist udowodnił, że liniowy schemat wielokrokowy jest zbieżny, wtedy i tylko wtedy gdy jest stabilny.

Modelowanie turbulencji w przepływach

Podstawowe równania zachowania dla postaci homogenicznego przepływu płynu newtonowskiego domykane są równaniami różniczkowymi cząstkowymi. Sytuacja taka jest poprawna przy rozwiązywaniu numerycznym przepływu laminarnego. W przypadku występowania przepływu turbulentnego, częściej występującego w technice, przepływ homogenicznego płynu newtonowskiego jest scharakteryzowany jako chaotyczny ruch, w którym wszystkie charakteryzujące ten ruch parametry wykazują zmienność w czasie i przestrzeni. Ruch turbulentny związany jest z kaskadowym przekazywaniem energii w szerokim zakresie długości skal turbulencji

od wirów o wymiarach największych (anizotropowe największe skale turbulencji) do wirów o wymiarach najmniejszych (izotropowe skale turbulencji Kołmogorowa).

Podstawową cechą ruchu turbulentnego jest jego zanikanie w czasie a inną, równie ważną właściwością jest to, że większe wiry turbulentne rozpadają się kolejno na mniejsze, tak że po kolejnych rozpadach następuje dyssypacja energii.

Warunki jednoznaczności rozwiązywania równań zjawisk ciepłno-przepływowych obejmują:

- warunki geometryczne, określające kształty i wymiary rozpatrywanego ciała;
- warunki fizyczne, określające wartości parametrów termofizycznych płynu (gęstość, lepkość, współczynnik przewodzenia ciepła, ciepło właściwe, itp.);
- wydajności wewnętrznych źródeł ciepła w płynie (ciepło tarcia, ciepło reakcji chemicznych, itp.);
- warunki brzegowe, prędkość płynu równa zero na powierzchni ciała stałego, brak gradientu prędkości w kierunku prostopadłym do powierzchni poza warstwą przyścienną, warunki brzegowe I, II lub III rodzaju wymiany ciepła na powierzchni płynu i ciała stałego;
- warunki początkowe w postaci początkowego rozkładu prędkości i temperatury płynu w początkowej chwili rozpatrywania zjawiska;
- model turbulencji odpowiadający rozpatrywanemu zjawisku.

Rozwiązanie równań dla przepływu turbulentnego płynu nieściśliwego wymaga podania uzupełniających zależności, opisujących składowe tensora reynoldsowskich naprężeń turbulentnych. Zestaw tych zależności, zamykających układ równań Reynoldsa, nazywa się domykającym modelem turbulencji.

Cechą charakterystyczną modeli turbulencji jest podobieństwo sposobu opisu równań Reynoldsa i równań Naviera-Stokesa. Zostało ono zaproponowane po raz pierwszy przez Boussinesq'a w 1877 r., a opierało się na zależności:

$$-\rho \overline{u_i u_j} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \left(\rho k + \mu_t \frac{\partial u_m}{\partial x_m} \right) \delta_{ij} \quad (9)$$

w którym μ_t jest lepkością turbulentną, k jest energią kinetyczną turbulencji definiowaną jako:

$$k = \frac{1}{2} \sum_i \overline{u_i^2} \quad (10)$$

Podobnie modelowany jest transport ciepła, masy i innych wielkości skalarnych. Zakłada się, że są one proporcjonalne do gradientu średniej wartości przenoszonej wielkości.

Do najczęściej stosowanych, stosunkowo złożonych, dwurównaniowych modeli turbulencji należy model k-ε, w którym wykorzystuje się dwa równania wyprowadzone z równania Naviera-Stokesa:

- a) równanie energii kinetycznej turbulencji k,
- b) równanie szybkości dyssypacji energii kinetycznej turbulencji ε.

W równaniach tych występują stałe, wyznaczone na podstawie badań eksperymentalnych.

Model standardowy k-ε

Model ten opiera się głównie na mechanizmach wpływających na turbulentną energię kinetyczną i stopień jej rozproszenia. Model k-ε został zaproponowany przez Laudera i Spaldinga w celu domknięcia uśrednionych czasowo równań różniczkowych cząstkowych i jest obecnie najbardziej rozpowszechnionym. Chwilowa energia kinetyczna $K(t)$ ruchu turbulentnego jest sumą średniej energii kinetycznej:

$$K = \frac{1}{2}(u^2 + v^2 + w^2) \quad (9)$$

i turbulentnej energii kinetycznej:

$$k = \frac{1}{2}(\langle u'^2 \rangle + \langle v'^2 \rangle + \langle w'^2 \rangle) \quad (10)$$

gdzie: $K(t) = K + k$.

Aby w prawidłowy sposób zapisać równania wprowadzone są tensory deformacji ϵ_{ij} oraz naprężeń τ_{ij} . Rozkład współczynnika deformacji elementu płynu w przepływie turbulentnym na średni i zmienny pozwala na zapis macierzowy elementów. Ogólnie energia kinetyczna jest przenoszona z płynu do większych wirów, stamtąd do mniejszych, a w nich dopiero jest rozpraszana ze współczynnikiem dyssypacji ε.

Model k-ε jest modelem półempirycznym, równania modelu otrzymuje się z równań Naviera-Stokesa dla prędkości średniej i różnych stałych. Opiera się na założeniu, że przepływ jest całkowicie turbulentny i wpływ lepkości molekularnej jest pomijalny i obliczana jest tylko lepkość turbulentna μ_t z równania:

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\epsilon} \quad (11)$$

gdzie:

C_μ - bezwymiarowa stała otrzymana empirycznie, $C_\mu = 0,09$.

W modelu standardowym k-ε, energia kinetyczna turbulencji k i prędkość dyssypacji energii kinetycznej turbulencji ε z równania (11) obliczane są z następujących równań transportu:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + \tau_{ij} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \beta g_i \frac{\mu_t}{Pr_t} \frac{\partial T}{\partial x_i} - \rho \epsilon \quad (12)$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} \left(\tau_{ij} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + (1 - C_{3\varepsilon}) \beta g_i \frac{\mu_t}{Pr_t} \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (13)$$

gdzie:

β - współczynnik rozszerzalności cieplnej,

Pr_t - turbulenta liczba Prandtla przy danej wartości temperatury lub entalpii.

Stałe empiryczne $C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}, \sigma_k, \sigma_\varepsilon, Pr_t$ występujące w tym modelu mają wartości:

$$C_{1\varepsilon} = 1,44, C_{2\varepsilon} = 1,92, \sigma_k = 1,0, \sigma_\varepsilon = 1,3, Pr_t = 0,85.$$

Stała modelu $C_{3\varepsilon}$ uwzględniająca siły ciężkości jest obliczana z następującego wzoru:

$$C_{3\varepsilon} = \tanh \left| \frac{v}{u} \right| \quad (14)$$

gdzie:

v - składowa prędkości równoległa do wektora siły ciężkości,

u - składowa prędkości prostopadła do wektora siły ciężkości.

$$C_{3\varepsilon} = \begin{cases} 0, & \text{gdy przepływ jest prostopadły do wektora siły ciężkości,} \\ 1, & \text{gdy przepływ jest równoległy do wektora siły ciężkości} \end{cases}$$

Wartości tych stałych zostały wyznaczone eksperymentalnie dla podstawowych turbulentnych, homogenicznych przepływów ścinających zawierających izotropową siatkę turbulencji.

Oprócz wspomnianego modelu turbulencji k- ε pakiet ANSYS Fluent pozwala modelować różnego rodzaju przepływy za pomocą innych modeli: laminar flow, , LES (Large Eddy Simulation) czy RSM (Reynolds Stress Model).

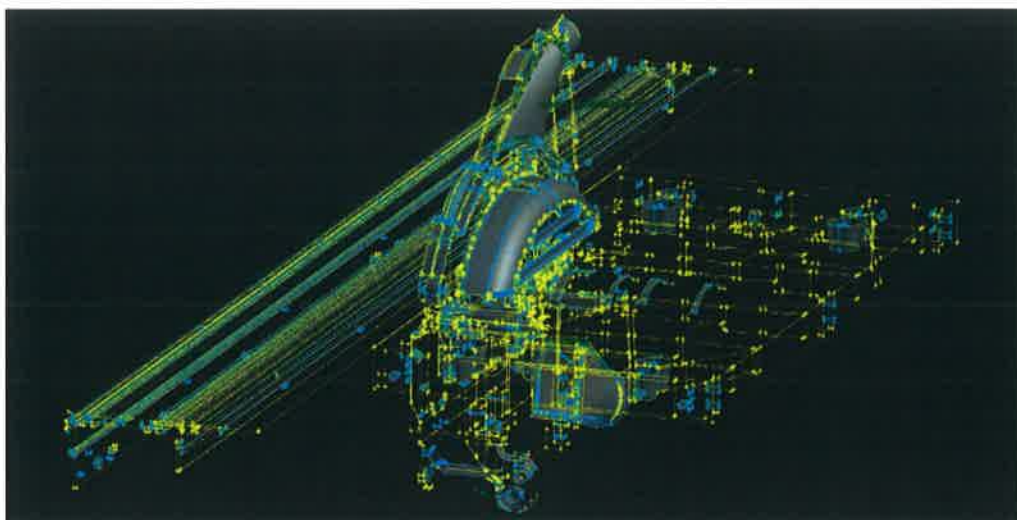
2. MODEL NUMERYCZNY UKŁADU ODPYLANIA PILARKI FORMATOWEJ

DZIAŁANIE 1.5.

Połączenie możliwości generowania siatki strukturalnej i siatki niestructuralnej wraz z połączeniem bloków różnych typów siatek, daje dużą elastyczność przy przedstawieniu bardzo złożonych geometrii. Trójwymiarowy model numeryczny układu odpylania pilarki formatowej Fx3 (rys. 2.1) opiera się o utworzone objętości koleby dolnej i obudowy górnej. Objętości koleby dolnej oraz obudowy górnej zawierają w sobie objętości wszystkich elementów wchodzących w skład układu przycinania (rys. 2.2). Całość utworzona została w programie ANSYS Gambit (preprocesor), będącym częścią pakietu ANSYS Fluent.



Rys. 2.1. Widok pilarki formatowej Fx3 produkowanej przez firmę REMA S.A., [1]



Rys. 2.2. Widok modelu pilarki odtworzony w programie ANSYS Gambit (preprocesorze)
(opracowanie własne)

Dobra siatka obliczeniowa jest podstawą dobrych wyników. Dlatego utworzoną siatkę sprawdzono w programie TGrid. Umożliwia on zaimportowanie siatki stworzonej w preprocesorze ANSYS Gmbit i zbadanie jej jakości. We wszystkich przypadkach jakość siatki była na akceptowalnym, dobrym poziomie.

Do utworzenia siatki została wykorzystana niestrukturalna skończona siatka objętościowa oraz powierzchniowa umożliwiając podzielenie bardzo skomplikowanej geometrii obszaru przepływu na pojedyncze elementy o małej wielkości. Podejście takie jest bardzo istotne dla uzyskania zbieżności i dokładności rozwiązania.

Generując siatkę numeryczną należy przede wszystkim zadbać o jej jakość oraz o to, aby w najbardziej charakterystycznych miejscach modelu była możliwie gęstsza. Są to miejsca, gdzie występują nagłe zmiany kształtu lub bardziej złożone struktury przepływu niż w pozostałych fragmentach. W celu dokładnego odwzorowania przez siatkę geometrii układu odpylania dla powierzchni wybrano typ elementów Tri - siatka tylko o elementach trójkątnych oraz typ schematów Pave - siatka jest siatką niestrukturalną. Następnym krokiem była dyskretyzacja objętości układu. Ze względu na kształt i topologiczną charakterystykę objętości wybrano elementy typu Tet/Hybrid - siatka składa się głównie z elementów czworościennych, ale może również zawierać elementy sześciennie, klinowe lub o kształcie piramidy oraz typ schematów TGrid - siatka składa się głównie z elementów czworościennych ale może również zawierać elementy sześciocienne, piramidy oraz kliny.

Warunki brzegowe

Program ANSYS Fluent umożliwia przeprowadzenie następujących czynności:

- określenie rodzajów materiałów;
- określenie warunków brzegowych;
- przeprowadzenie obliczeń.

Określenie warunków brzegowych w programie ANSYS Gambit polegało na określeniu własności poszczególnych elementów modelu. W rozpatrywanym przypadku należało określić: powierzchnie/krawędzie wlotowe, powierzchnie/krawędzie wylotowe, własności ścianek oraz wartości prędkości obrotowej piły i podcinaka. Określenie rodzaju powierzchni wlotowej polegało na zdefiniowaniu, jakim parametrem opisujemy czynnik: czy jest to ciśnienie (pressure inlet/outlet), czy też jest to prędkość (velocity inlet/outlet).

W opisywanym przypadku zadano warunek brzegowy typu pressure inlet w miejscach, gdzie w układzie jest wlot powietrza oraz pressure outlet w miejscach gdzie w układzie jest wylot czynnika. Dzięki temu można przeanalizować przepływ czynnika, w kolebie dolnej i obudowie górnej, zabierającego wióry z procesu.

Warunek brzegowy pressure inlet umożliwia zdefiniowanie ciśnienia całkowitego i temperatury całkowitej (obserwowanych w punktach spiętrzenia) oraz innych wielkości skalarnych na wlocie (np. temperatura). Ciśnienie zdefiniowane na brzegu 'pressure inlet' jest ciśnieniem względnym w odniesieniu do ciśnienia odniesienia (zdefiniowanego w operating conditions). Istnieje możliwość zdefiniowania kierunku przepływu. Standardowo jednak kierunek przepływu

zdefiniowany jest jako normalny do brzegu. Jeśli przepływ jest naddźwiękowy, istnieje konieczność podania również ciśnienia statycznego (Supersonic/Initial Gauge Pressure). W przypadku przepływu poddźwiękowego informacja o ciśnieniu statycznym jest zaniechana przez program. Ciśnienie statyczne jest brane pod uwagę przy inicjalizacji obliczeń, dlatego również w przypadku przepływów poddźwiękowych warto podać realną wartość tego ciśnienia celem przyspieszenia zbieżności procesu iteracyjnego.

Informacje o prędkości płynu, wprowadzane jako warunki brzegowe na wlocie, to:

- rodzaj układu odniesienia,
- wielkość prędkości i kierunek lub prędkość elementów,
- ciśnienie statyczne,
- temperatura,
- ciśnienie statyczne na wlocie,
- parametry turbulencji,
- chemiczne właściwości płynu.

Natomiast warunek brzegowy pressure outlet, w przypadku przepływu poddźwiękowego, pozwala zdefiniować ciśnienie statyczne na wylocie z obszaru obliczeniowego. Jeżeli przepływ jest naddźwiękowy to ciśnienie na wylocie jest ekstrapolowane. Ekstrapolacja polega na oszacowaniu nieznanego wielkości (znajdującej się poza obszarem obliczeniowym lub na jego granicy), w tym wypadku ciśnienia, na podstawie znanego rozwiązania z obszaru obliczeniowego. Składowe wektora prędkości oraz wszystkie pozostałe wielkości (temperatura, wielkości turbulentne) są ekstrapolowane, podobnie jak ciśnienie w przypadku płynu ściśliwego. W przypadku zaistnienia przepływu wstecznego (do ośrodka obszaru obliczeniowego) na fragmencie lub na całości brzegu 'pressure outlet', istnieje konieczność zdefiniowania wielkości skalarnych tj. ciśnienie, temperatura, wielkości turbulentne itd. Oznacza to, że w przypadku wystąpienia przepływu wstecznego na fragmencie lub całości brzegu wlotowego, warunek 'pressure outlet' staje się niejako warunkiem 'pressure inlet'. Zdeklarowane ciśnienie staje się więc wtedy ciśnieniem całkowitym. Użycie tego warunku brzegowego zamiast warunku 'outflow' często skutkuje lepszą zbieżnością, jeśli podczas iteracji występuje przepływ wsteczny i przyjęto realne wartości dla temperatury czy innych wielkości skalarnych.

Informacje o ciśnieniu, wprowadzane jako warunki brzegowe na wylocie, to:

- ciśnienie statyczne;
- warunki przepływu wstecznego (backflow),
- całkowita temperatura (dla obliczeń energetycznych),
- metoda opisu kierunku wstecznego,
- parametry turbulencji (dla obliczeń turbulentnych).

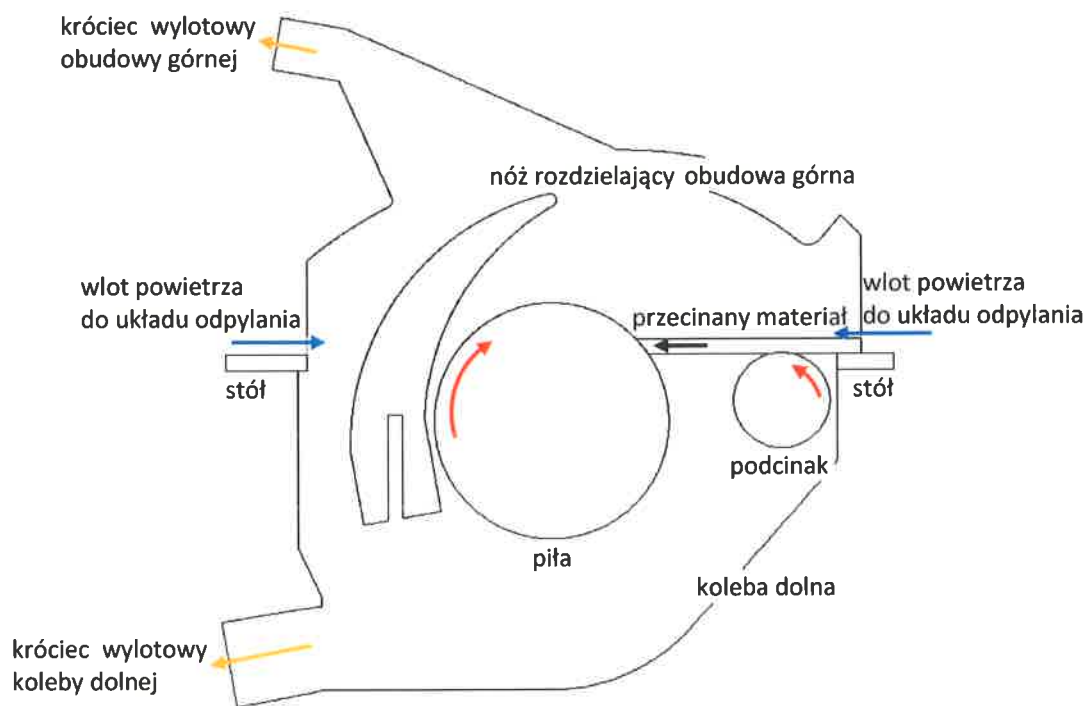
Określenia wymagały także pozostałe powierzchnie składające się na analizowany układ. Ze względu na uproszczenie polegające na braku wymiany ciepła z otoczeniem, wszystkie pozostałe powierzchnie zewnętrzne zostały opisane jako element typu WALL - jest to najprostszy typ powierzchni nieprzepuszczającej czynnika. Następnie określono czynnik wewnątrz badanych objętości/powierzchni - płyn (FLUID) oraz materiał piły, przecinaka i drewna - ciało stałe (SOLID).

Przygotowanie obliczeń w programie ANSYS Fluent można przedstawić w formie następujących kroków:

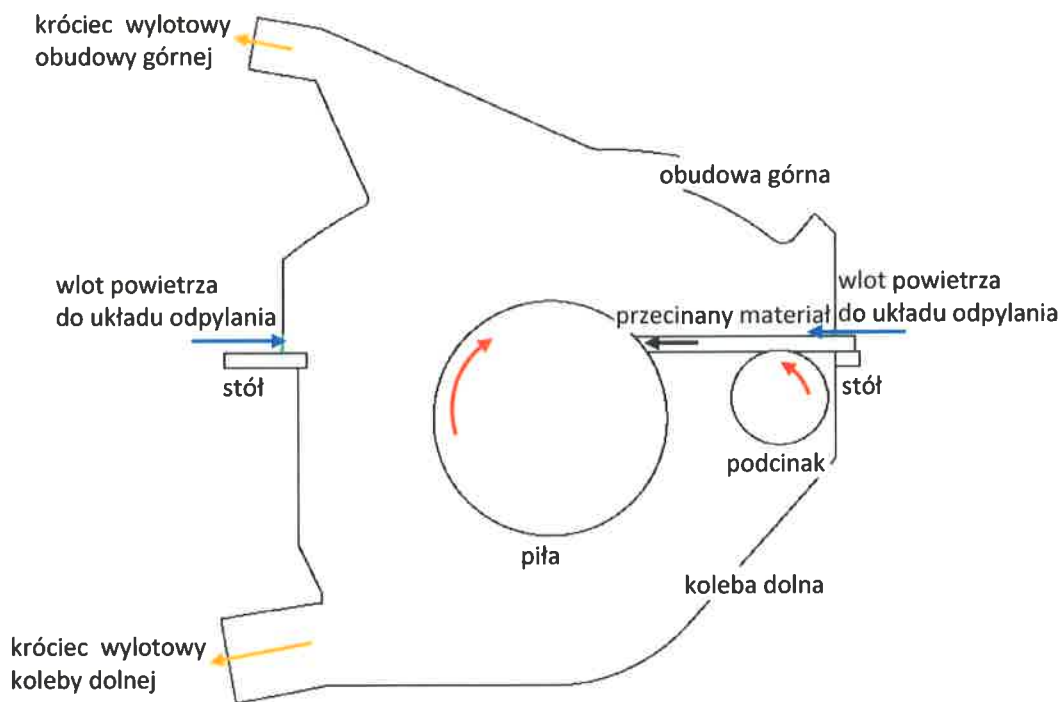
- 1) import geometrii pochodzącej z programu ANSYS Gambit;
- 2) przeskalowanie jednostek geometrii - jednostkami domyślnymi w programie ANSYS Fluent są jednostki układu SI;
- 3) definiowanie modelu obliczeniowego;
- 4) definiowanie materiałów w modelu;
- 5) definiowanie warunków zewnętrznych;
- 6) definiowanie warunków brzegowych;
- 7) określenie sposobu monitorowania przebiegu procesu iteracyjnego (np. kreślenie wykresu procesu zbieżności i wyświetlanie wartości w oknie dialogowym);
- 8) przeprowadzenie obliczeń oraz kontrola zbieżności rozwiązań.

Metoda Objętości Skończonych i schemat „wstecz” pierwszego rzędu zostały wykorzystane przy przekształcaniu równań różniczkowych cząstkowych w równania algebraiczne rozwiązywane iteracyjnie. Do korekty ciśnienie-prędkość zastosowano metodę SIMPLE, podczas gdy kontrola współczynników podrelaksacyjnych została wykorzystana do uaktualniania obliczonych zmiennych podczas iteracji.

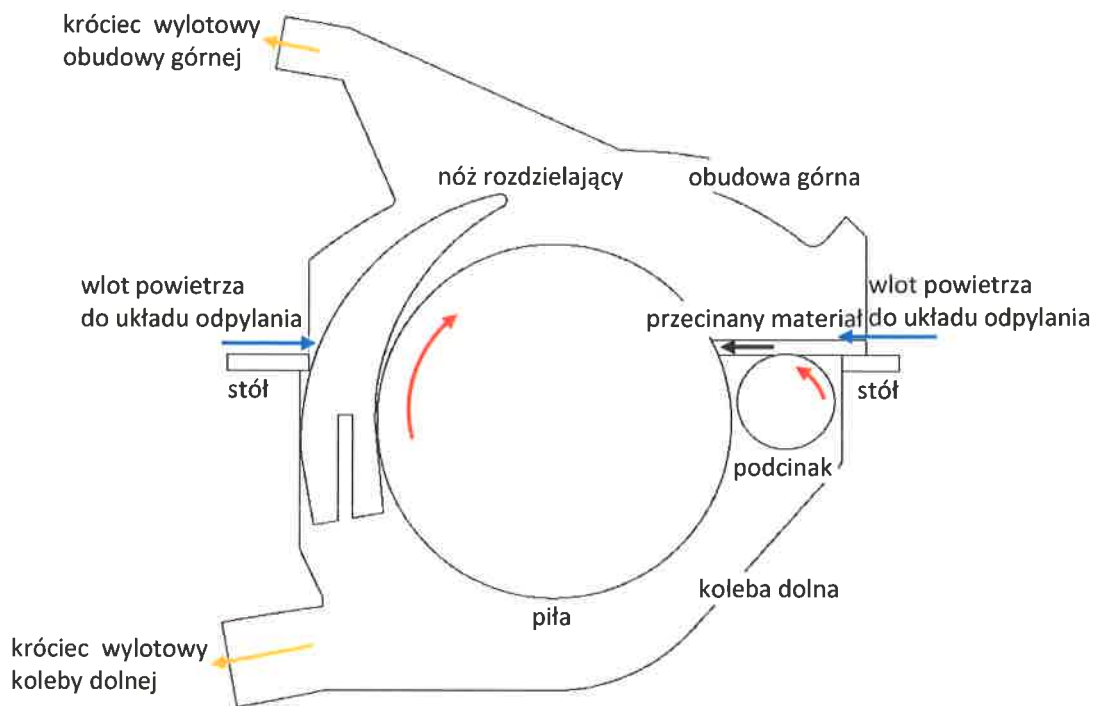
Dla przeprowadzenia obliczeń numerycznych dla stanu bazowego stworzono dwuwymiarowe (2D) modele układu odpylania pilarki, które przedstawiono na rys. 2.3 – 2.6. Dla tych modeli ilość elementów (komórek) niestrukturalnych wynosi ok. 1 892 600. W wybranych przypadkach analizowano przepływ powietrza w układzie odpylania bez uwzględnienia występowania przecinanego materiału.



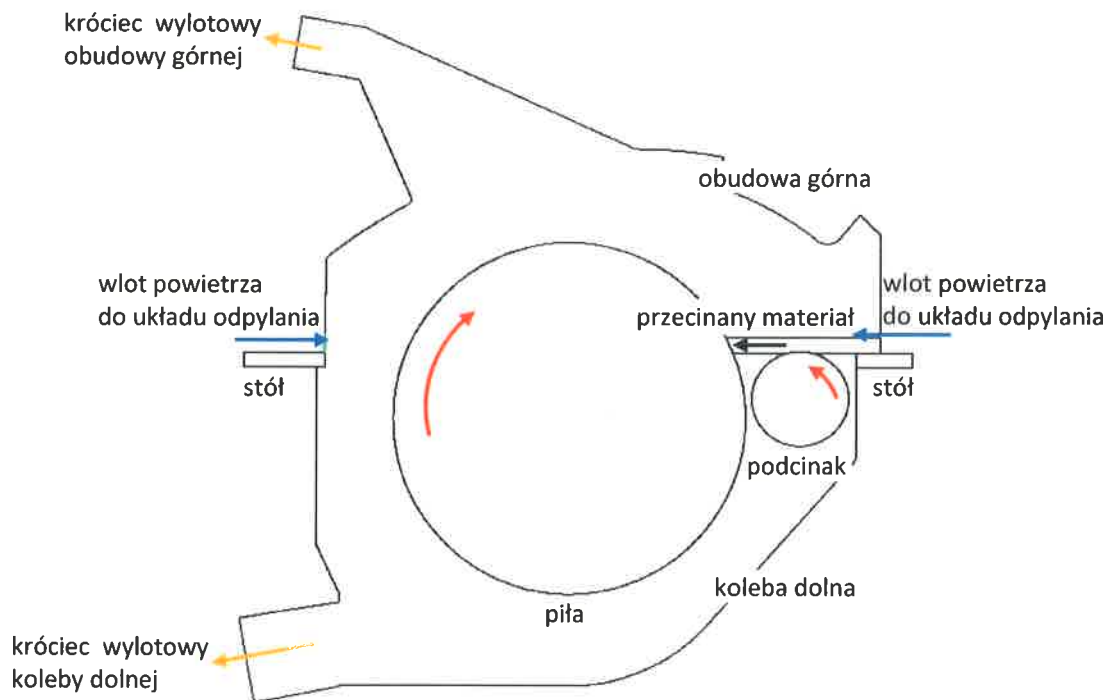
Rys. 2.3. Przygotowany model numeryczny układu odpylania pilarki formatowej wraz z nożem rozdzielającym i warunkami brzegowymi (stan bazowy - średnica piły \varnothing 300 mm) (opracowanie własne)



Rys. 2.4. Przygotowany model numeryczny układu odpylania pilarki formatowej bez noża rozdzielającego i z warunkami brzegowymi (stan bazowy - średnica piły \varnothing 300 mm) (opracowanie własne)



Rys. 2.5. Przygotowany model numeryczny układu odpylania pilarki formatowej wraz z nożem rozdzielającym i warunkami brzegowymi (stan bazowy - średnica piły \varnothing 450 mm) (opracowanie własne)



Rys. 2.6. Przygotowany model numeryczny układu odpylania pilarki formatowej bez noża rozdzielającego i z warunkami brzegowymi (stan bazowy - średnica piły \varnothing 450 mm) (opracowanie własne)

Model turbulencji k-ε dla przepływu pozostaje punktem wyjściowym, szczególnie w obliczeniach inżynierskich. Został on sprawdzony i na tej podstawie jest wystarczającym i efektywnym modelem dla większości zagadnień obliczeń inżynierskich.

Do przeprowadzenia obliczeń numerycznych należało zadać dane materiały takie jak:

- stal,
- drewno.

Dla każdego z wariantów kształtu koleby dolnej i komory górnej, średnicy piły oraz prędkości obrotowej piły i podcinaka dane zostały zdefiniowane w programie ANSYS Fluent przy określaniu warunków brzegowych.

Wartości zadawane i obliczane

Obliczenia wykonano dla następujących wartości zadanych warunków brzegowych zamieszczonych w poniższej tabeli.

Tab. 2.1. Warunki brzegowe przyjęte do symulacji numerycznych układu odpylania pilarki.

L.p.	Ciśnienie otoczenia [Pa]	Podciśnienie w króćcu dolnym [Pa]	Podciśnienie w króćcu górnym [Pa]	Prędkość obrotowa piły [1/min]	Prędkość obrotowa podcinaka [1/min]
piła Ø 300 mm					
1.	101 130	- 400	- 200	3 500	8 500
2.	101 130	- 400	- 400	3 500	8 500
3.	101 130	- 1 500	- 1 500	3 500	8 500
4.	101 130	- 400	- 200	6 000	8 500
5.	101 130	- 400	- 400	6 000	8 500
6.	101 130	- 1 500	- 1 500	6 000	8 500
piła Ø 450 mm					
7.	101 130	- 400	- 200	3 500	8 500
8.	101 130	- 400	- 400	3 500	8 500
9.	101 130	- 1 500	- 1 500	3 500	8 500

Wykonano szereg symulacji komputerowych. Każda symulacja została wykonana przy różnych warunkach brzegowych. Różnice dotyczyły wartości prędkości obrotowej piły, podciśnienia w króćcach wylotowych oraz średnicy piły, które zostały przedstawione wcześniej.

Wartości podciśnienia w króćcach wylotowych z pilarki założono na podstawie wyników pomiarów eksperymentalnych (200 Pa w króćcu obudowy górnej i 400 Pa w króćcu koleby dolnej). Maksymalną wartość podciśnienia w obu króćcach tj. 1500 Pa przyjęto zgodnie z informacjami podanymi przez Producenta pilarki formatowej i z danymi dostępnymi w literaturze [1, 5]. Wykonano również symulacje przepływu powietrza dla podciśnienia w obu króćcach na poziomie 400 Pa.

Do symulacji przepływu turbulentnego zastosowano standardowy model turbulencji k-ε (standard k-ε) oraz siatkę całego układu odpylania wraz z przecinanym materiałem oraz z/bez noża rozdzielającego.

Obliczenia dla każdego przypadku zostały przeprowadzone do momentu, gdy wartości rozwiązań reszt równań zachowania (tzw. residuów) ustabilizowały się w wąskim przedziale zmienności na poziomie 10^{-4} .

Dla każdego przeprowadzonego przypadku modelowania zostaną przedstawione wyniki obliczeniowe programu ANSYS Fluent w formie graficznej dla pola wektorów prędkości i ew. pola linii przepływu.

3. OBLICZENIA NUMERYCZNE I ANALIZA WYNIKÓW

DZIAŁANIE 1.5.

Poniżej zostaną przedstawione wyniki obliczeń numerycznych przepływu powietrza przez układ odpylania dla różnych warunków brzegowych występujących w króćcach koleby dolnej i obudowy górnej.

3.1. Przypadek 1.

Na rys. 3.1 przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych pola wektorów prędkości układu odpylania pilarki formatowej dla następujących warunków brzegowych:

- podciśnienie w króćcu wylotowym obudowy górnej – 200 Pa,
- podciśnienie w króćcu wylotowym koleby dolnej – 400 Pa,
- średnica piły \varnothing 300 mm,
- prędkość obrotowa piły 3 500 1/min,
- prędkość obrotowa podcinaka 8 500 1/min.

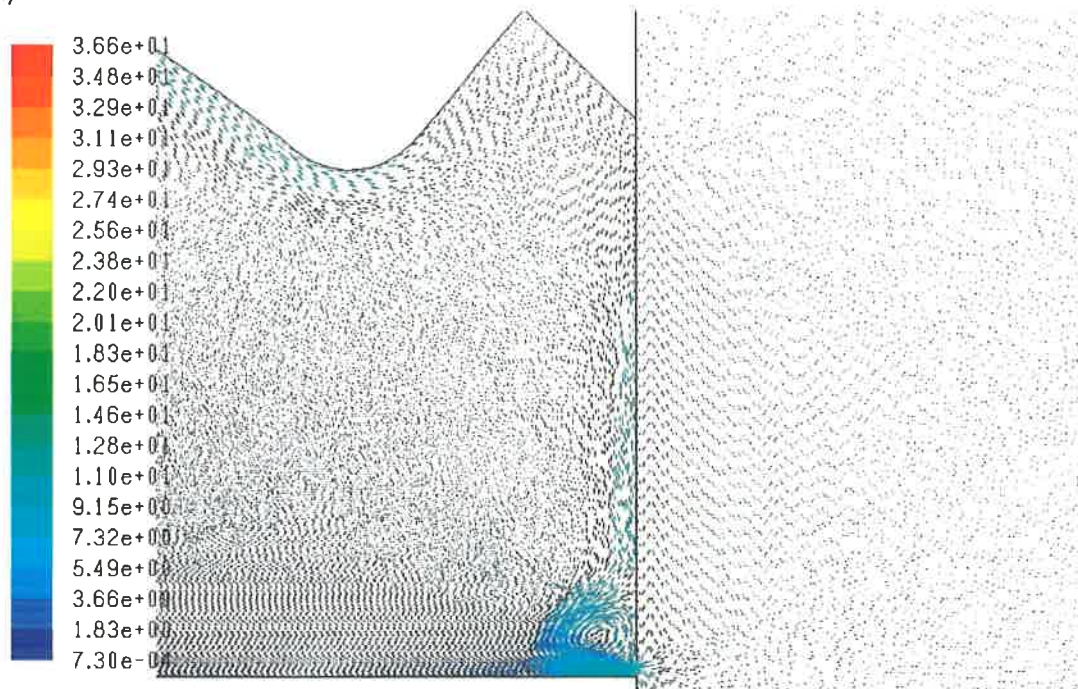


Rys. 3.1. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą \varnothing 300 mm przy pracy bez noża rozdzielającego i z przecinanym materiałem (opracowanie własne)

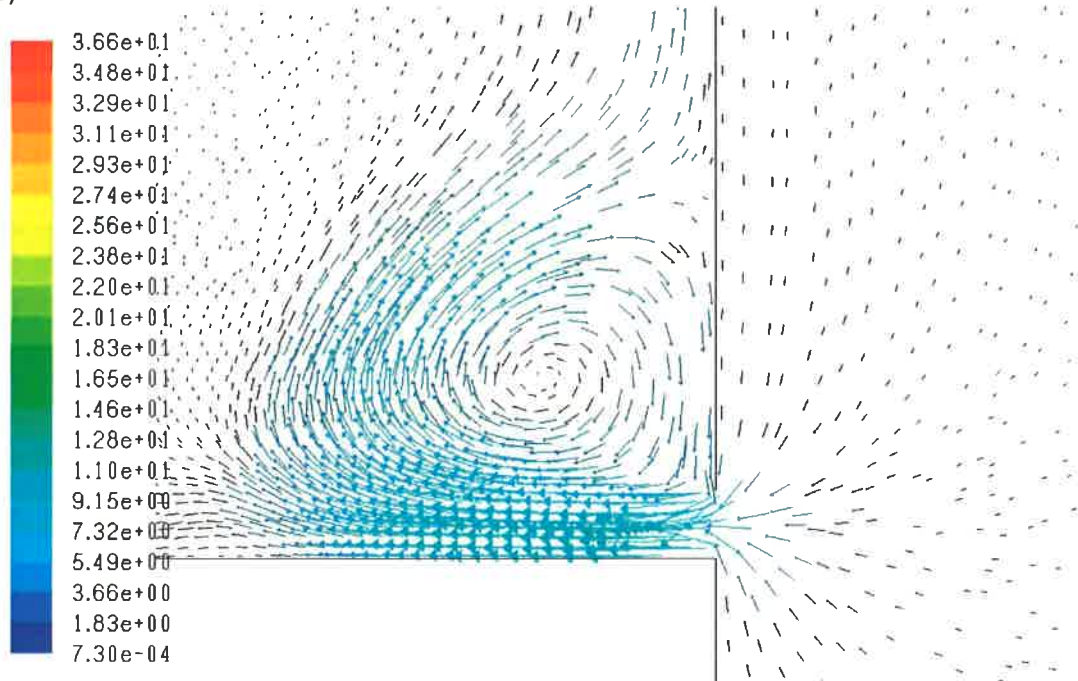
Na podstawie otrzymanych wyników obliczeń można zauważyć, że występuje silne oddziaływanie obracającej się piły na przepływ powietrza w górnej obudowie. Oddziaływanie to wpływa na przepływ medium w przedniej części obudowy górnej, rys. 3.2, powodując powstanie

strefy zawirowania. Z kolei przepływające powietrze w dolnej części układu odpylania – kolebie dolnej – jest pod działaniem obracających się odpowiednio piły i podcinaka. Generuje to występowanie dwóch stref o różnych kierunkach przepływu powietrza. W tylnej części obudowy górnej powietrze wpływając do układu odpylania rozdzielane jest na dwa strumienie – pierwszy kierowany do górnego króćca wylotowego oraz drugi kierowany do dolnego króćca wylotowego.

a)



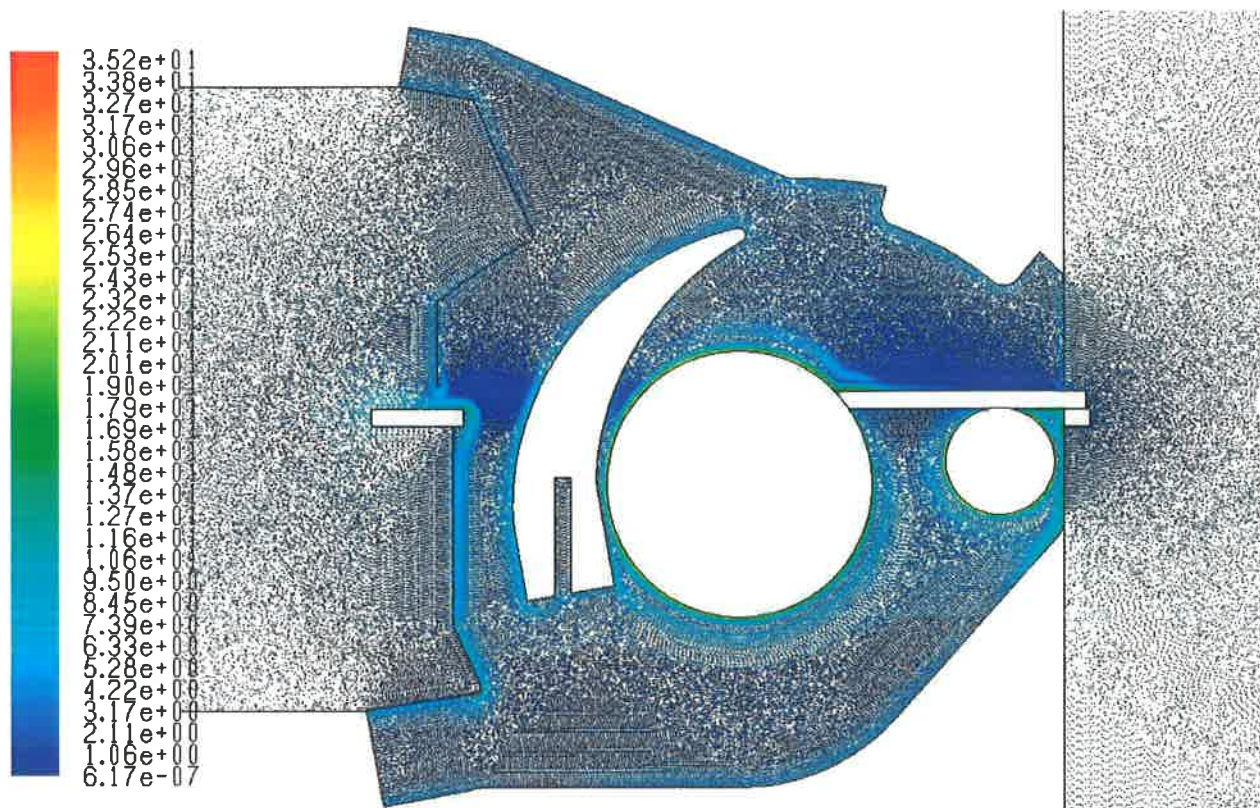
b)



Rys. 3.2. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą $\varnothing 300$ mm:
a) w górnej części obudowy górnej, b) z przodu obudowy górnej (opracowanie własne)

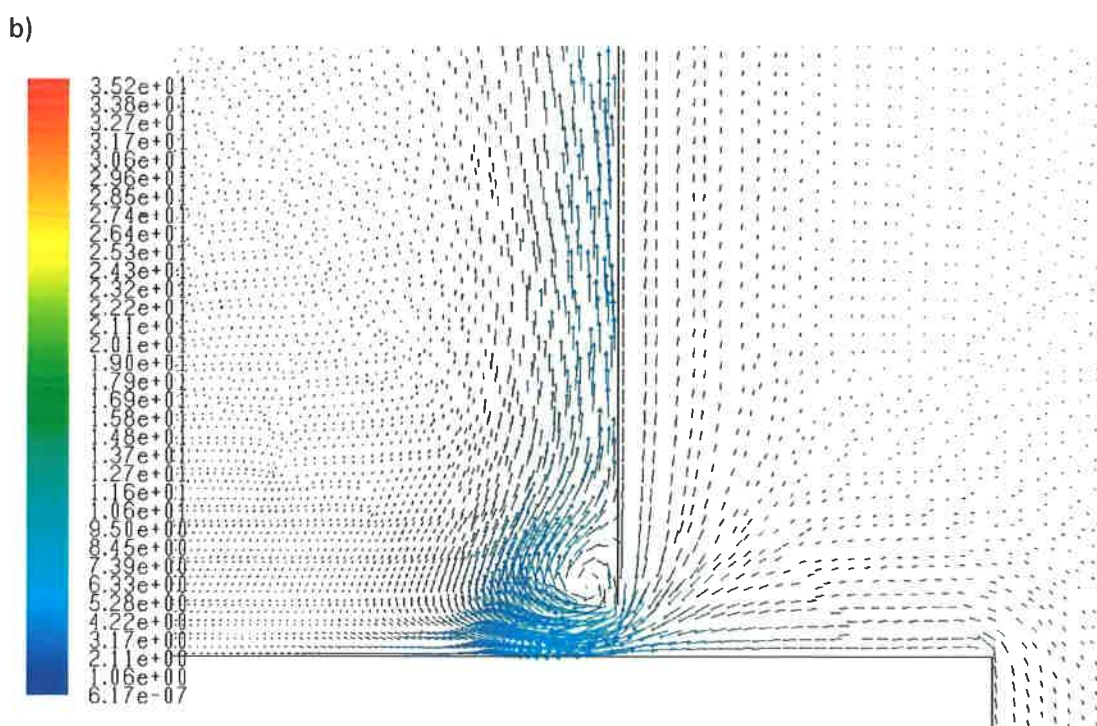
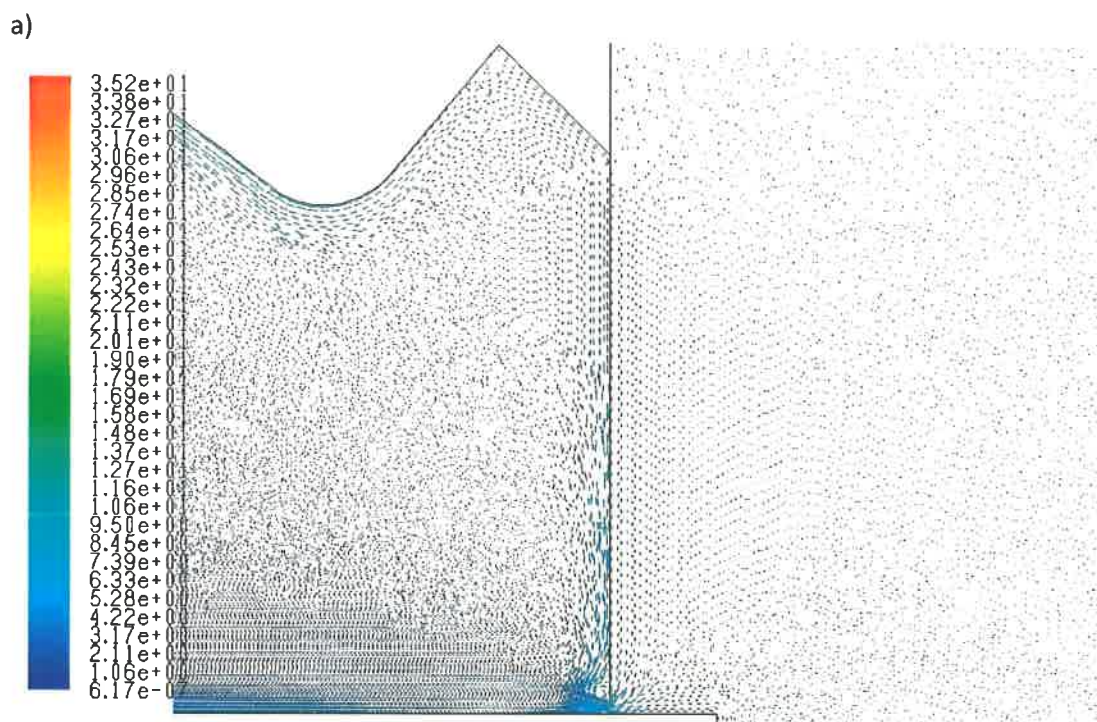
Dla tego przypadku następuje zasysanie powietrza z przodu obudowy górnej z zewnątrz (z otoczenia) do środka, (kierunek przepływu powietrza widoczny jest na rys. 3.2b), co wskazuje na występujące tam podciśnienie. Jest to zgodne z wynikami wcześniejszych badań eksperymentalnych.

Na rys. 3.3 przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych pola wektorów prędkości układu odpylania pilarki z nożem rozdzielającym.



Rys. 3.3. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą $\varnothing 300$ mm przy pracy z nożem rozdzielającym i przecinanym materiałem (opracowanie własne)

Na rys. 3.3. widać, że występowanie noża wpływa na powstanie dodatkowej strefy zawirowania w obszarze noża, w dolnej jego części. Podobnie jak na rys. 3.2. można zauważyć oddziaływanie obracającej się piły na wpływające do przedniej części obudowy górnej powietrze, rys. 3.4. Strefa zawirowania jest już mniejsza. Jest to wynikiem występowania noża rozdzielającego, który stanowi przeszkodę, tzw. ciało nie opływowe, zmniejszając oddziaływanie obracającej się piły na wpływające medium. W przypadku tylnej części obudowy, podobnie jak poprzednio, powietrze rozdzielane jest na dwa strumienie, które są kierowane do górnego i dolnego króćca. Dodatkowo pod przecinanym materiałem występują obszary o dużych prędkościach przepływu powstałe w wyniku obracania się piły i podcinaka w przeciwnych kierunkach. W przypadku braku noża rozdzielającego ruch powietrza w układzie jest mniej zaburzony i łatwiej jest ono usuwane z układu

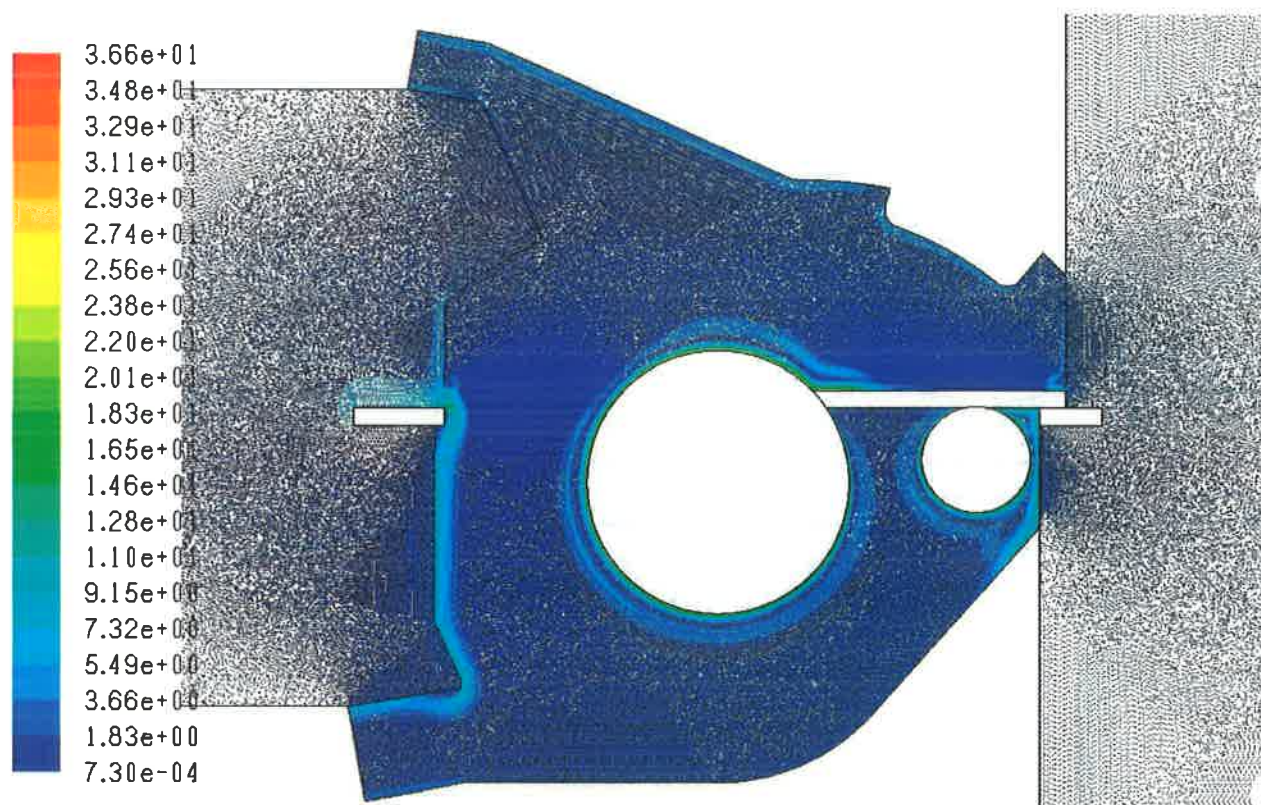


Rys. 3.4. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą \varnothing 300 mm:
 a) w górnej części obudowy górnej, b) z przodu obudowy górnej (opracowanie własne)

3.2. Przypadek 2.

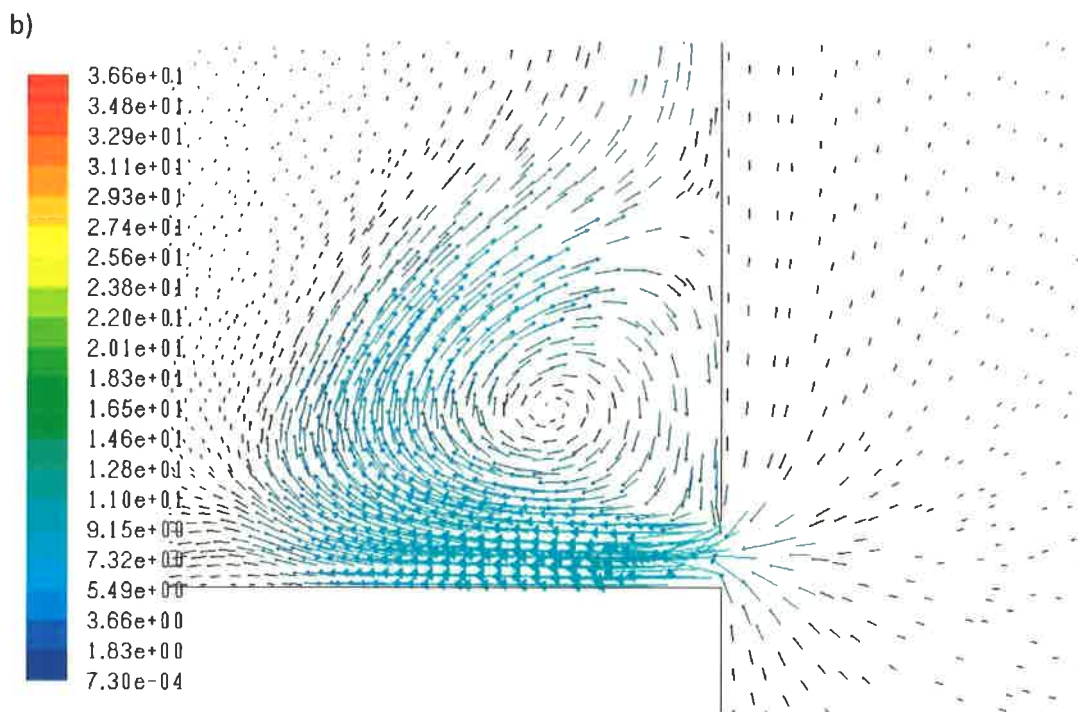
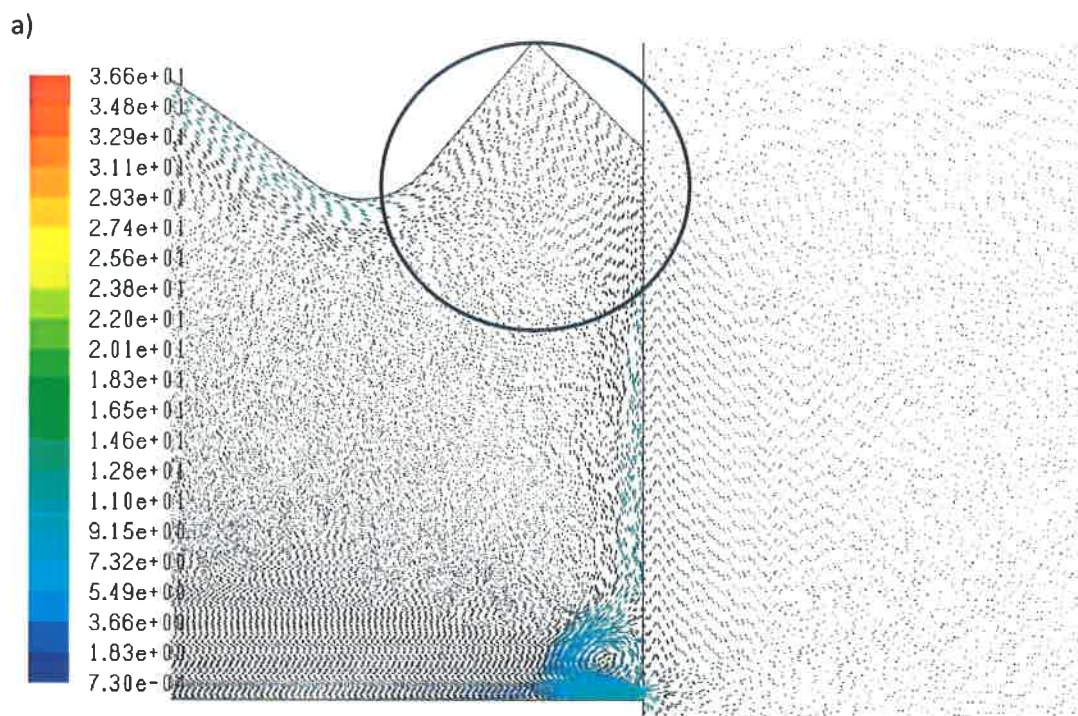
Na rys. 3.5 przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych pola wektorów prędkości układu odpylania pilarki formatowej dla następujących warunków brzegowych:

- podciśnienie w króćcu wylotowym obudowy górnej – 400 Pa,
- podciśnienie w króćcu wylotowym koleby dolnej – 400 Pa,
- średnica piły \varnothing 300 mm,
- prędkość obrotowa piły 3 500 1/min,
- prędkość obrotowa podcinaka 8 500 1/min.

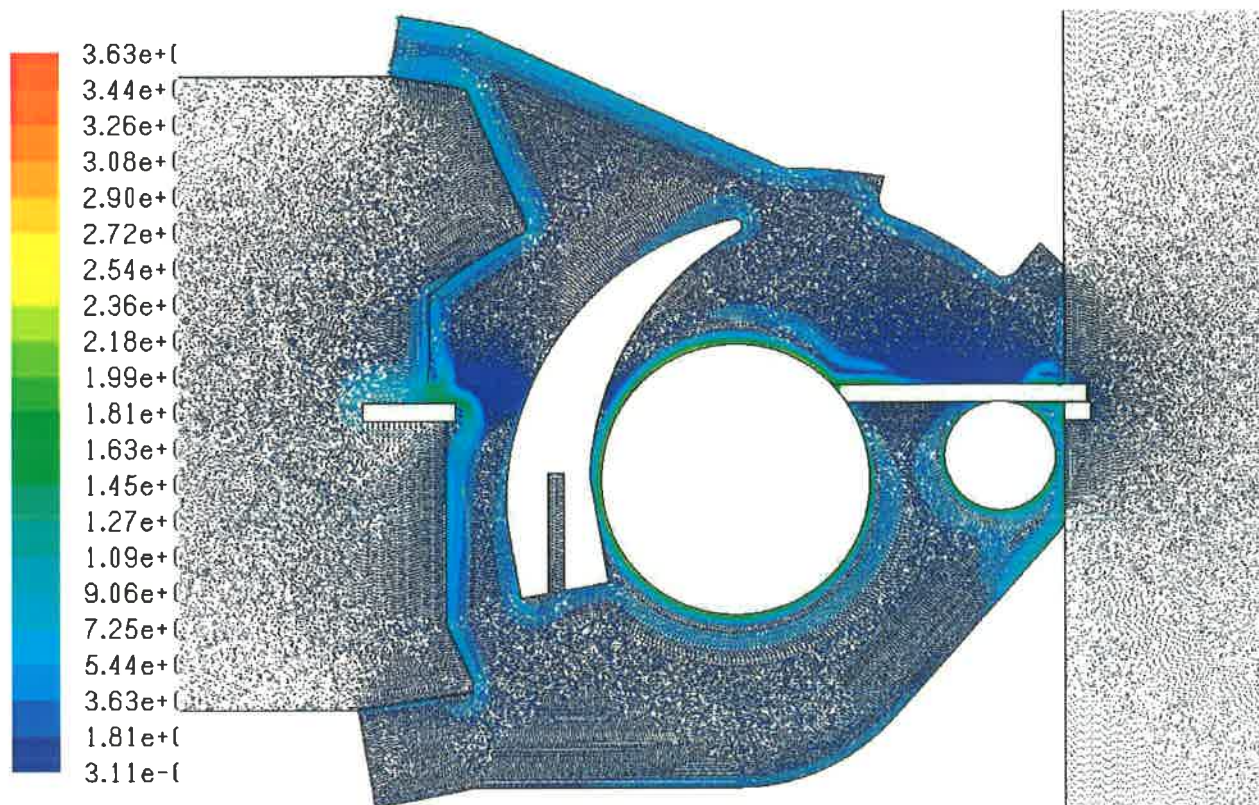


Rys. 3.5. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą \varnothing 300 mm przy pracy bez noża rozdzielającego i z przecinanym materiałem (opracowanie własne)

Otrzymane wyniki obliczeń pokazują, że wyższe podciśnienie w króćcu obudowy górnej układu odpylania wpływa korzystnie na zwiększenie prędkości dopływającego powietrza z zewnątrz w przedniej części, rys. 3.6b. W tym przypadku oddziaływanie obracającej się piły jest zmniejszone. W górnej części obudowy, powstaje strefa recyrkulacji (zaznaczona niebieskim okręgiem), w której powietrze krąży i jego odpływ jest utrudniony. Jest to wynikiem kształtu obudowy górnej, tzw. miejscem na uchwyt. W tylnej części obudowy dopływające powietrze przepływa do króćców wylotowych koleby dolnej i obudowy górnej.

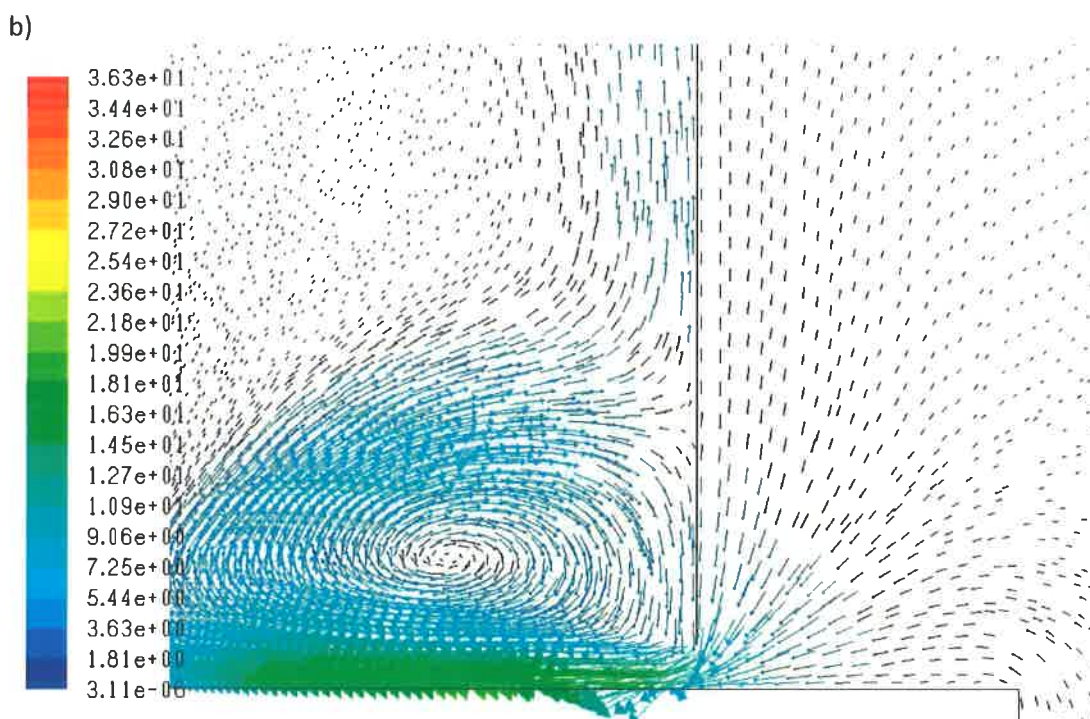
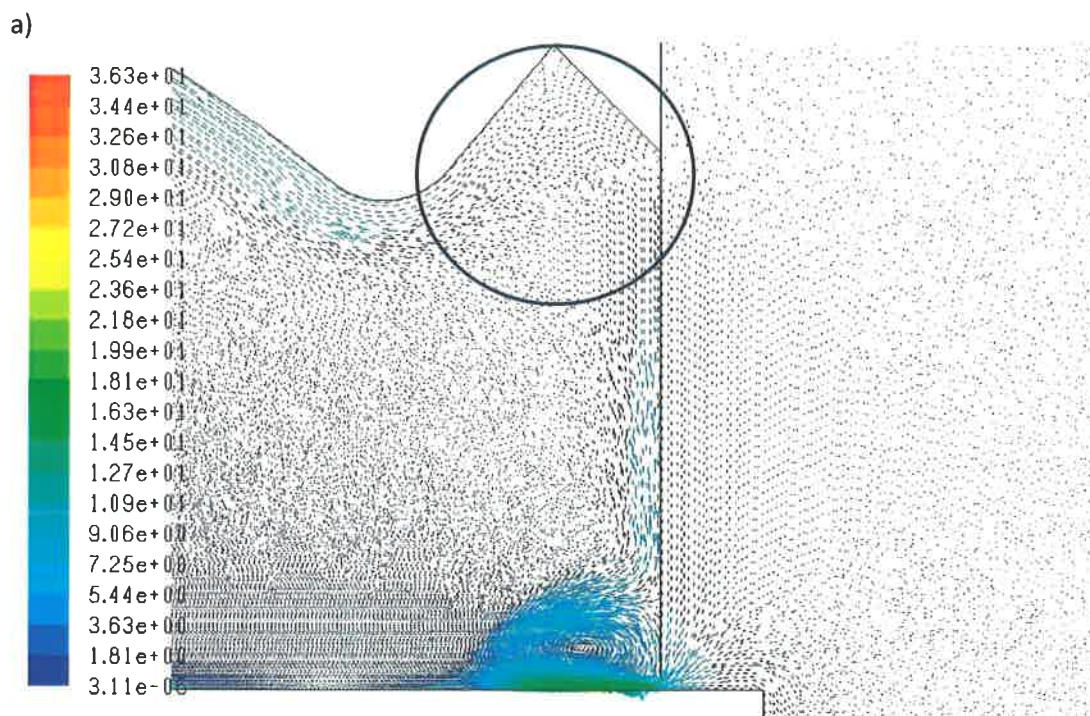


Rys. 3.6. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą $\varnothing 300$ mm:
a) w górnej części obudowy górnej b) z przodu obudowy górnej (opracowanie własne)



Rys. 3.7. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą $\varnothing 300$ mm przy pracy z nożem rozdzielającym i przecinającym materiałem (opracowanie własne)

Z kolei na rys. 3.7. można zauważyć, że występowanie noża generuje powstanie dodatkowej strefy w kolebie dolnej i obudowie górnej wokół noża. Podobnie jak na rys. 3.5. można zauważyć oddziaływanie obracającej się piły na wpływające do przedniej części obudowy górnej powietrze, rys. 3.8. Wartości prędkości w tym miejscu są wyższe w porównaniu z układem bez występowania noża rozdzielającego. W górnej części obudowy górnej, przy miejscu na uchwyt również występuje zawirowanie powietrza (zaznaczone niebieskim okręgiem). Z uwagi na wyższą wartość podciśnienia w obudowie górnej powietrze to jest łatwiej usuwane z tego obszaru. W przypadku tylnej części obudowy, podobnie jak poprzednio, powietrze rozdzielane jest na dwa strumienie, które są kierowane do obu króćców wylotowych. Pod przecinanym materiałem występują obszary o dużych prędkościach przepływu powstałe w wyniku obracania się piły i podcinaka w przeciwnych kierunkach. Przy ścianie przedniej koleby dolnej w pobliżu podcinaka widoczna jest strefa zawirowania, w której powietrze przepływa z dużą prędkością.



Rys. 3.8. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą \varnothing 300 mm:
a) w górnej części obudowy górnej b) z przodu obudowy górnej (opracowanie własne)

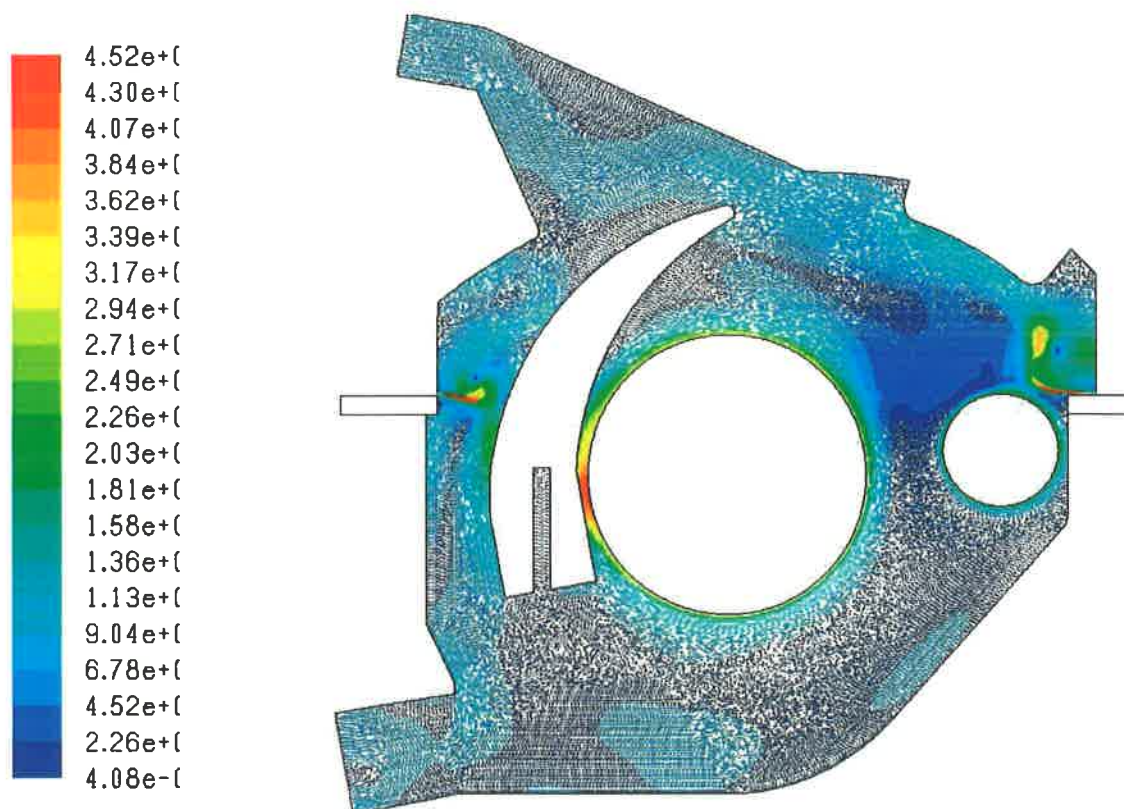
Zwiększenie podciśnienia w króćcu wylotowym obudowy górnej powoduje zwiększenie prędkości zasysanego powietrza z zewnątrz (rys. 3.8b) w porównaniu do przypadku wcześniejszego (rys. 3.4b).

3.3. Przypadek 3.

Na rys. 3.9 przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych pola wektorów prędkości układu odpylania pilarki formatowej dla następujących warunków brzegowych:

- podciśnienie w króćcu wylotowym obudowy górnej – 1 500 Pa,
- podciśnienie w króćcu wylotowym koleby dolnej – 1 500 Pa,
- średnica piły \varnothing 300 mm,
- prędkość obrotowa piły 3 500 1/min,
- prędkość obrotowa podcinaka 8 500 1/min.

Dla tego przypadku uwzględniono tutaj średnicę piły wynoszącą \varnothing 300 mm zarówno układu bez przecinanego materiału, jak i z przecinanym materiałem oraz nożem rozdzielającym.



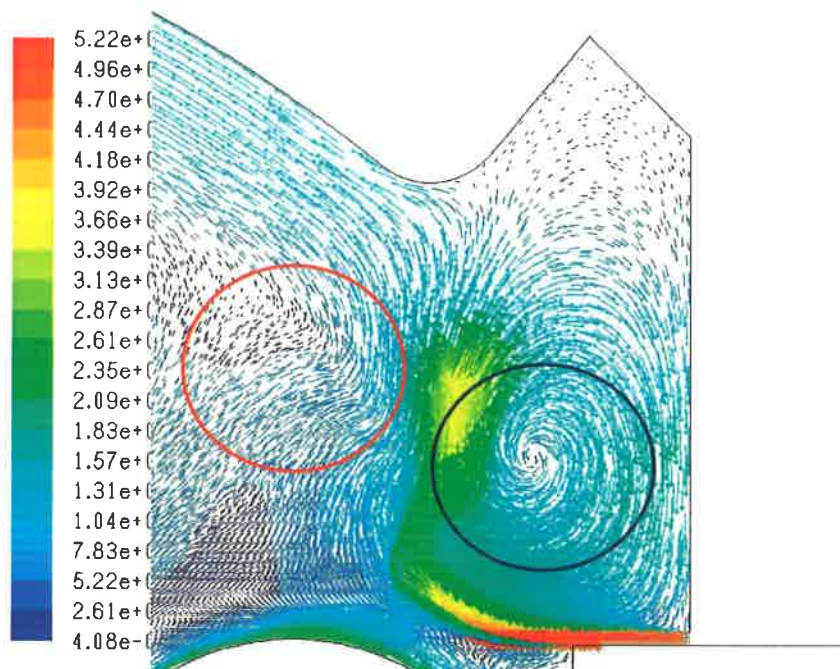
Rys. 3.9. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą \varnothing 300 mm przy pracy z nożem rozdzielającym i bez przecinanego materiału (opracowanie własne)

Największe wartości prędkości występują na wlocie powietrza do przestrzeni roboczej układu odpylania oraz między piłą a nożem rozdzielającym. W części przedniej obudowy górnej widać duże oddziaływanie obracającej się piły na wpływające medium oraz proces intensywnego mieszania z dopływającym powietrzem (zaznaczony granatowym okręgiem na rys. 3.10a). Jest to spowodowane dużą wartością prędkości liniowej piły oraz kształtem obudowy górnej, która posiada przestrzeń tzw. martwą. Część wpływającego powietrza kierowana jest do przestrzeni przy górnej ścianie obudowy górnej i nie ma możliwości z niej wydostania się. Można zauważyć oddziaływanie obracających się piły i przecinaka, których ruch jest przeciwny (zaznaczono

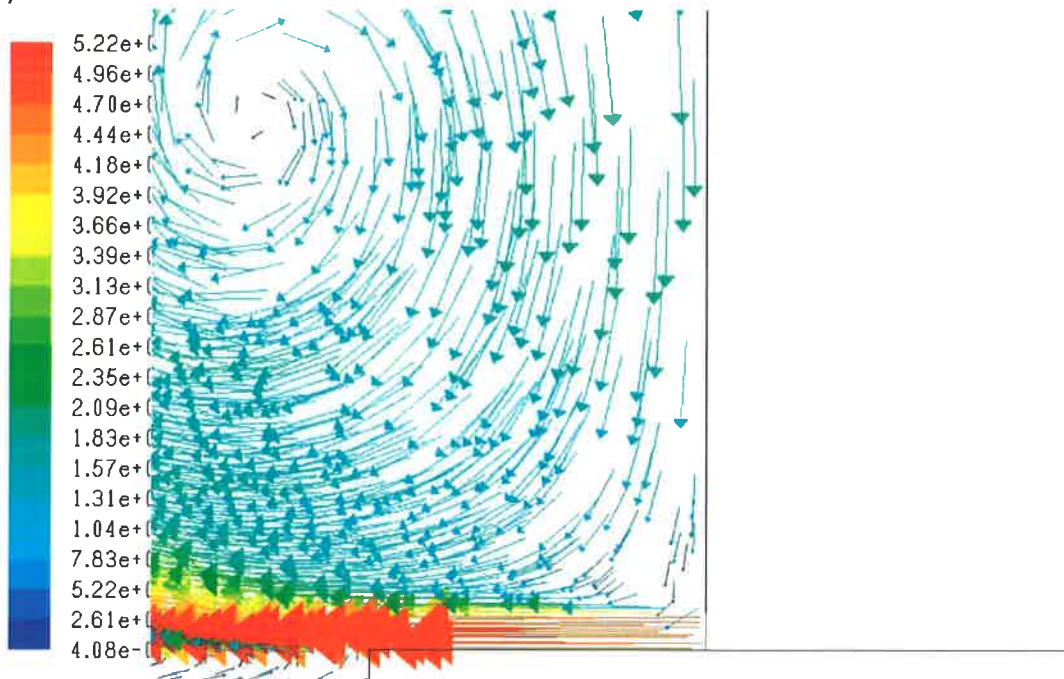
czzerwonym okręgiem). Szczeliny doprowadzające powietrze z zewnątrz mają małe rozmiary i dodatkowo powietrze wokół górnej części noża rozdzielającego kierowane jest do króćca wylotowego obudowy górnej, rys. 3.10.

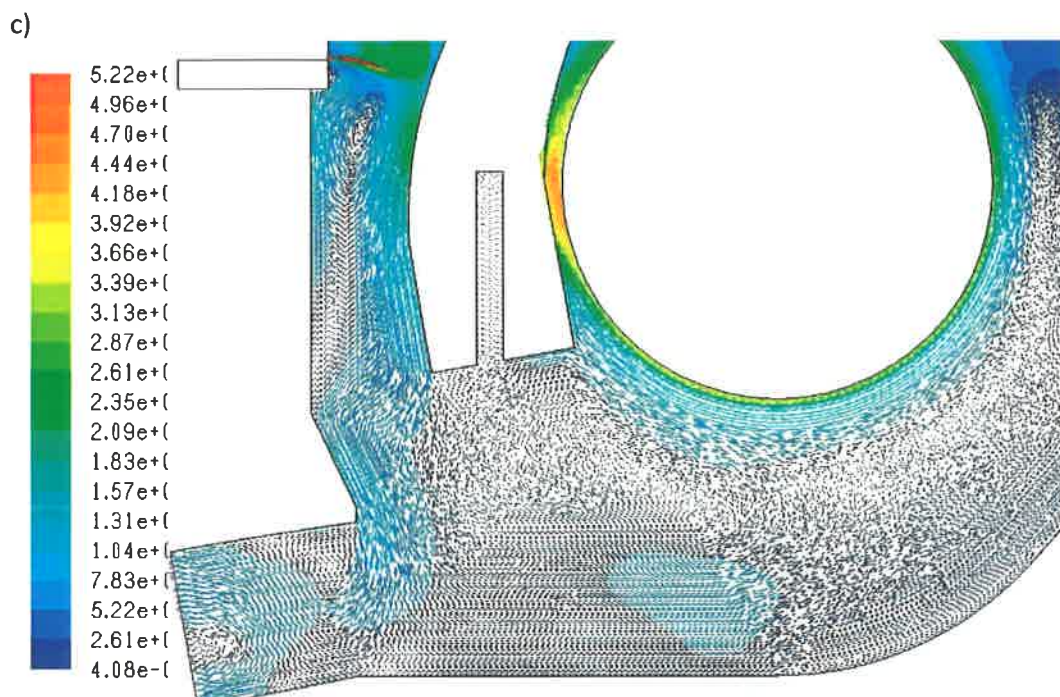
W dolnej części przepływ powietrza jest zakłócony przez nóż rozdzielający oraz obracającą się piłę wpływając na występowanie zawirowań w okolicach króćca wylotowego koleby dolnej., rys. 3.10c.

a)



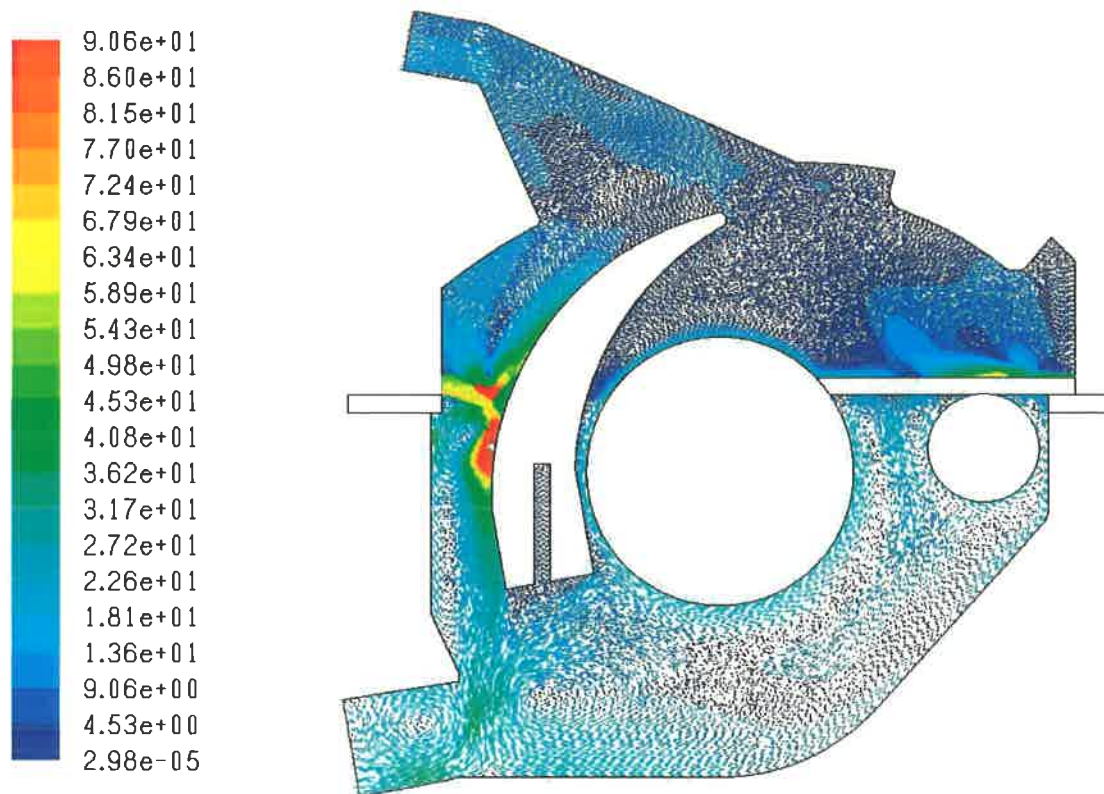
b)



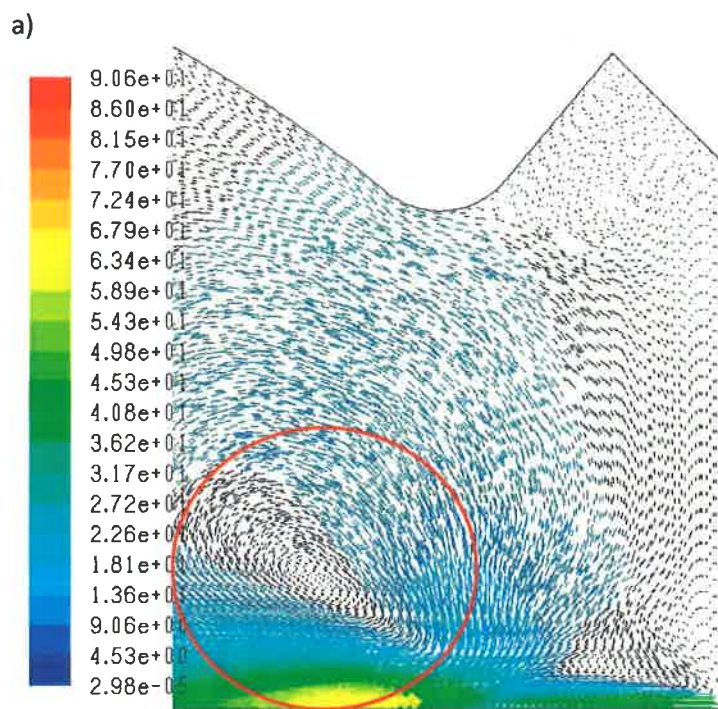


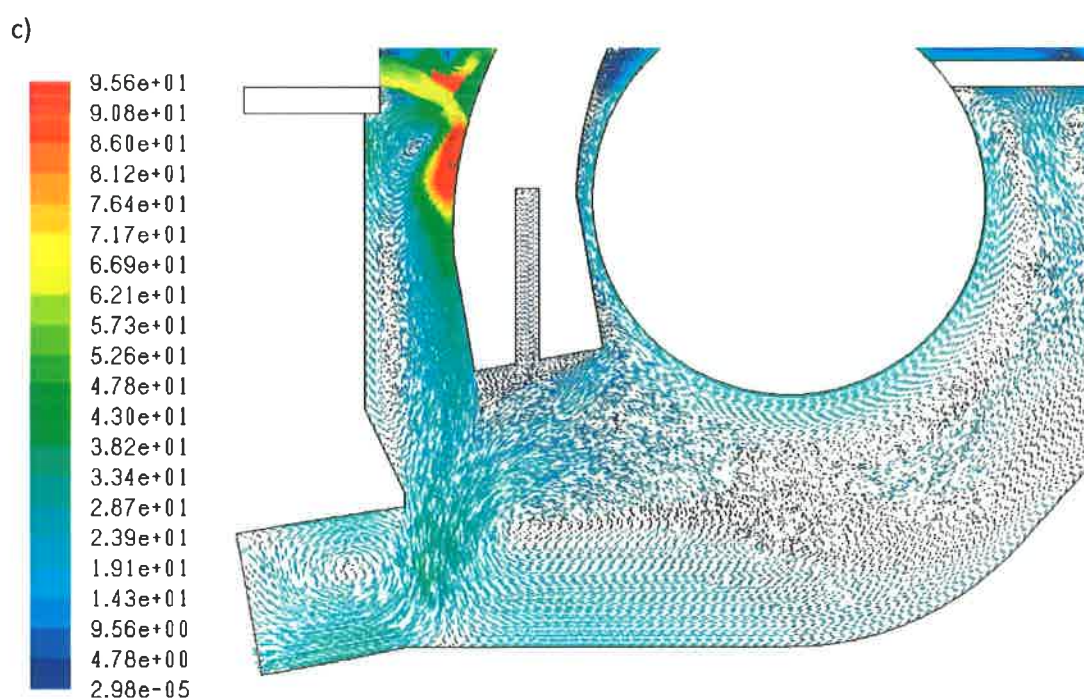
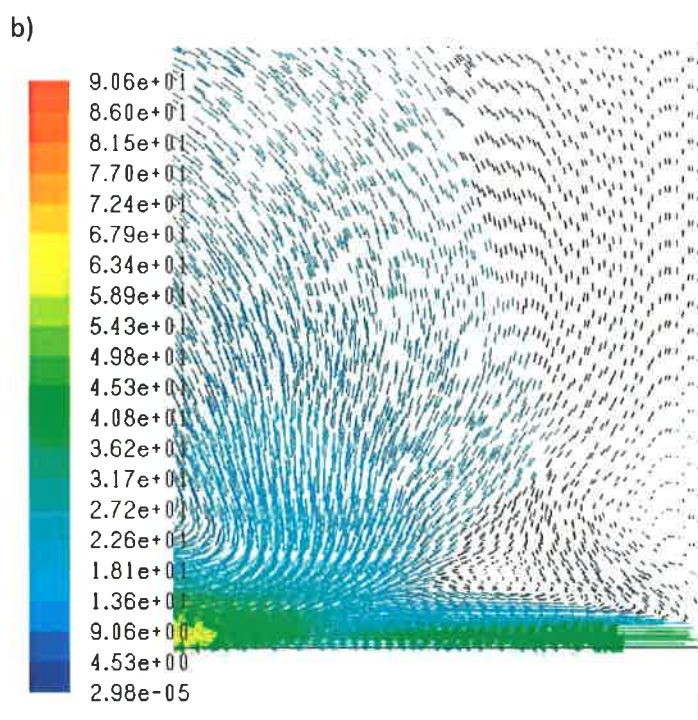
Rys. 3.10. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą \varnothing 300 mm:
a) w górnej części obudowy górnej b) z przodu obudowy górnej, c) w tylnej części układu
(opracowanie własne)

W przypadku występowania dodatkowo materiału przecinanego widać silne oddziaływanie dwóch strumieni powietrza – pierwszego wpływającego do obudowy górnej i drugiego powstającego w wyniku obrotów piły. Powstaje duża strefa zawirowania (zaznaczona czerwonym okręgiem), rys. 3.12b., która jest wynikiem wartości podciśnienia na króćcach wylotowych odpowiednio z obudowy górnej i koleby dolnej. Prędkość powietrza na wlocie do przestrzeni roboczej układu odpylania jest duża. Jest to efekt podciśnienia panującego w króćcach wylotowych. Wartość podciśnienia wpływa dodatkowo na korzystniejszy przepływ powietrza pod górną krawędzią obudowy górnej. W tych warunkach powietrze jest „zabierane” z przestrzeni roboczej układu odpylania. Występuje również mała strefa martwa, z której powietrze nie ma możliwości wydostania się.



Rys. 3.11. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą $\varnothing 300$ mm przy pracy z nożem rozdzielającym i z przecinanym materiałem (opracowanie własne)





Rys. 3.12. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą $\varnothing 300$ mm:
 a) w górnej części obudowy górnej b) z przodu obudowy górnej, c) w tylnej części układu
 (opracowanie własne)

W części tylnej obudowy górnej i obszarze koleby dolnej można zauważyć, że przepływ powietrza jest korzystniejszy mimo występowania noża rozdzielającego. Nóż rozdzielający wpływa na zwiększenie prędkości przepływającego powietrza w tych dwóch kierunkach. Przepływ powietrza jest zakłócany przez nóż rozdzielający oraz obracającą się piłę wpływając na występowanie zawirowań w okolicach króćca wylotowego koleby dolnej. W przypadku braku noża

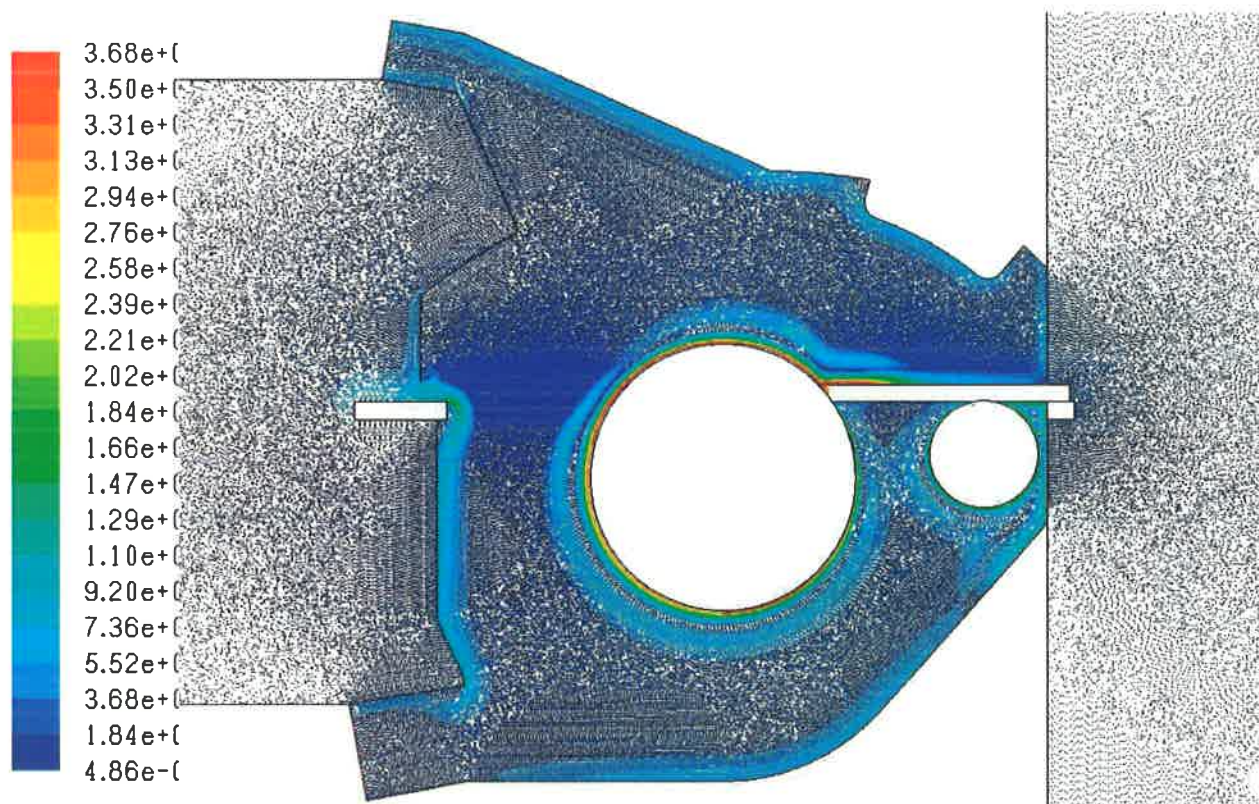
rozdzielającego ruch powietrza w układzie jest mniej zaburzony i łatwiej jest ono usuwane z układu. Powietrze w tym rejonie kierowane jest do króćca koleby dolnej, mimo że występują tu strefy z dużym zawirowaniem.

W kolejnym etapie symulacji numerycznych analizowano przepływ powietrza w układzie odpylania pilarki dla większej wartości prędkości obrotowej piły i takich samych jak w poprzednich przypadkach warunków brzegowych. Wyniki obliczeń zostały przedstawione poniżej.

3.4. Przypadek 4.

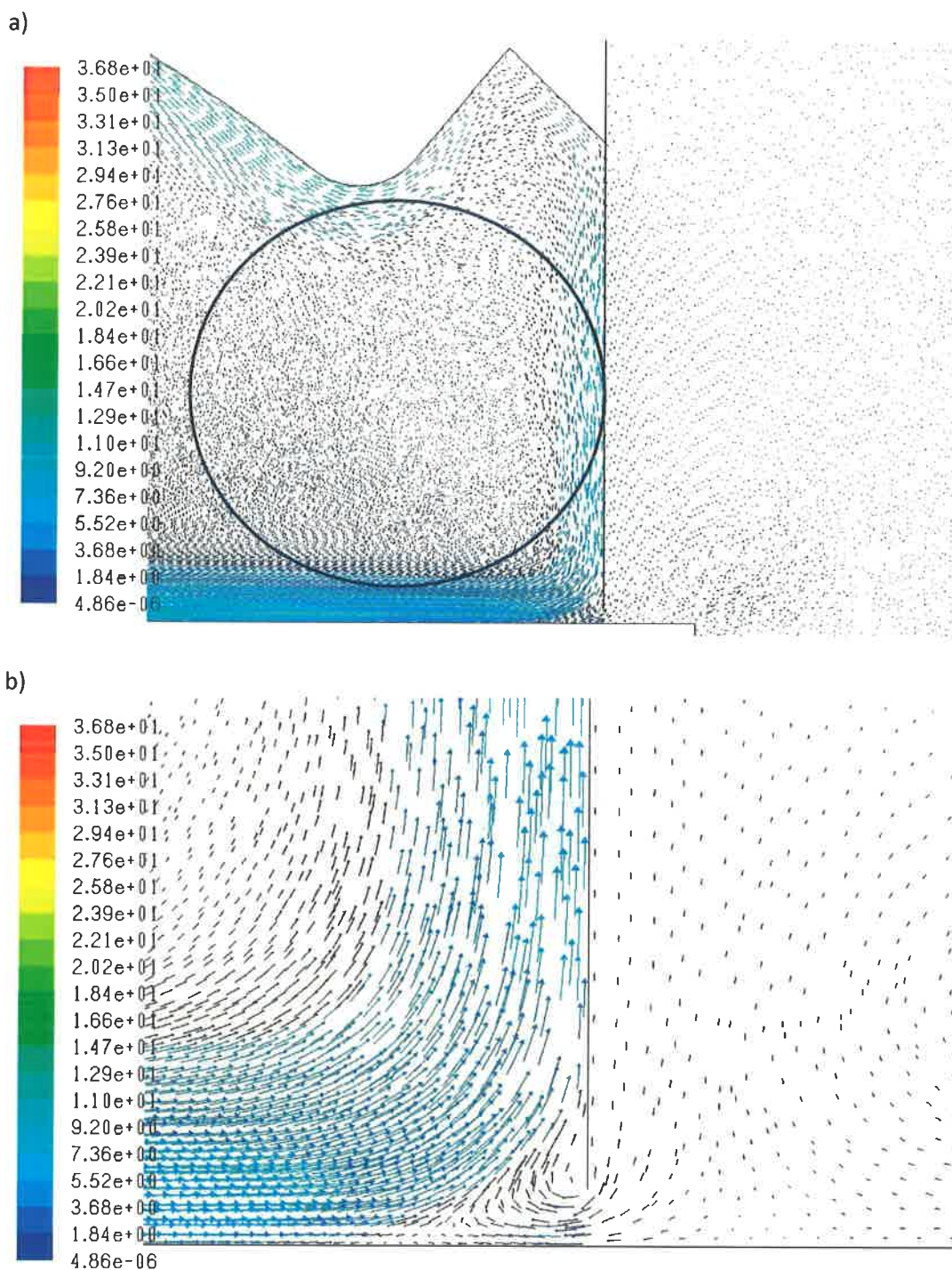
Na rys. 3.13 przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych pola wektorów prędkości układu odpylania pilarki formatowej dla następujących warunków brzegowych:

- podciśnienie w króćcu wylotowym obudowy górnej – 200 Pa,
- podciśnienie w króćcu wylotowym koleby dolnej – 400 Pa,
- średnica piły \varnothing 300 mm,
- prędkość obrotowa piły 6 000 1/min,
- prędkość obrotowa podcinaka 8 500 1/min.



Rys. 3.13. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą \varnothing 300 mm przy pracy bez noża rozdzielającego i z przecinanym materiałem (opracowanie własne)

Na podstawie otrzymanych wyników obliczeń można zauważyć, że występuje bardzo silne oddziaływanie obracającej się piły na przepływ powietrza zarówno w kolebie dolnej, jak i w górnej obudowie. Obracająca się piła ma duży wpływ na przepływ medium w przedniej części obudowy górnej, rys. 3.14, powodując powstanie dużej strefy zawirowania zajmującej obszar (zaznaczona niebieskim okręgiem).

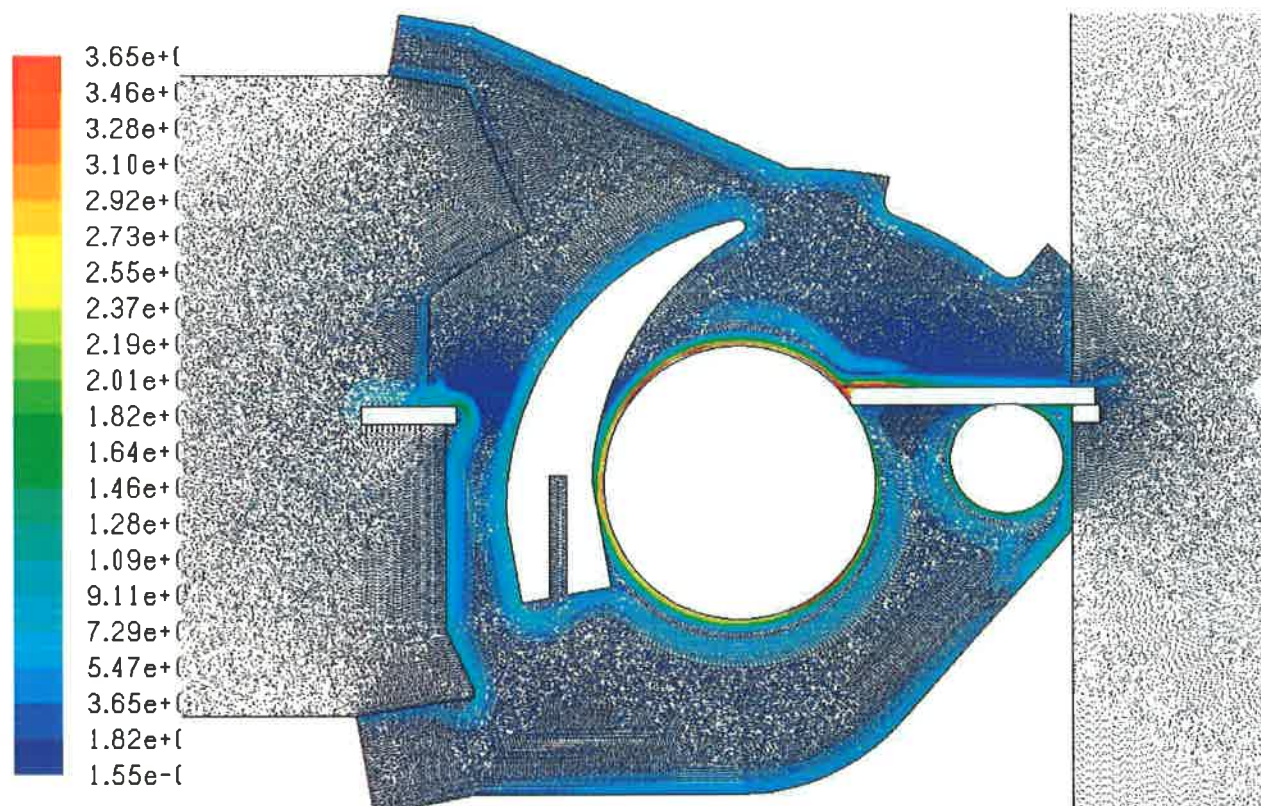


Rys. 3.14. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą $\varnothing 300$ mm:
 a) w górnej części obudowy górnej b) z przodu obudowy górnej (opracowanie własne)

W wyniku panującego podciśnienia w króćcu wylotowym obudowy górnej wpływające powietrze ma małą prędkość (rys.3.14b), która może być niewystarczająca do zabrania wiórów z przestrzeni roboczej pilarki. W tylnej części obudowy górnej powietrze wpływając do układu odpylania rozdzielane jest na dwa strumienie – pierwszy kierowany do górnego króćca wylotowego oraz drugi kierowany do dolnego króćca wylotowego. Dopływające przez tylną część

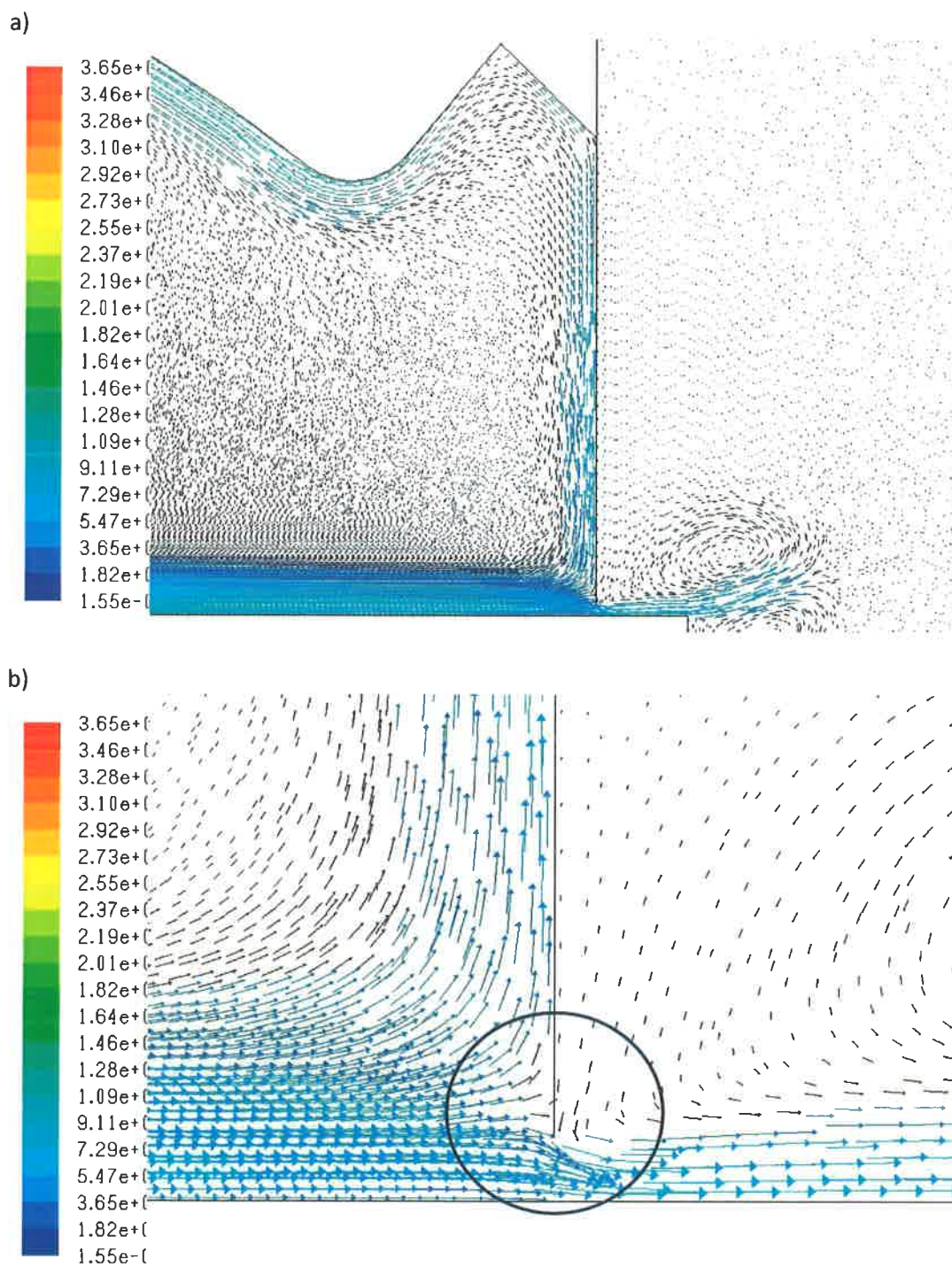
powietrze do dolnej części układu odpylania – koleby dolnej jest pod działaniem obracającej się piły.

Rys. 3.15. przedstawia wyniki obliczeń numerycznych dla przypadku, gdy w układzie pilarki występuje nóż rozdzielający.



Rys. 3.15. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą \varnothing 300 mm przy pracy z nożem rozdzielającym i przecinanym materiałem (opracowanie własne)

W tym przypadku występowanie noża wpływa na przepływ powietrza w tylnej części układu odpylania. Dodatkowo w części przedniej obudowy górnej można zauważyć, że powietrze nie jest pobierane z otoczenia a jest „wypychane” na zewnątrz, rys. 3.16. Jest to efekt zmniejszonego oddziaływania obracającej się piły na przepływ medium ze względu na to, że nóż rozdzielający pełniący rolę przeszkody przy przepływie powietrza w układzie, zmniejsza wpływ piły na charakter przepływu powietrza. Można stwierdzić, że występowanie noża powoduje wypływ powietrza na zewnątrz (zaznaczono niebieskim okręgiem) zamiast pobierania. Sugeruje to występowanie nadciśnienia w przedniej części obudowy górnej dla tego przypadku, co jest zgodne z wynikami wcześniejszych pomiarów eksperymentalnych dla wąskiej osłony.

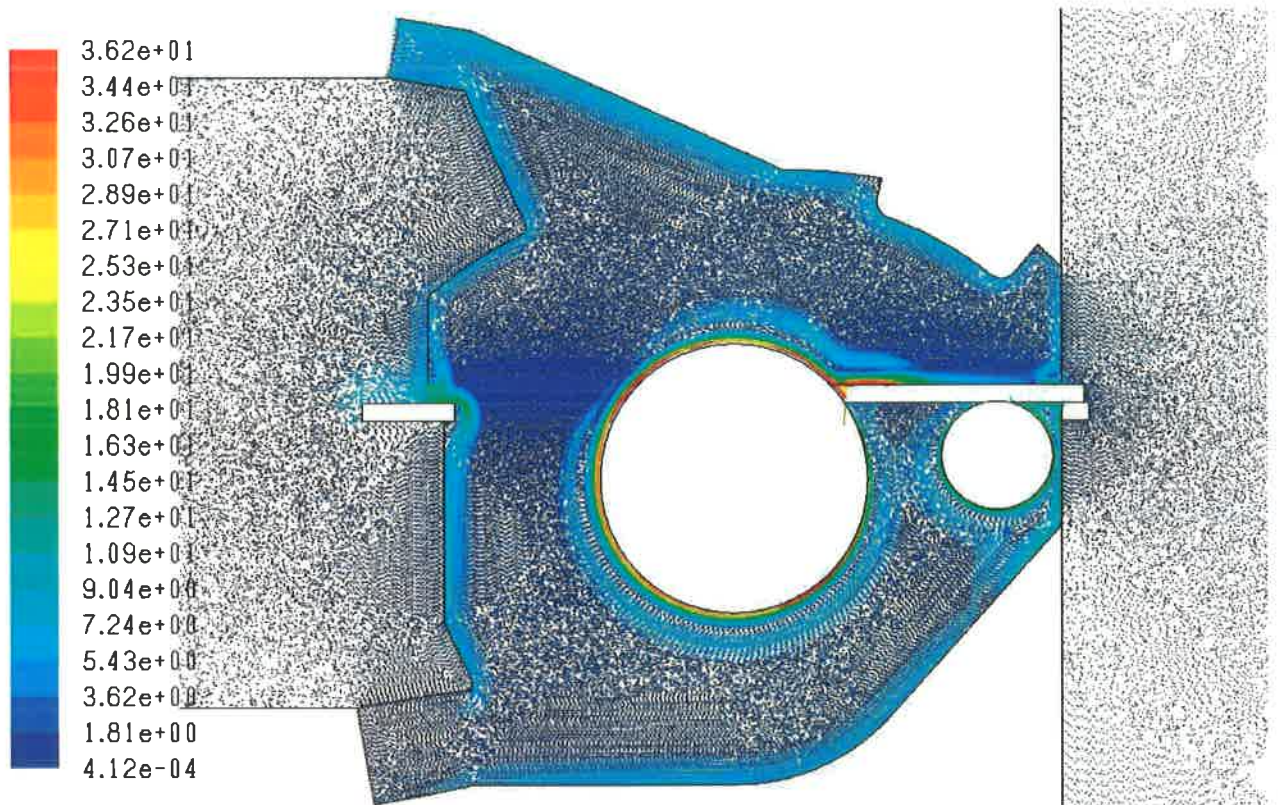


Rys. 3.16. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą \varnothing 300 mm:
 a) w górnej części obudowy górnej b) z przodu obudowy górnej (opracowanie własne)

3.5. Przypadek 5.

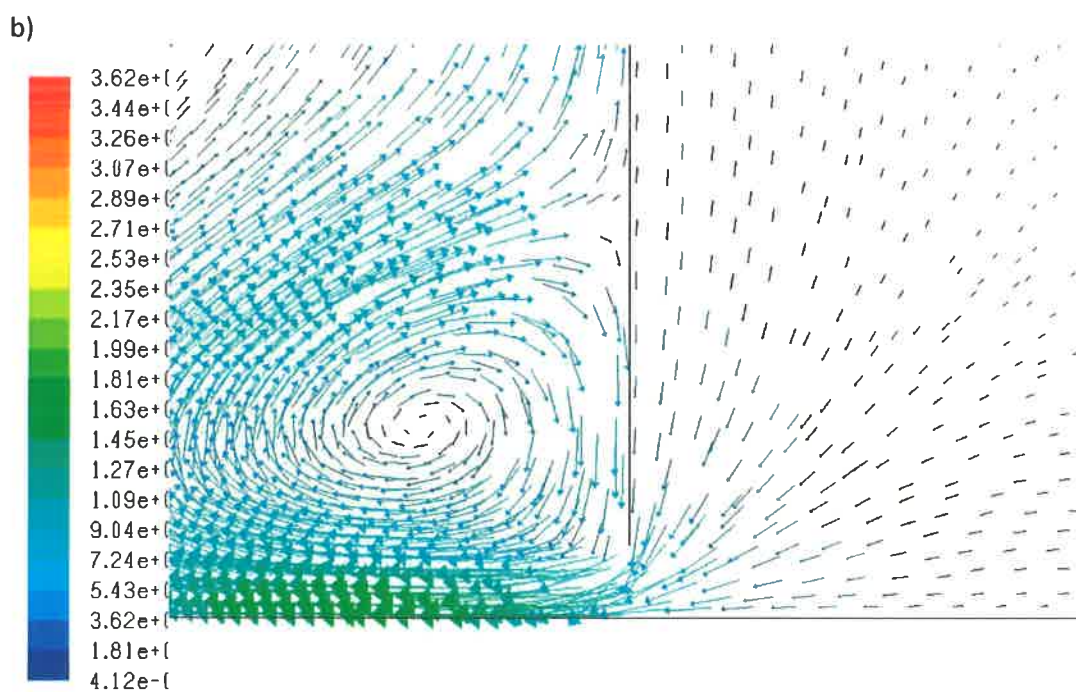
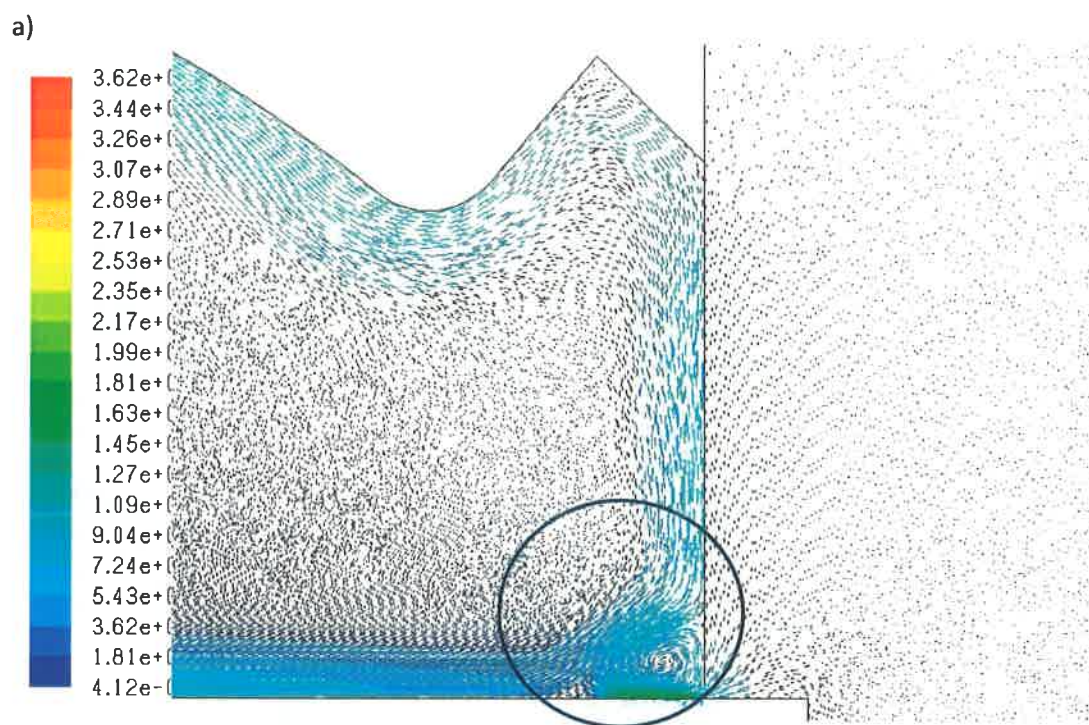
Na rys. 3.17 przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych pola wektorów prędkości układu odpylania pilarki formatowej dla następujących warunków brzegowych:

- podciśnienie w króćcu wylotowym obudowy górnej – 400 Pa,
- podciśnienie w króćcu wylotowym koleby dolnej – 400 Pa,
- średnica piły \varnothing 300 mm,
- prędkość obrotowa piły 6 000 1/min,
- prędkość obrotowa podcinaka 8 500 1/min.



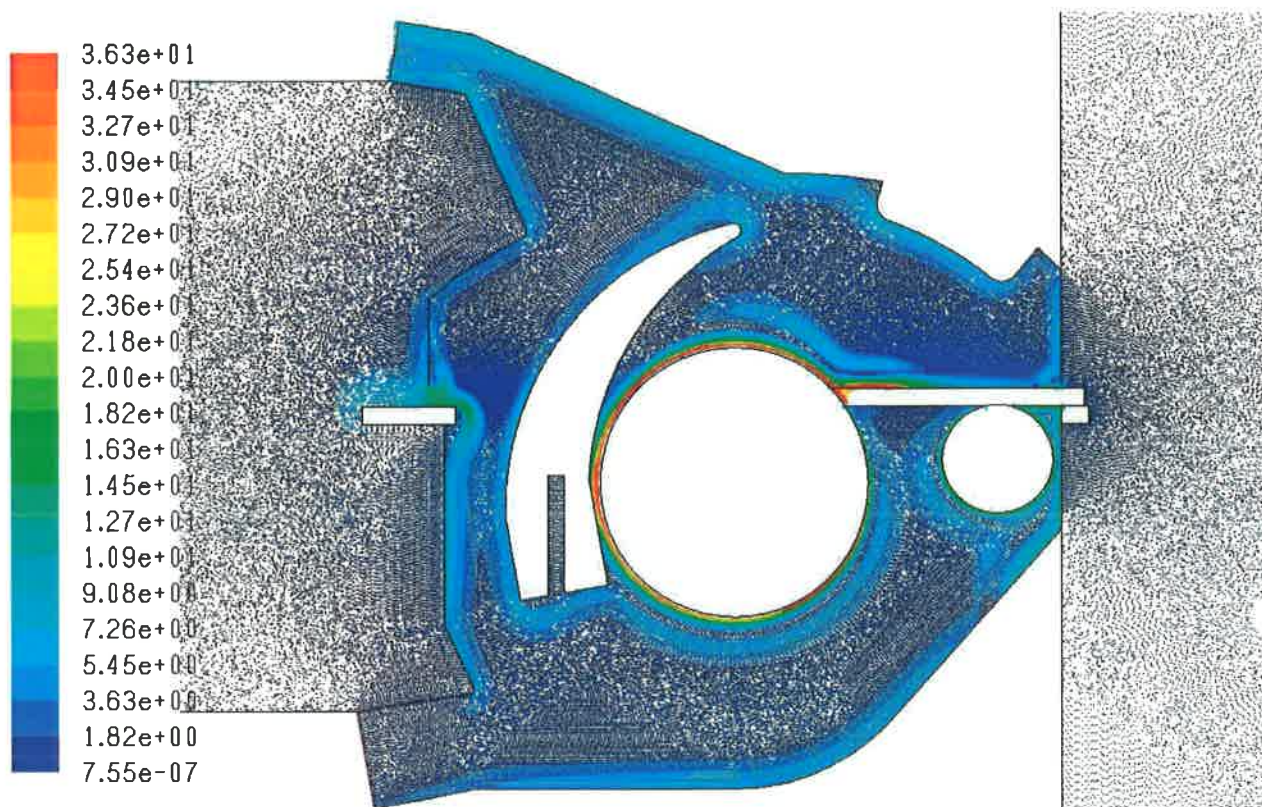
Rys. 3.17. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą \varnothing 300 mm przy pracy bez noża rozdzielającego i z przecinanym materiałem (opracowanie własne)

Otrzymane wyniki obliczeń potwierdzają, że wzrost podciśnienia w króćcu obudowy górnej układu odpylania wpływa korzystnie na przepływ powietrza oraz jego dopływ z otoczenia do przedniej części obudowy, rys. 3.18. W tym przypadku strefa zawirowania w przedniej części obudowy górnej występuje a oddziaływanie obracającej się piły jest zmniejszone (zaznaczona niebieskim okręgiem). Powietrze przepływa po ścianie obudowy górnej w kierunku wylotu. W górnej części obudowy powietrze jest szybko usuwane. W tym przypadku kształt obudowy górnej, tzw. miejsca na uchwyt ma niewielki wpływ na występowanie strefy zawirowania. W tylnej części obudowy dopływające powietrze jest rozdzielane na dwa strumienie i przepływa do króćców wylotowych koleby dolnej i obudowy górnej. Nie ma tu przepływu całego powietrza skierowanego ku króćcowi wylotowemu.



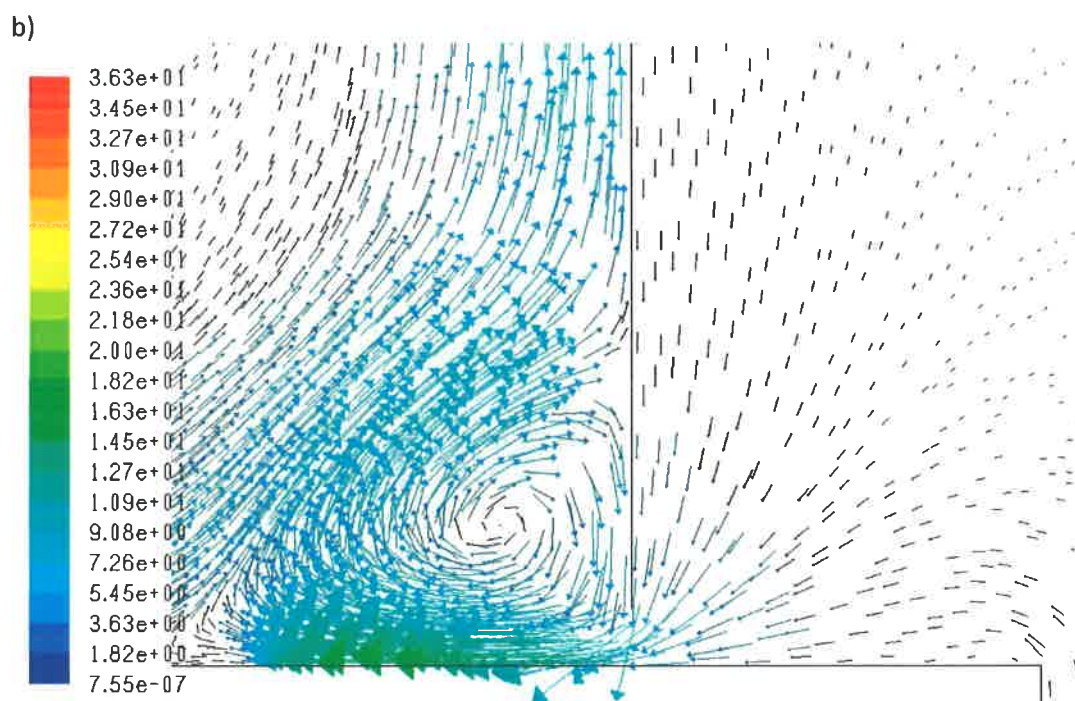
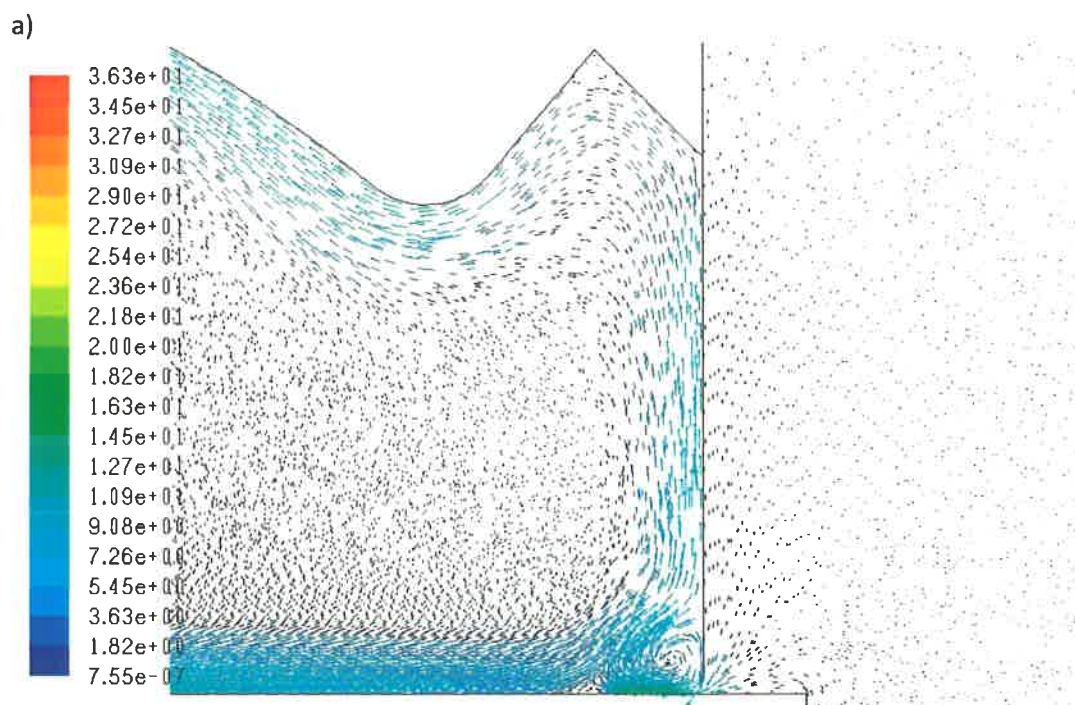
Rys. 3.18. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą $\varnothing 300$ mm:
a) w górnej części obudowy górnej b) z przodu obudowy górnej (opracowanie własne)

Rys. 3.19. przedstawia wyniki obliczeń numerycznych przepływu powietrza dla przypadku, gdy w układzie pilarki występuje nóż rozdzielający.



Rys. 3.19. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą \varnothing 300 mm przy pracy z nożem rozdzielającym i przecinanym materiałem (opracowanie własne)

Występowanie noża wpływa na przepływ powietrza w tylnej części układu odpylania, rys. 3.20. Dodatkowo w części przedniej obudowy górnej można zauważyć, że powietrze wpływające z otoczenia ma mniejszą wartość prędkości w porównaniu z przypadkiem gdy noża rozdzielającego nie ma, rys. 3.20. Strefa zawirowania powietrza jest mniejsza. Jest to efekt mniejszego oddziaływania obracającej się piły na przepływające medium. Nóż rozdzielający w tym przypadku pełni rolę przeszkody przy przepływie powietrza w układzie, zmniejsza wpływ piły na charakter przepływu powietrza. Wokół niego występują obszary wpływające na niekorzystny przepływ powietrza. W tylnej części obudowy wpływające powietrze jest rozdzielane na dwa strumienie i przepływa do króćców wylotowych koleby dolnej i obudowy górnej.



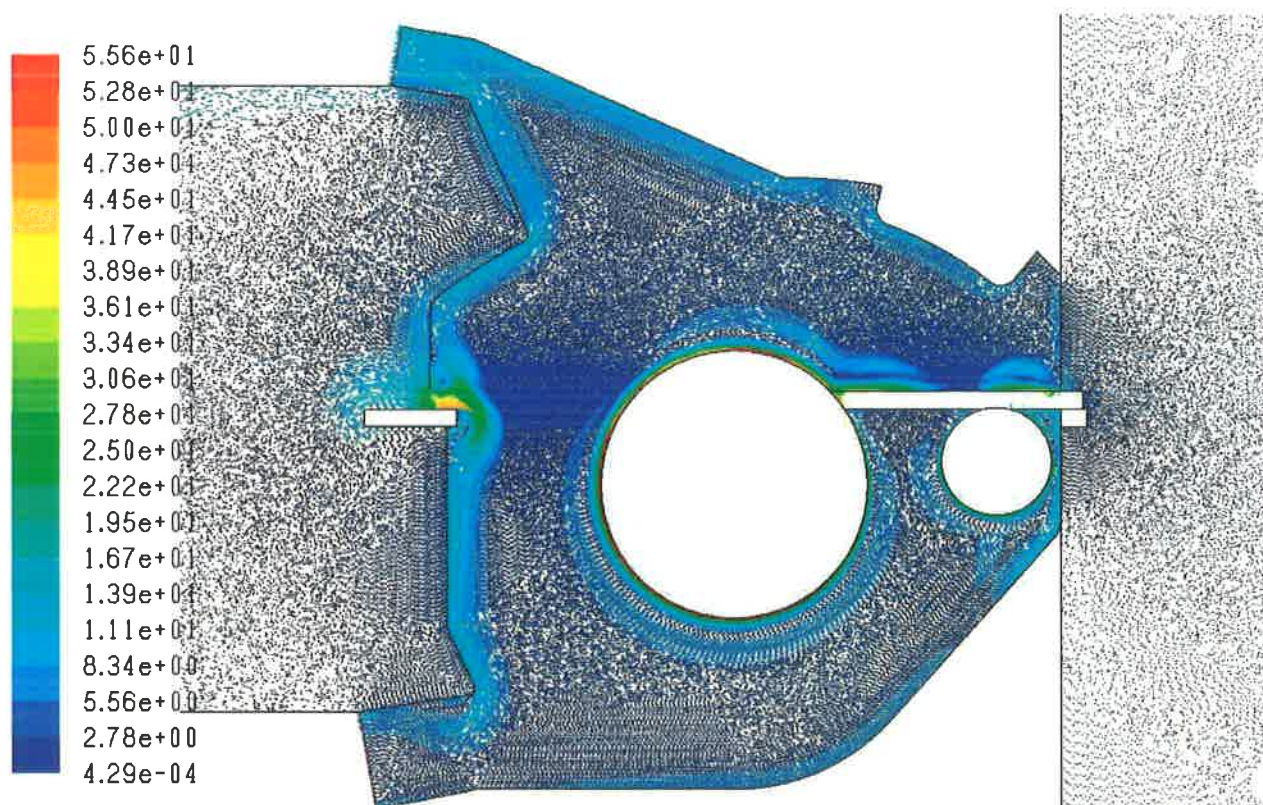
Rys. 3.20. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą \varnothing 300 mm:
a) w górnej części obudowy górnej b) z przodu obudowy górnej (opracowanie własne)

Dodatkowo analizując wyniki obliczeń numerycznych można zauważyć, że powietrze po wpłygnięciu do obudowy górnej jest kierowane ku jej górnej ścianie. Dodatkowo występuje obszar, gdzie wartości przepływu powietrza są małe. Jest to efekt zbyt małej wartości podciśnienia panującego w króćcu wylotowym obudowy górnej.

3.6. Przypadek 6.

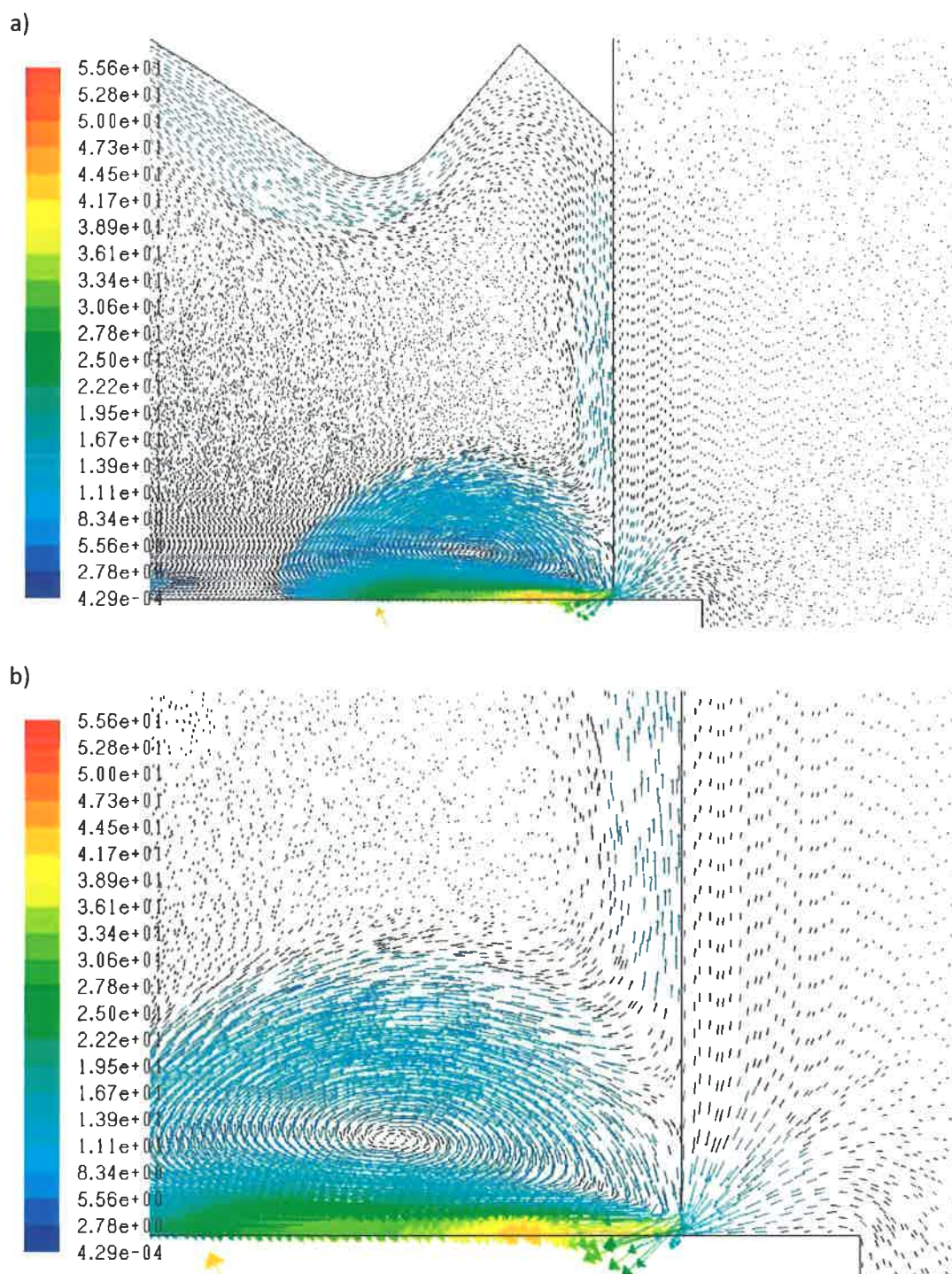
Na Rys. 3.21 przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych pola wektorów prędkości układu odpylania pilarki formatowej dla następujących warunków brzegowych:

- podciśnienie w króćcu wylotowym obudowy górnej – 1500 Pa,
- podciśnienie w króćcu wylotowym koleby dolnej – 1500 Pa,
- średnica piły \varnothing 300 mm,
- prędkość obrotowa piły 6 000 1/min,
- prędkość obrotowa podcinaka 8 500 1/min.



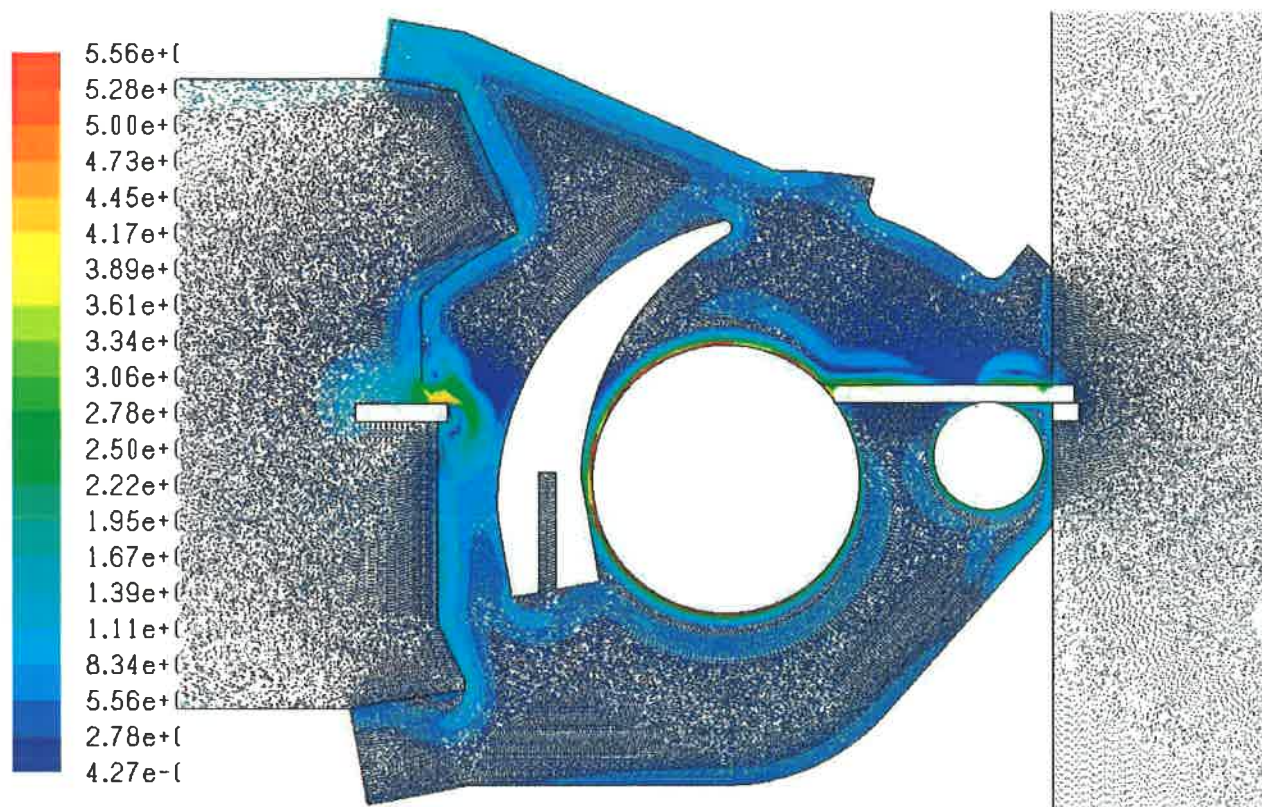
Rys. 3.21. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą \varnothing 300 mm przy pracy bez noża rozdzielającego i z przecinanym materiałem (opracowanie własne)

Przy założonej wartości podciśnienia 1500 Pa charakter przepływu powietrza jest znacznie korzystniejszy w porównaniu do poprzednich warunków. Można zauważyć, że pomimo występowania obszarów o małej wartości prędkości całe powietrze jest kierowane do króćców wylotowych, rys. 3.21. Jest to szczególnie widoczne dla tylnej części układu odpylania. W tym obszarze wartość prędkości wlotowej do układu odpylania jest znacznie większa niż dla niższych wartości podciśnienia. Powietrze efektywnie przepływa do króćca wylotowego koleby dolnej. Natomiast w przypadku przepływu powietrza w obudowie górnej widać, że przed króćcem wylotowym następuje połączenie się strug powietrza przepływającego z przedniej i tylnej części obudowy. Wzajemne oddziaływanie piły i podcinaka w tym przypadku nie ma dużego wpływu na przepływ powietrza w kolebie dolnej.



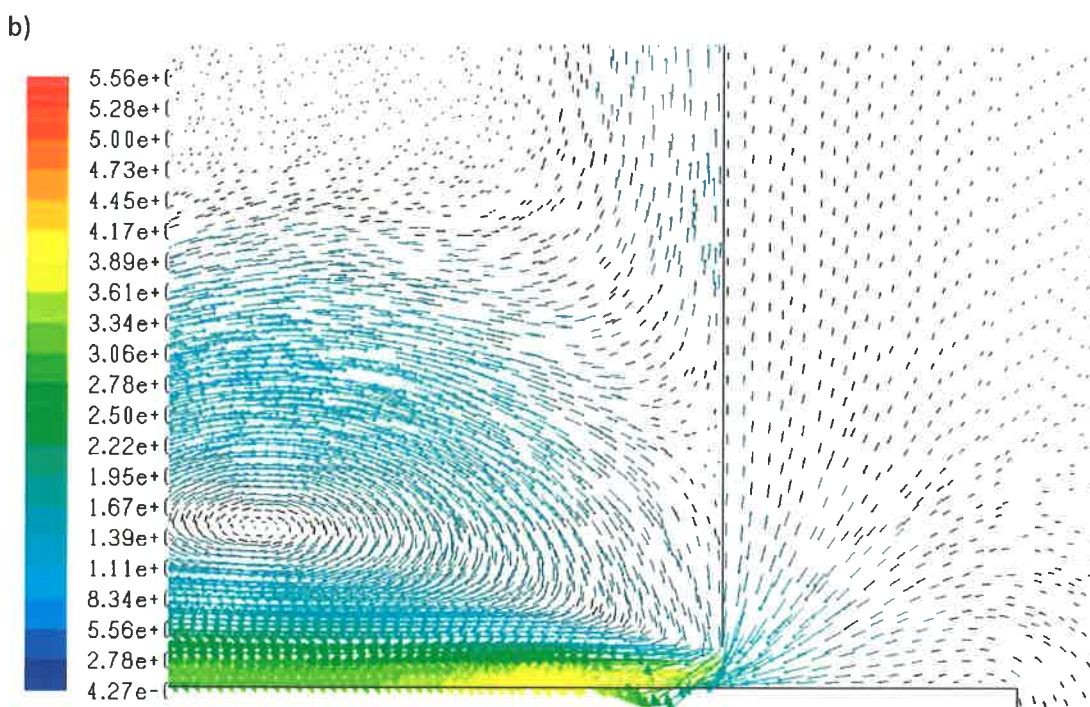
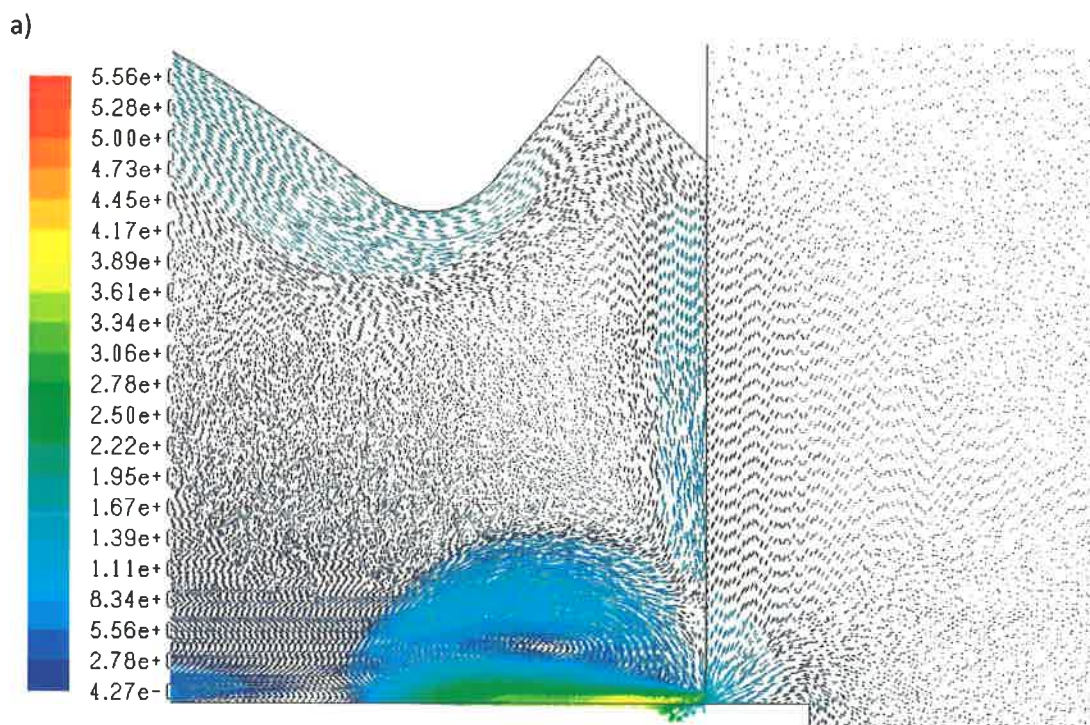
Rys. 3.22. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą \varnothing 300 mm:
 a) w górnej części obudowy górnej b) z przodu obudowy górnej (opracowanie własne)

Na rys. 3.23. przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych przepływu powietrza dla przypadku, gdy w układzie pilarki występuje nóż rozdzielający.



Rys. 3.23. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą $\varnothing 300$ mm przy pracy z nożem rozdzielającym i z przecinanym materiałem (opracowanie własne)

Nóż wpływa w tym przypadku na intensyfikację przepływu powietrza w tylnej części układu odpylania, rys. 3.23. Wokół niego występują obszary wpływające na niekorzystny przepływ powietrza. Pełni rolę przeszkody przy przepływie powietrza w układzie, zmniejsza wpływ piły na charakter przepływu powietrza. Dodatkowo w części przedniej obudowy górnej można zauważyć, że powietrze wpływające z otoczenia ma mniejszą wartość prędkości w porównaniu z przypadkiem gdy noża rozdzielającego nie ma, rys. 3.24. Strefa zawirowania powietrza w tym miejscu jest mniejsza. Jest to efekt mniejszego oddziaływania obracającej się piły na przepływające medium. W tylnej części obudowy wpływające powietrze jest rozdzielane na dwa strumienie i przepływa do króćców wylotowych koleby dolnej i obudowy górnej.



Rys. 3.24. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą $\varnothing 300$ mm:
a) w górnej części obudowy górnej b) z przodu obudowy górnej (opracowanie własne)

Można zauważyć, że powietrze po wpłynięciu do obudowy górnej jest kierowane ku jej górnej ścianie. Dodatkowo występuje obszar, gdzie wartości przepływu powietrza są małe, rys. 3.24.

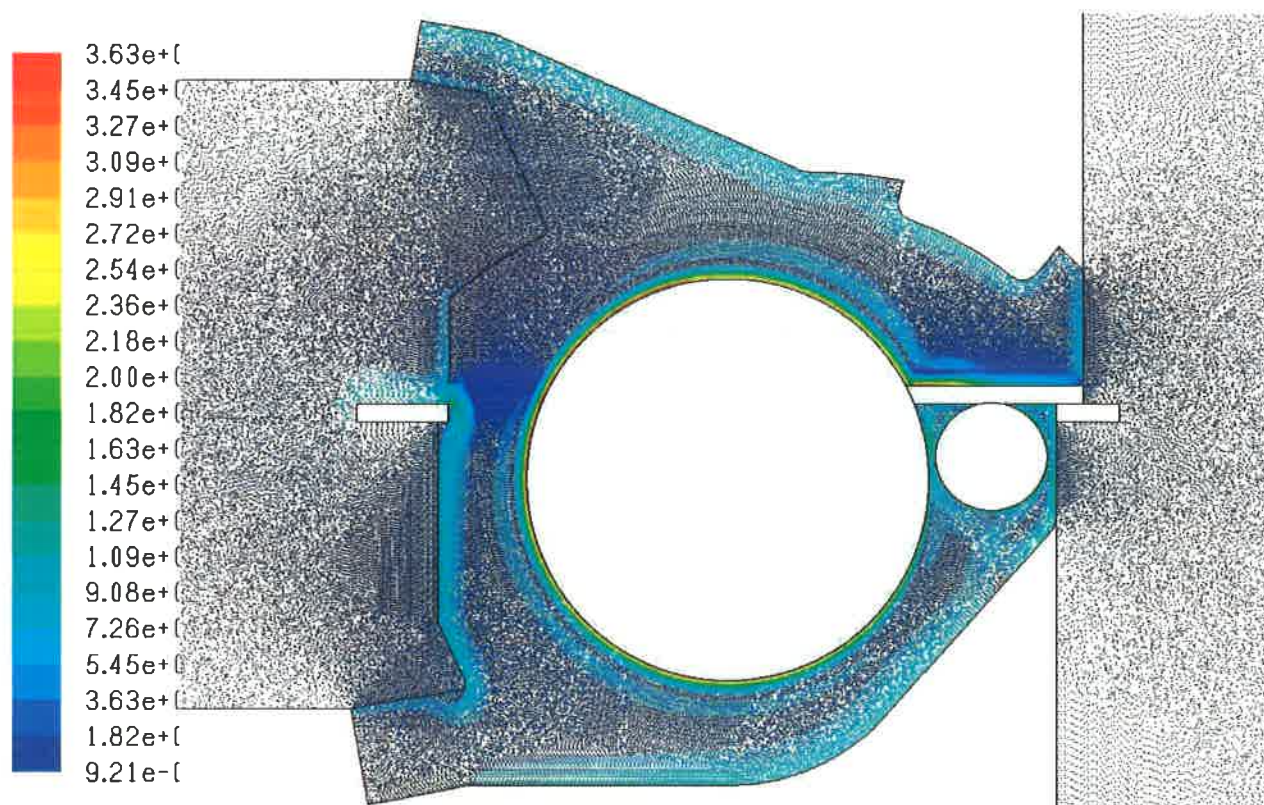
Kolejna część obliczeń numerycznych dotyczyła symulacji układu odpylania pilarki z piłą o średnicy \varnothing 450 mm. Analizowano przepływ powietrza w układzie odpylania pilarki dla prędkości obrotowych piły i takich samych jak w poprzednich przypadkach warunków brzegowych. Poniżej przedstawiono wyniki tych obliczeń.

3.7. Przypadek 7.

Na rys. 3.25 przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych pola wektorów prędkości układu odpylania pilarki formatowej dla następujących warunków brzegowych:

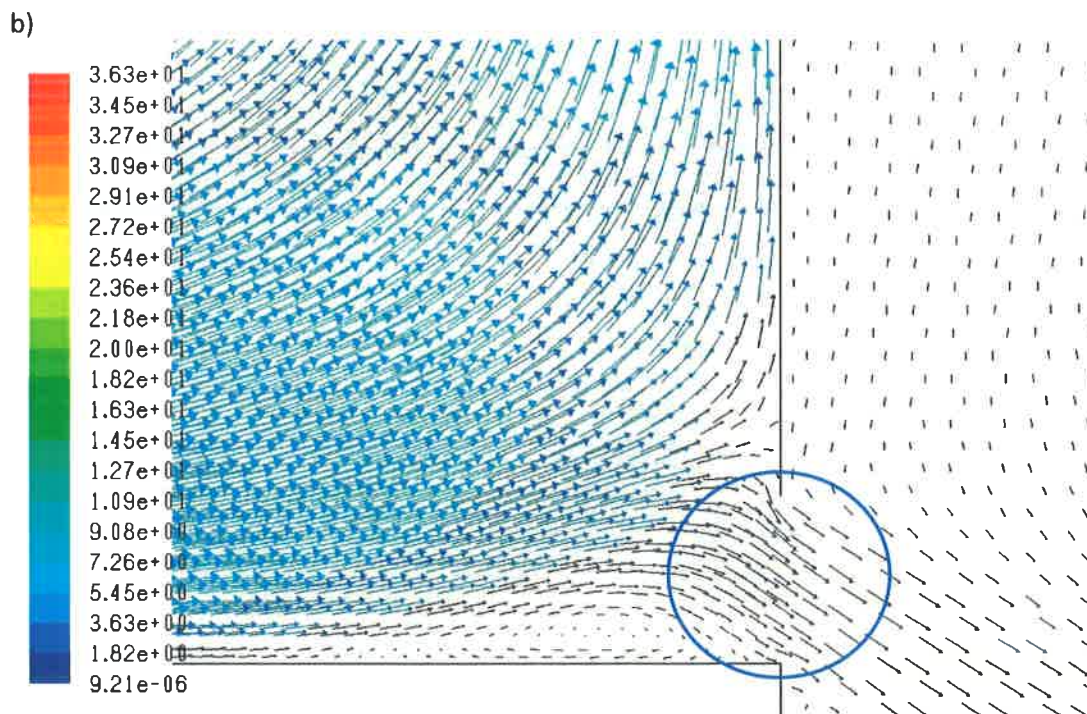
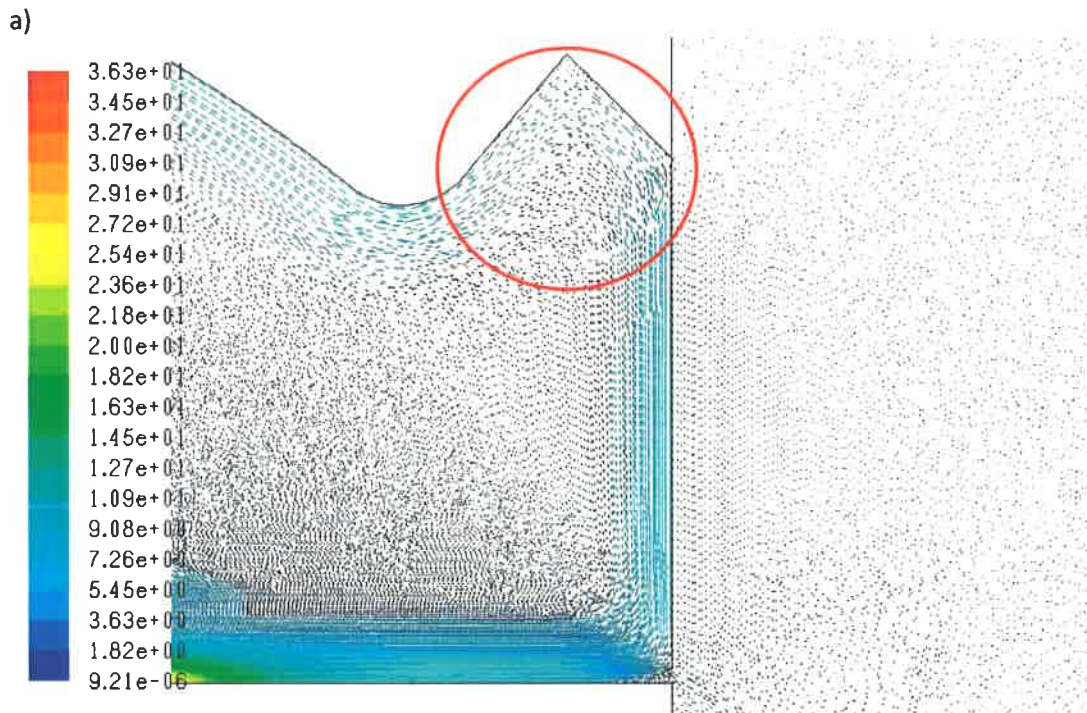
- podciśnienie w króćcu wylotowym obudowy górnej – 200 Pa,
- podciśnienie w króćcu wylotowym koleby dolnej – 400 Pa,
- średnica piły \varnothing 450 mm,
- prędkość obrotowa piły 3 500 1/min,
- prędkość obrotowa podcinaka 8 500 1/min.

Rys. 3.25 pokazuje przepływ powietrza przez układ odpylania pilarki dla przypadku przecinania materiału bez uwzględnienia występowania noża rozdzielającego w tylnej części pilarki. Można zauważyć zachowanie się przepływu powietrza, które po wplynięciu do układu odpylania kierowane jest do króćców wylotowych koleby dolnej i obudowy górnej.



Rys. 3.25. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą \varnothing 450 mm przy pracy bez noża rozdzielającego i z przecinanym materiałem (opracowanie własne)

Rys. 3.26 przedstawia strefę mieszania powietrza w górnej części obudowy – tam gdzie znajduje się przestrzeń zajmowana przez uchwyt (zaznaczona czerwonym okręgiem na rys. 3.26a).

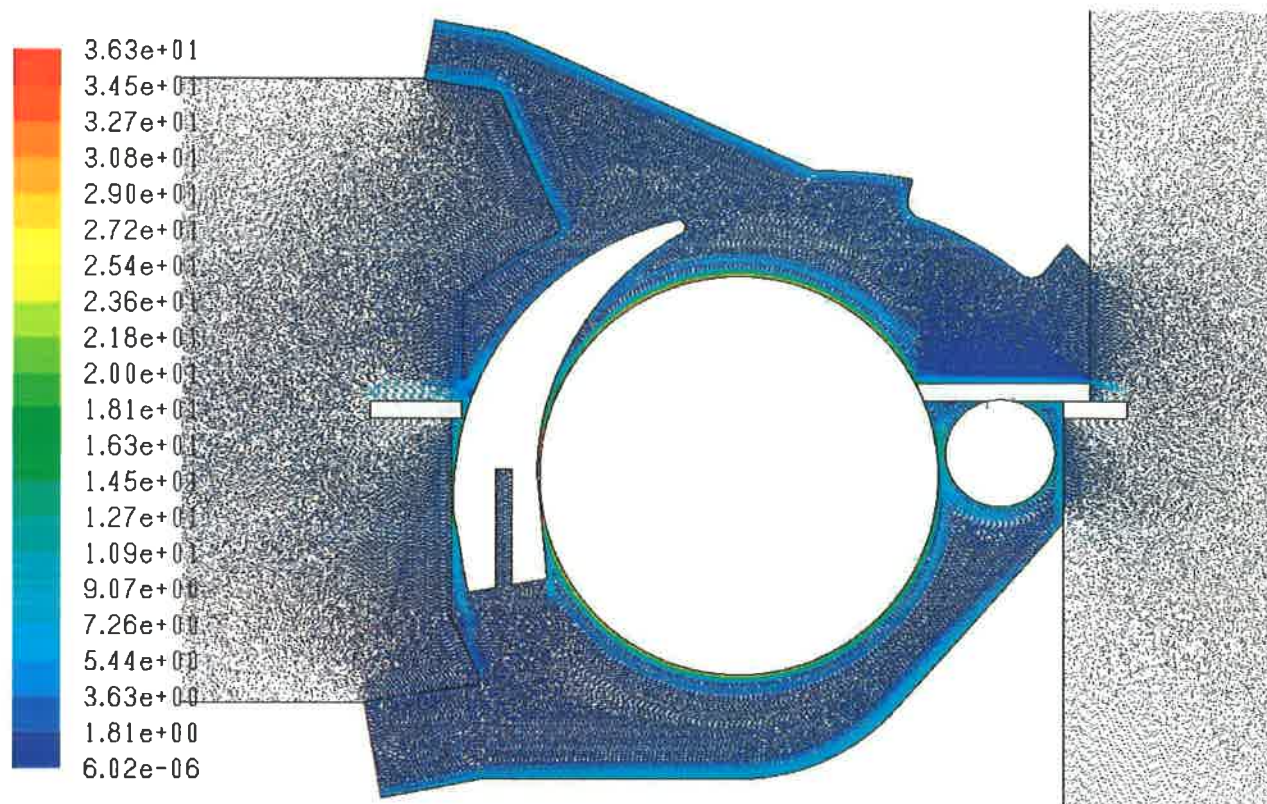


Rys. 3.26. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą $\varnothing 450$ mm:
 a) w górnej części obudowy górnej b) z przodu obudowy górnej (opracowanie własne)

Widać tutaj duże oddziaływanie obracającej się piły na przepływające medium i proces intensywnego mieszania z dopływającym powietrzem (zaznaczona zielonym okręgiem). Jest to spowodowane dużą wartością prędkości liniowej piły oraz kształtem obudowy górnej, która posiada tzw. przestrzeń martwą z której powietrze nie jest w stanie się wydostać. Oprócz tego można dokładnie zauważyć wpływ piły na wypychanie powietrza z obudowy górnej w jej przedniej

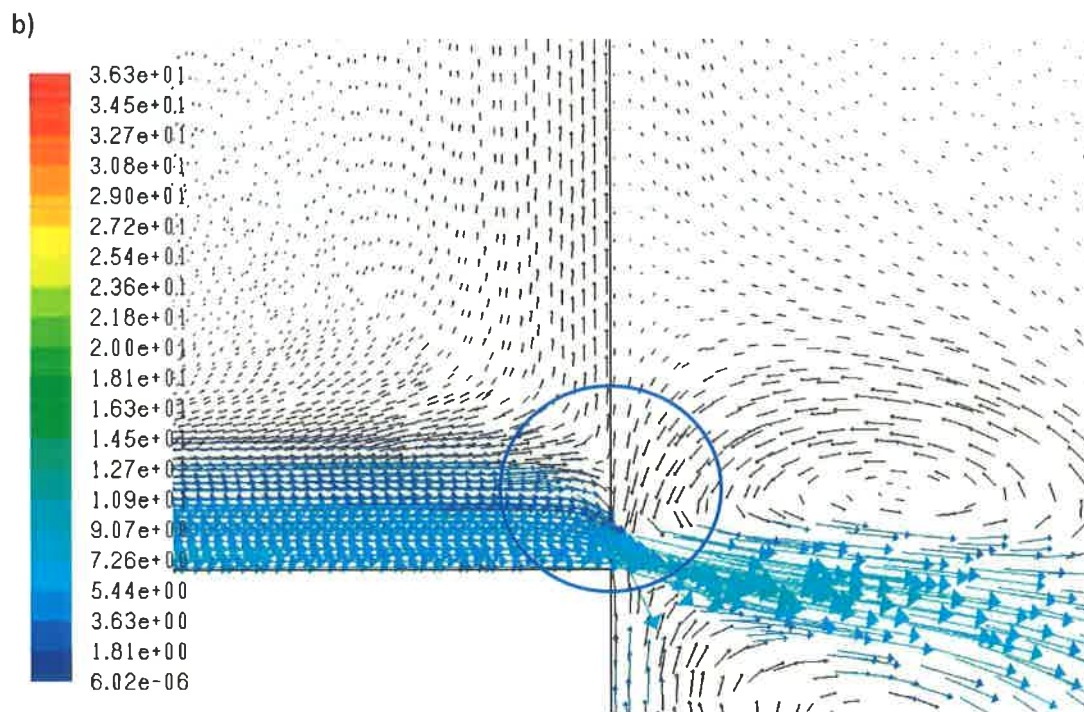
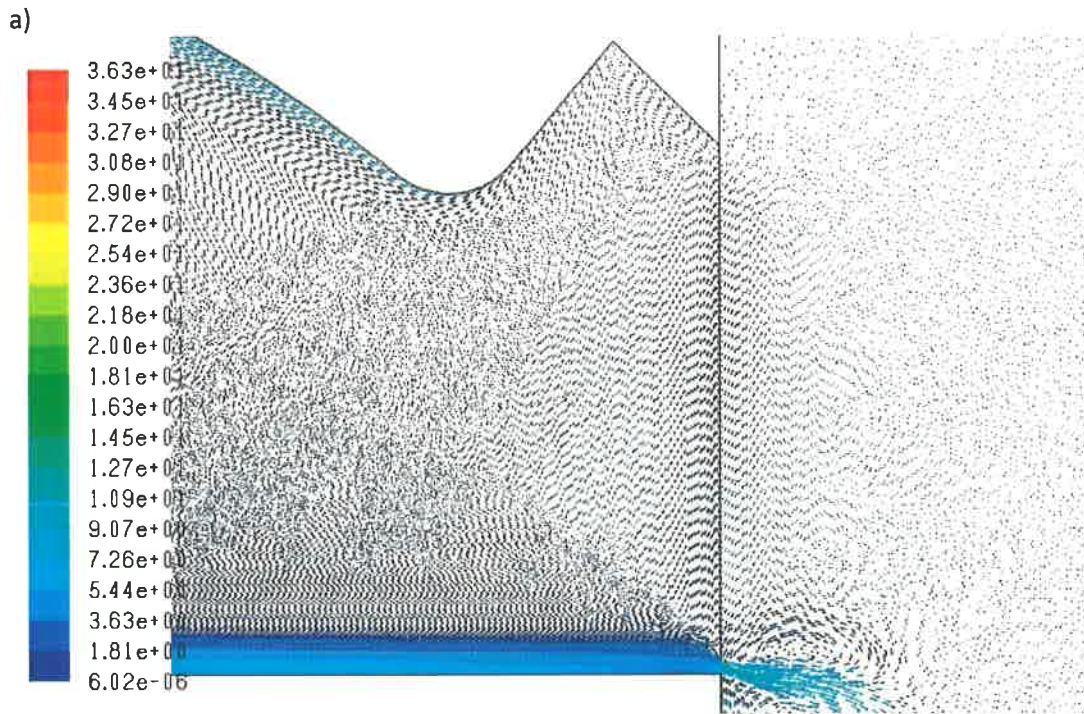
części (rys.3.26b). Jest to sumaryczny efekt prędkości liniowej piły oraz występowania małego podciśnienia (200 kPa) w króćcu wylotowym obudowy górnej (zaznaczony niebieskim okręgiem). Jest to zgodne z wynikami wcześniejszych badań eksperymentalnych.

Rys. 3.27. przedstawia wyniki obliczeń numerycznych przepływu powietrza dla przypadku, gdy w układzie pilarki występuje nóż rozdzielający.



Rys. 3.27. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą \varnothing 450 mm przy pracy z nożem rozdzielającym i z przecinanym materiałem (opracowanie własne)

Występowanie noża wpływa na mniej korzystny rozdział powietrza w tylnej części układu odpylania, rys. 3.27. Dodatkowo w części przedniej obudowy górnej można zauważyć, że powietrze jest wypychane do otoczenia z większą intensywnością w porównaniu z poprzednim przypadkiem (zaznaczony niebieskim okręgiem). Wartość prędkości jest tutaj większa, rys. 3.28. Nie występuje strefa zawirowania powietrza w górnej części obudowy górnej, w okolicy uchwytu. Jest to efekt mniejszego oddziaływania obracającej się piły na przepływające medium. Nóż rozdzielający jest przeszkodą dla przepływającego powietrza do króćca wylotowego koleby dolnej. Dodatkowo zmniejsza wpływ piły na przepływ powietrza. W tylnej części obudowy wpływające powietrze jest rozdzielane na dwa strumienie i przepływa do króćców wylotowych koleby dolnej i obudowy górnej.



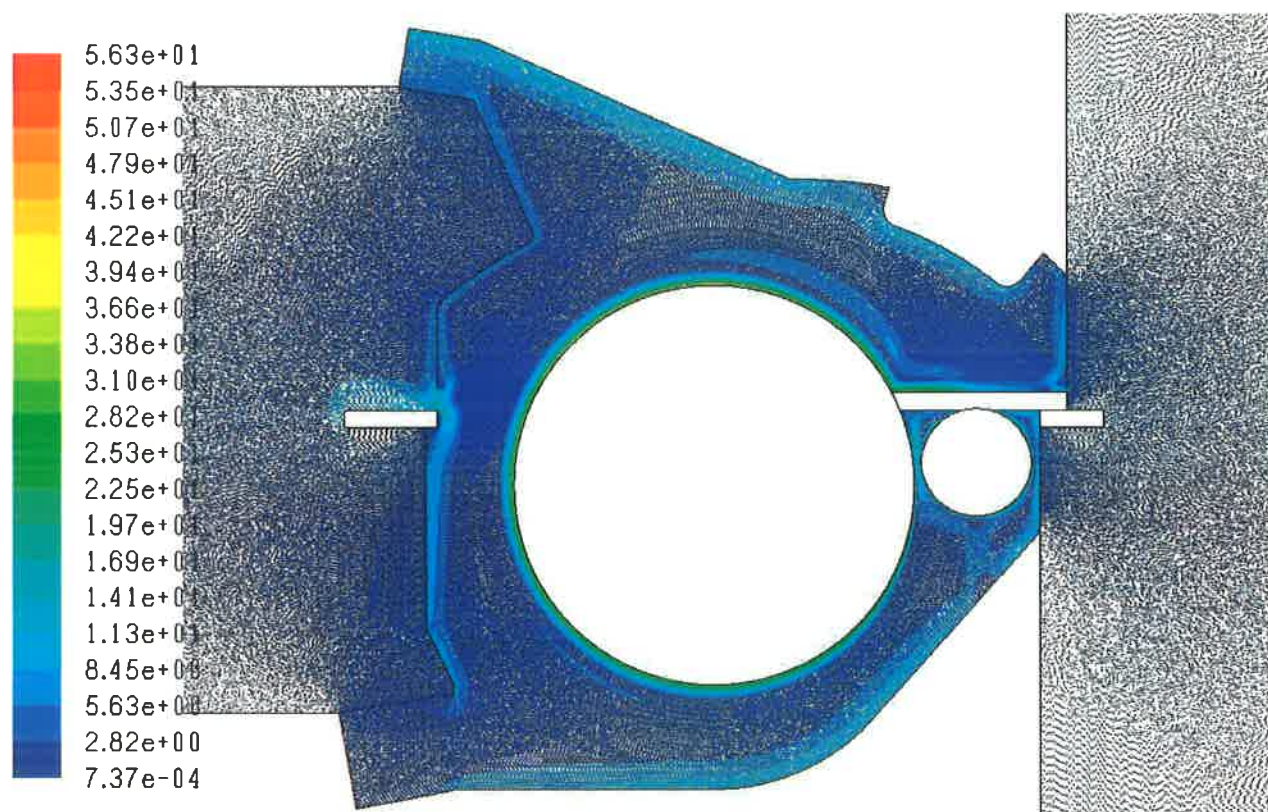
Rys. 3.28. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą $\varnothing 450$ mm:
a) w górnej części obudowy górnej b) z przodu obudowy górnej (opracowanie własne)

Widać, że powietrze w obudowie górnej oprócz wypychania do otoczenia jest kierowane ku jej górnej ścianie. Dodatkowo występuje obszar, gdzie wartości przepływu powietrza są małe, rys. 3.28.

3.8. Przypadek 8.

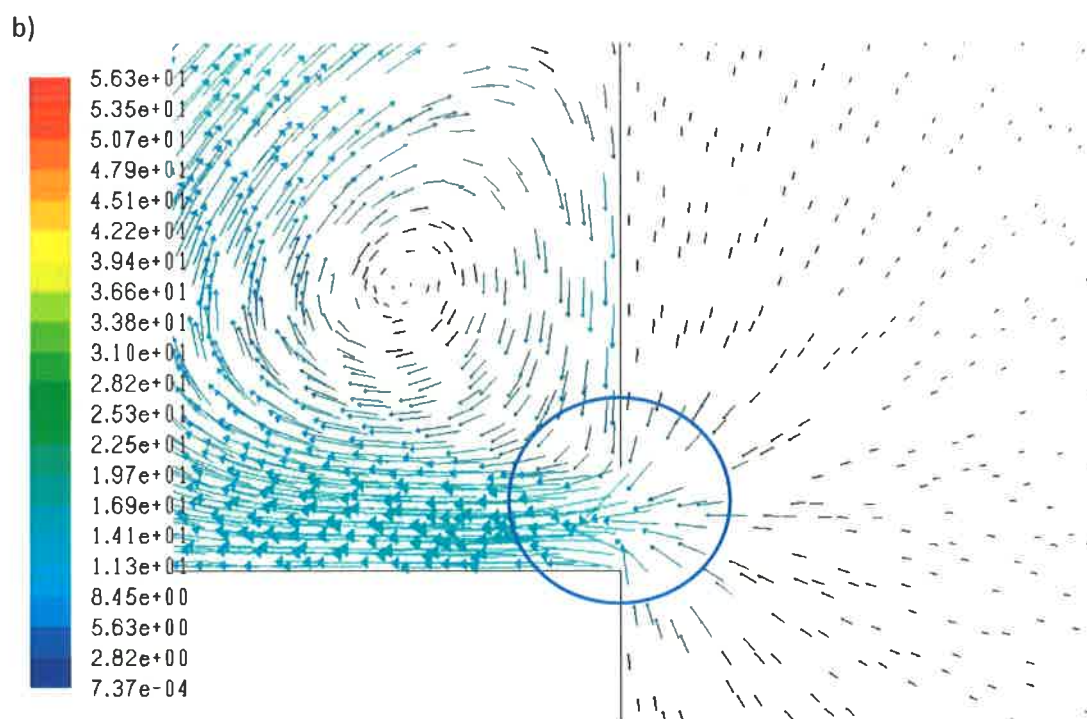
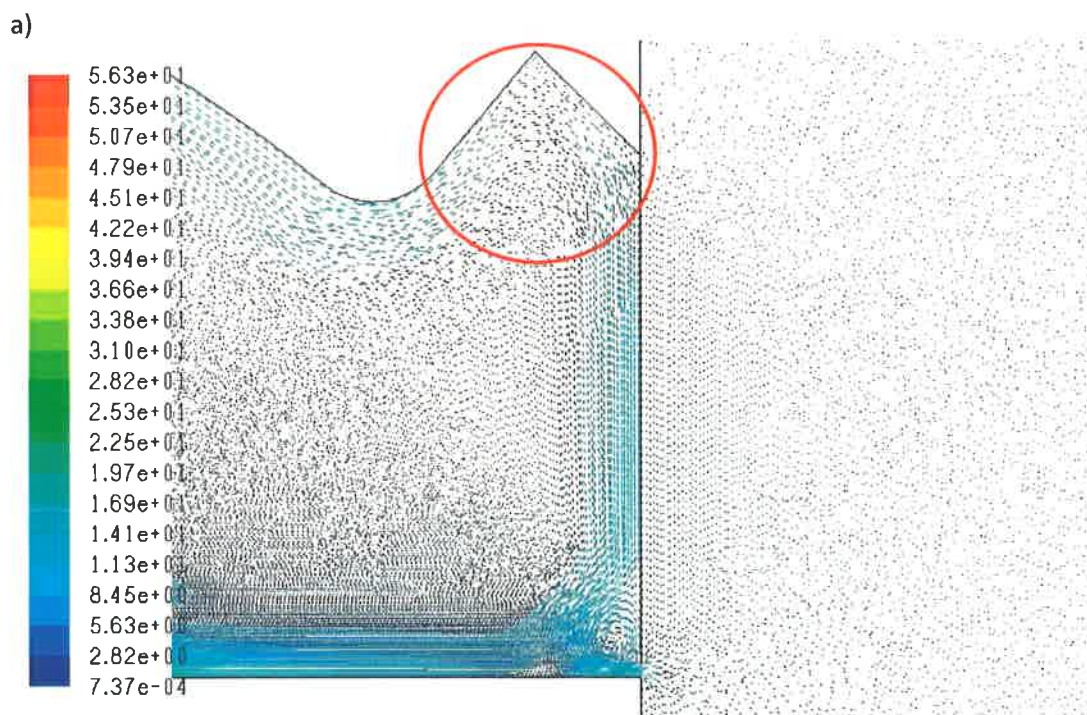
Na rys. 3.29 przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych pola wektorów prędkości układu odpylania pilarki formatowej dla następujących warunków brzegowych:

- podciśnienie w obu króćcach wylotowych – 400 Pa,
- średnica piły \varnothing 450 mm,
- prędkość obrotowa piły 3 500 1/min,
- prędkość obrotowa podcinaka 8 500 1/min.



Rys. 3.29. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą \varnothing 450 mm przy pracy bez z noża rozdzielającego i z przecinanym materiałem (opracowanie własne)

Uzyskane wyniki obliczeń potwierdzają, że wzrost podciśnienia w króćcu obudowy górnej układu odpylania wpływa korzystnie na przepływ powietrza oraz jego dopływ z otoczenia do przedniej części obudowy, rys. 3.30b. W tym przypadku strefa zawirowania w przedniej części obudowy górnej występuje a oddziaływanie obracającej się piły jest zmniejszone (zaznaczona niebieskim okręgiem). Powietrze przepływa po ścianie obudowy górnej w kierunku wylotu. W górnej części obudowy powietrze jest usuwane. Kształt obudowy górnej, tzw. miejsca na uchwyt ma wpływ na występowanie strefy zawirowania (zaznaczona czerwonym okręgiem). W tylnej części obudowy dopływające powietrze jest rozdzielane na dwa strumienie i przepływa do króćców wylotowych koleby dolnej i obudowy górnej.



Rys. 3.30. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą $\varnothing 450$ mm:
 a) w górnej części obudowy górnej b) z przodu obudowy górnej (opracowanie własne)

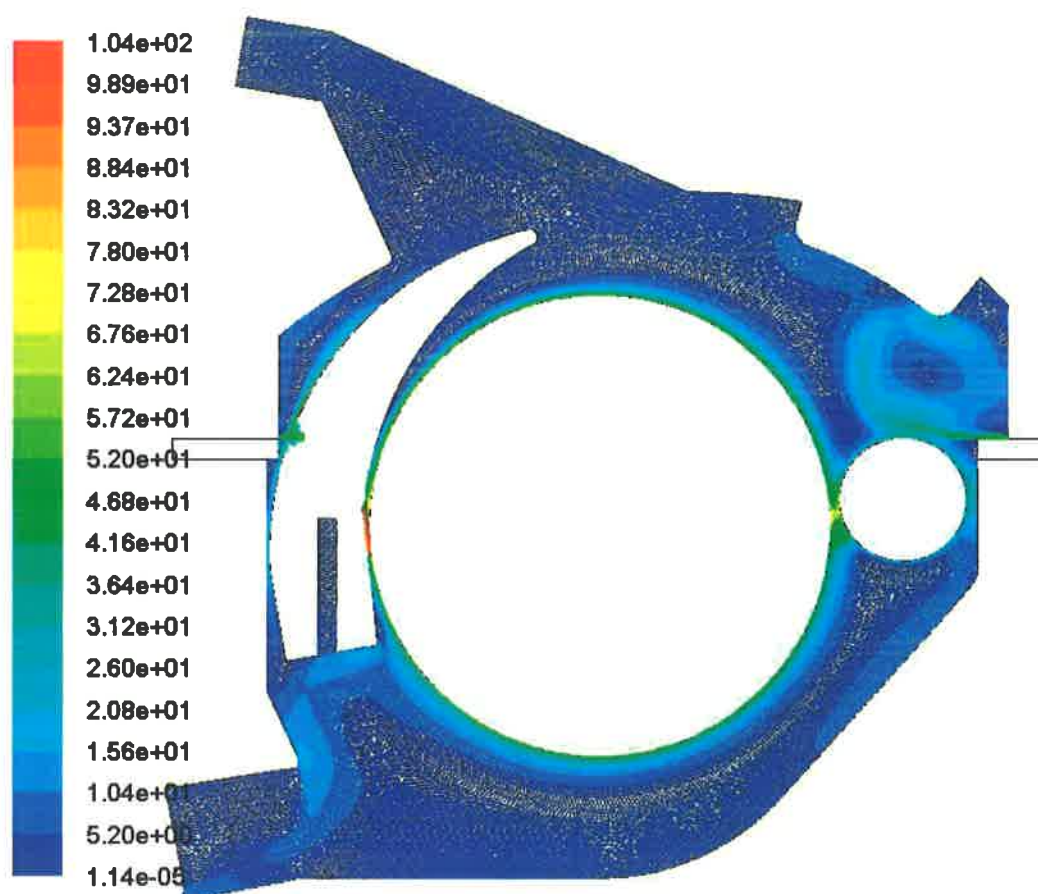
Widać, że zwiększenie podciśnienia z 200 Pa do 400 Pa spowodowało pozytywną zmianę kierunku przepływu powietrza, nie występuje już wypychanie powietrza na zewnątrz.

3.9. Przypadek 9.

Na Rys. 3.31 przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych pola wektorów prędkości układu odpylania pilarki formatowej dla następujących warunków brzegowych:

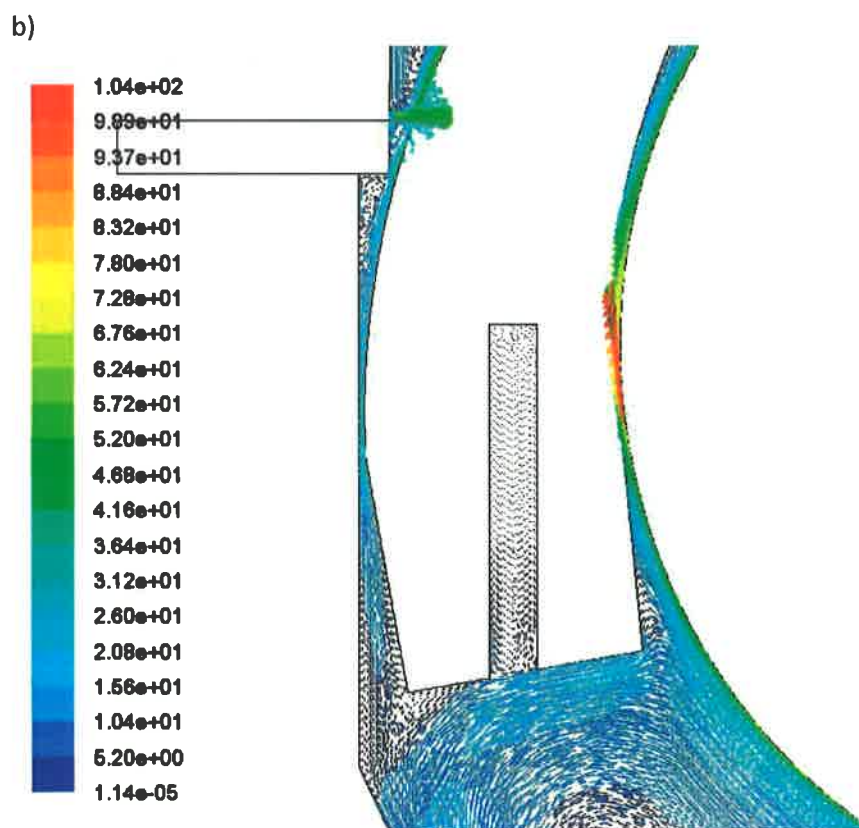
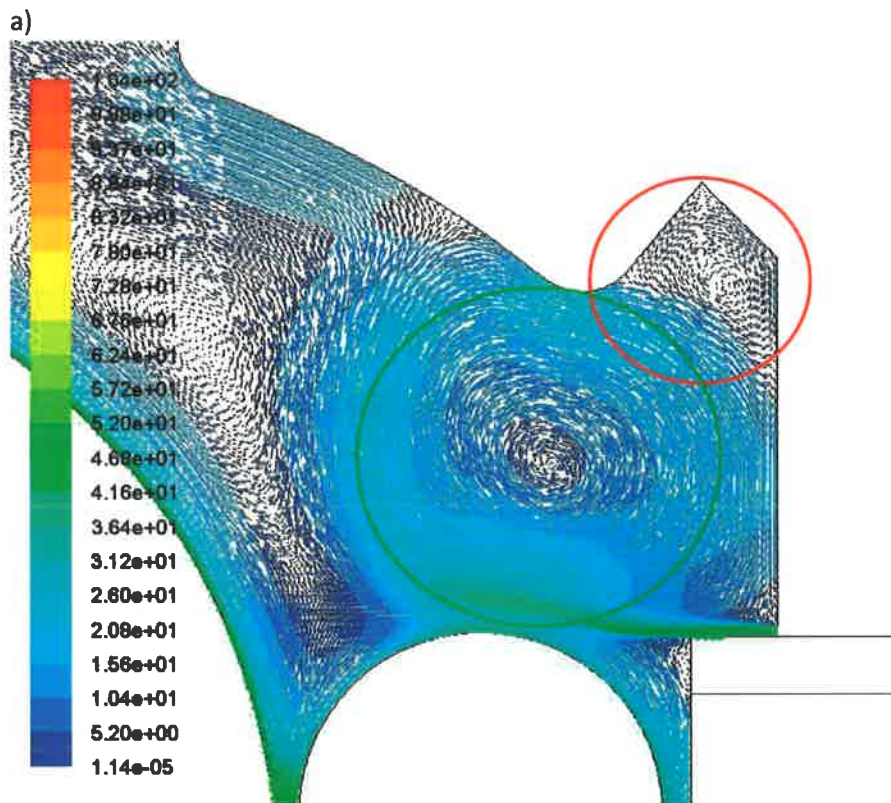
- podciśnienie w obu króćcach wylotowych – 1500 Pa,
- średnica piły \varnothing 450 mm,
- prędkość obrotowa piły 3 500 1/min,
- prędkość obrotowa podcinaka 8 500 1/min.

W tym przypadku analizowano układ odpylania zarówno bez przecinanego materiału, jak i z przecinanym materiałem oraz nożem rozdzielającym.



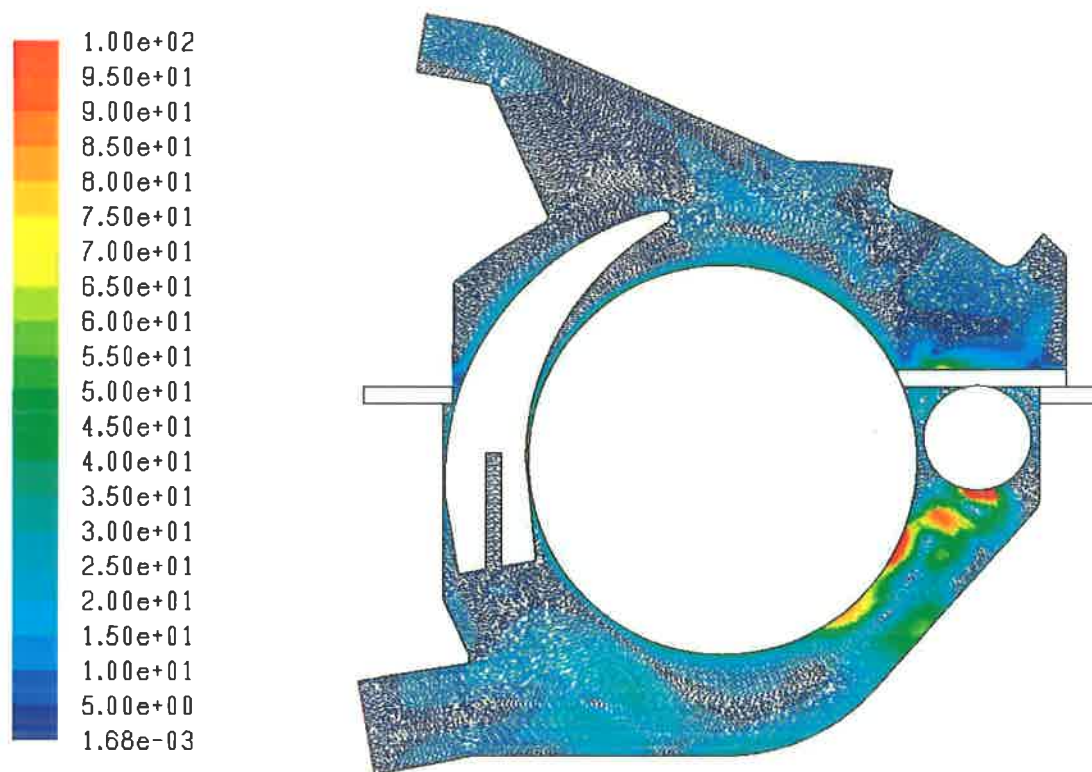
Rys. 3.31. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą \varnothing 450 mm przy pracy z nożem rozdzielającym i bez przecinanego materiału (opracowanie własne)

Pokazany na rys. 3.31 przypadek przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki występuje wówczas, gdy nie ma przecinania materiału. Może to być wówczas, gdy materiał jest przygotowywany do przecinania. W takim przypadku przepływ powietrza jest uzależniony od prędkości obrotowej piły i przecinaka oraz występowania noża rozdzielającego. W przedniej części obudowy górnej widać występowanie strefy o dużym zawirowaniu oraz silne przeciwne działanie obracających się odpowiednio piły i podcinaka, rys. 3.32a.



Rys. 3.32. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą $\varnothing 450$ mm:
a) od przodu, b) w tylnej części układu (opracowanie własne)

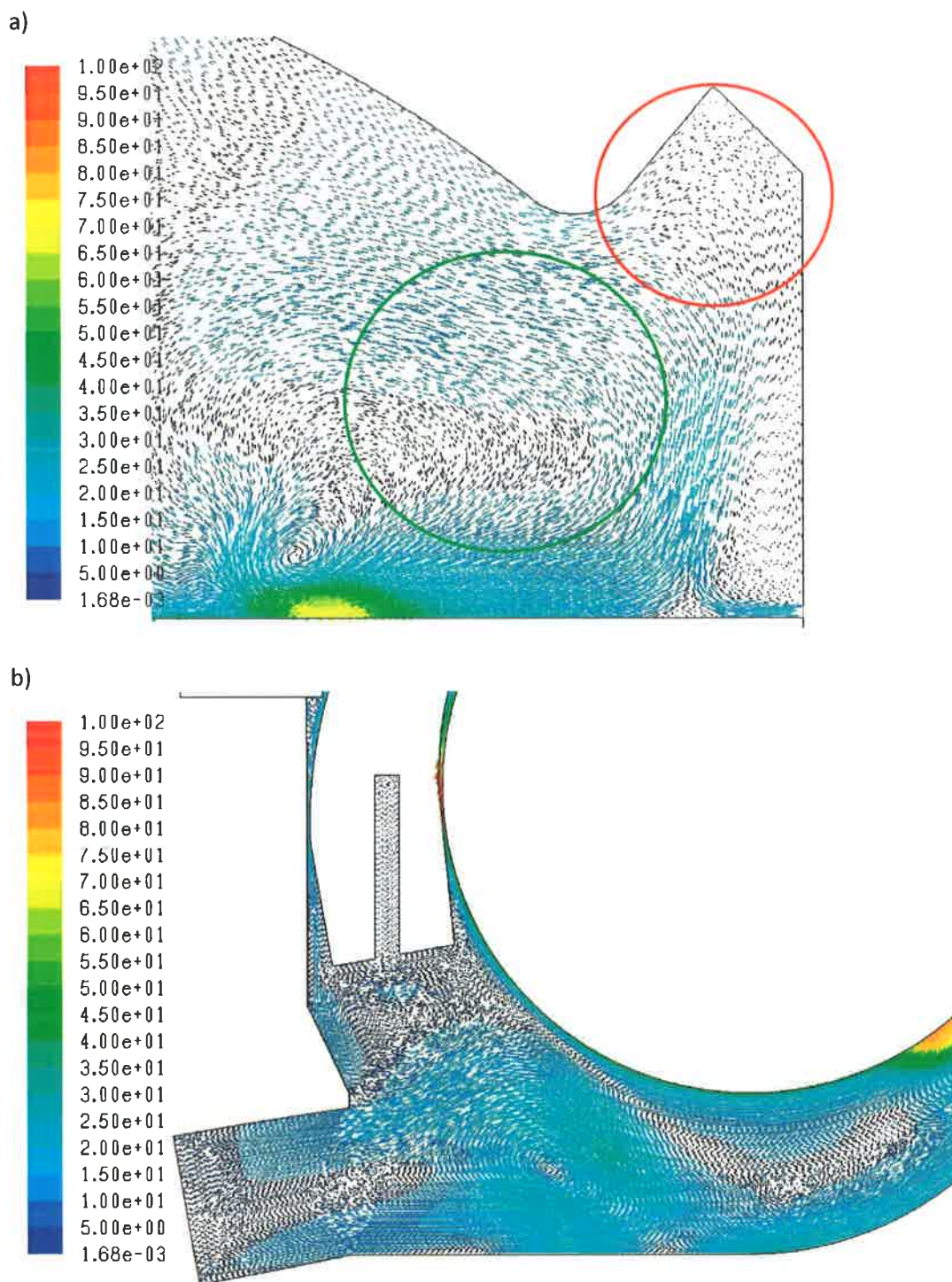
W tym przypadku, podobnie jak na rys. 3.30, duże wartości prędkości występują na wlocie powietrza do przestrzeni roboczej układu odpylania, a także między piłą a nożem rozdzielającym.



Rys. 3.33. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą \varnothing 450 mm przy pracy z nożem rozdzielającym i z przecinanym materiałem (opracowanie własne)

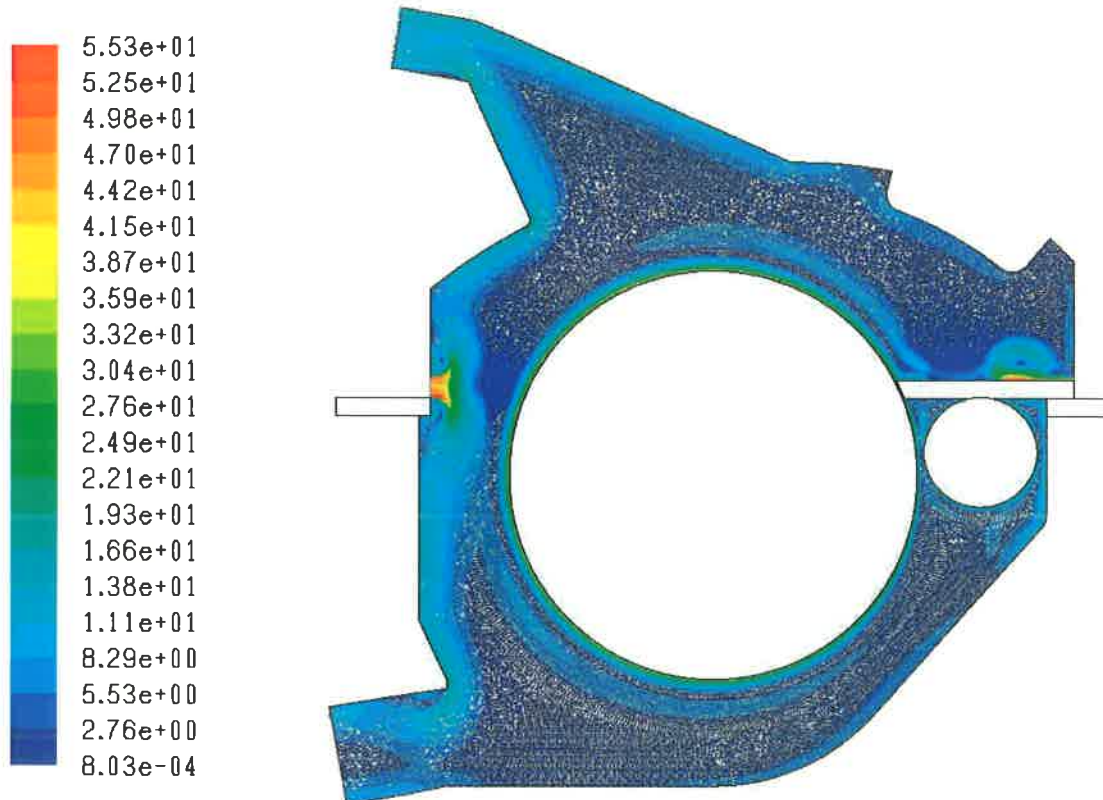
Dodatkowo w obszarze piły i przecinaka można zauważyć silne wzajemne oddziaływanie na powstanie zawirowań związanych z obracającymi się przeciwnie narzędziami.

Na rys. 3.34 widać, że duże prędkości występują w okolicy wlotu powietrza do przestrzeni roboczej układu odpylania. Dodatkowo występuje materiał, którego obecność wpływa na wielkość strefy mieszania, na którą oddziałuje obracająca się piła i medium wpływające do obszaru obudowy górnej (zaznaczona zielonym okręgiem). Tak jak we wszystkich poprzednich przypadkach, występuje również strefa martwa, z której powietrze nie ma możliwości wydostania się (zaznaczona czerwonym okręgiem).



Rys. 3.34. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą $\varnothing 450$ mm: a) od przodu, b) w tylnej części układu (opracowanie własne)

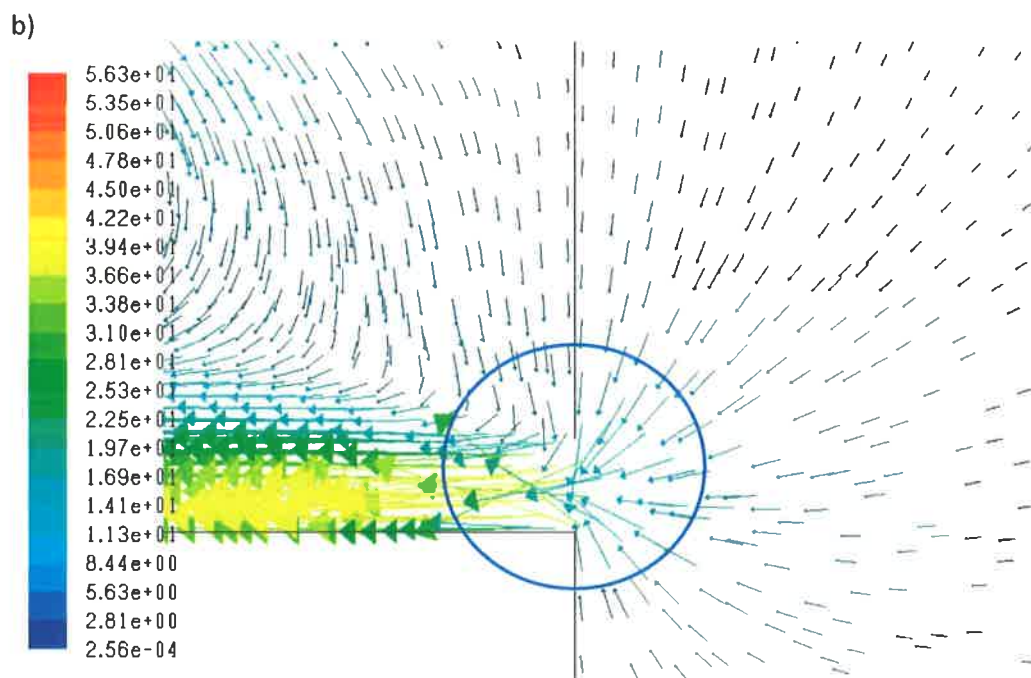
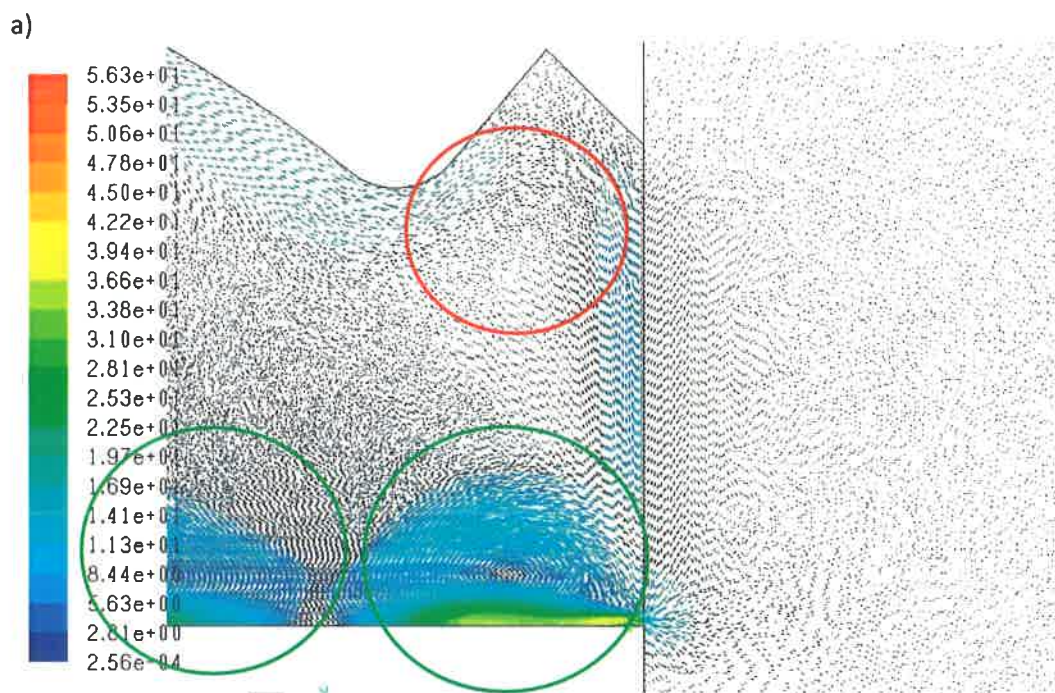
Z kolei rys. 3.35 pokazuje pole wektorów prędkości w obszarze przecinania materiału bez uwzględnienia obecności noża rozdzielającego. Widać silne oddziaływanie obracającej się piły na wpływające do obudowy górnej powietrze z zewnątrz. Dodatkowo, z uwagi na dużą wartość prędkości obrotowej podcinaka można zauważyć jego oddziaływanie na przepływ medium przy piłę pod przecinanym materiałem.



Rys. 3.35. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą \varnothing 450 mm przy pracy z przecinanym materiałem bez noża rozdzielającego (opracowanie własne)

Rys. 3.36a przedstawia pole przepływu w przedniej części obudowy górnej układu odpylania. Przy miejscu uchwytu występuje strefa cyrkulacji (zaznaczona czerwonym okręgiem), która utrudnia przepływ powietrza i zabieranie wiórów. Rys. 3.36b pokazuje, że powietrze nie tylko jest doprowadzane z otoczenia w porównaniu do wypychania w przypadku 7 (rys. 3.26b), ale odbywa się ze znacznie większą prędkością, niż w przypadku 8 (rys. 3.30b).

Dodatkowo wpływające powietrze do obudowy górnej i prędkość obrotowa piły powodują, że nad przecinanym materiałem powstają dwie strefy cyrkulacji (zaznaczone zielonymi okręgami). Oprócz tego widać dokładnie charakter wpływającego z otoczenia powietrza do osłony górnej (zaznaczony niebieskim okręgiem rys. 3.36b.).



Rys. 3.36. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą \varnothing 450 mm:
a) w górnej części obudowy górnej b) z przodu obudowy górnej (opracowanie własne)

4. OBLICZENIA NUMERYCZNE I ANALIZA WYNIKÓW MODYFIKOWAKCJI KSZTAŁTU KOLEBY DOLNEJ

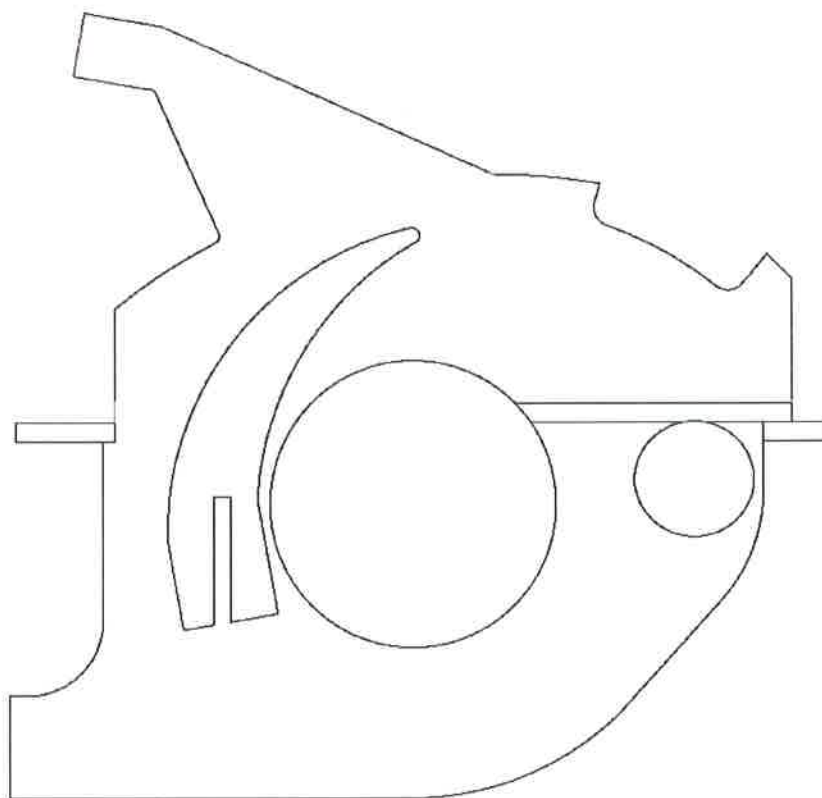
DZIAŁANIE 1.6 - 1.7.

Po przeanalizowaniu warunków przepływowych występujących w bazowym układzie odpylania pilarki przeprowadzono obliczenia numeryczne z piłą $\varnothing 300$ mm oraz $\varnothing 450$ mm dla różnych propozycji zmian kształtu koleby dolnej (wersje do I do VI) dla stałych warunków brzegowych występujących w króćcach wylotowych. Wyniki obliczeń zostały przedstawione poniżej. W wersji II zmodyfikowano obudowę górną aby w wersji III przedstawić wpływ zastosowania przegród na przepływ powietrza w kolebie dolnej i obudowie górnej układu odpylania. Analiza wpływu zmian kształtu samej obudowy górnej przedstawiona zostanie w rozdziale 5.

Wersja I

Modyfikacja polegała na zmianie kształtu tylnej części konstrukcji koleby dolnej poprzez zastosowanie pionowej ścianki tylnej.

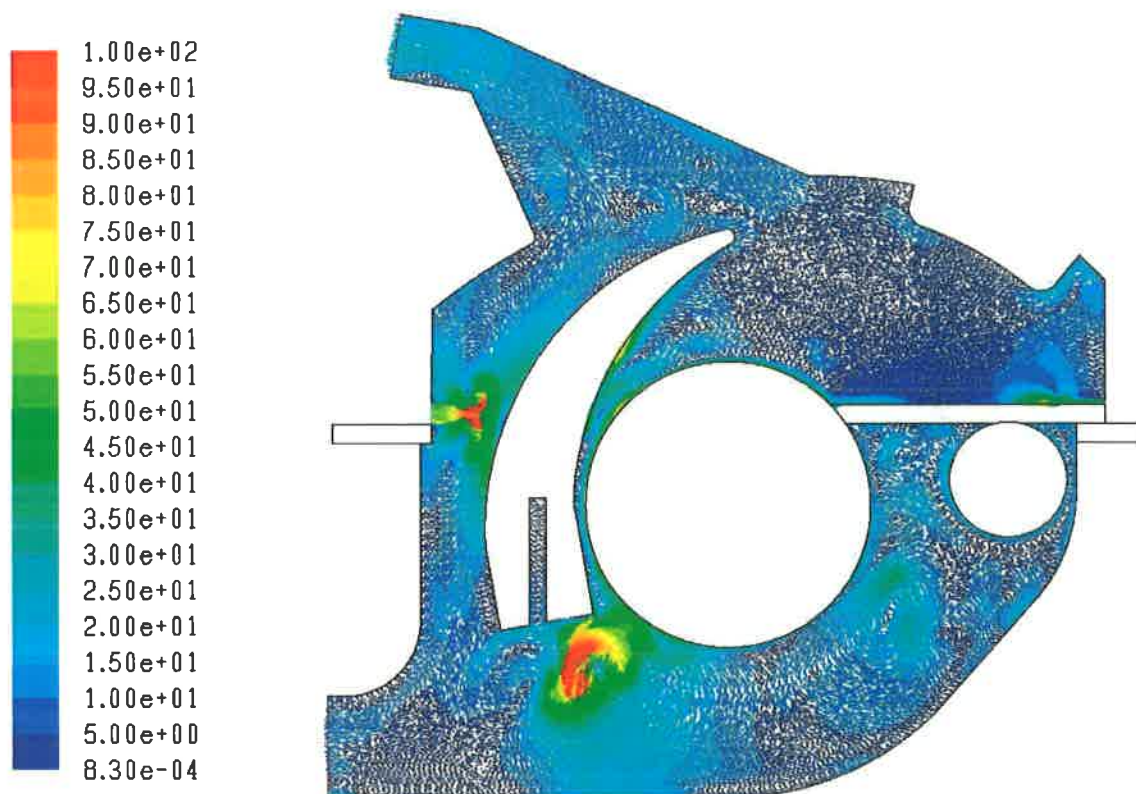
Na rys. 4.1 przedstawiono przekrój pilarki o zmodyfikowanym kształcie koleby dolnej.



Rys. 4.1. Przygotowana propozycja modelu numerycznego układu odpylania pilarki z piłą $\varnothing 300$ mm ze zmodyfikowanym kształtem koleby dolnej z przecinanym materiałem i z nożem rozdzielającym (opracowanie własne)

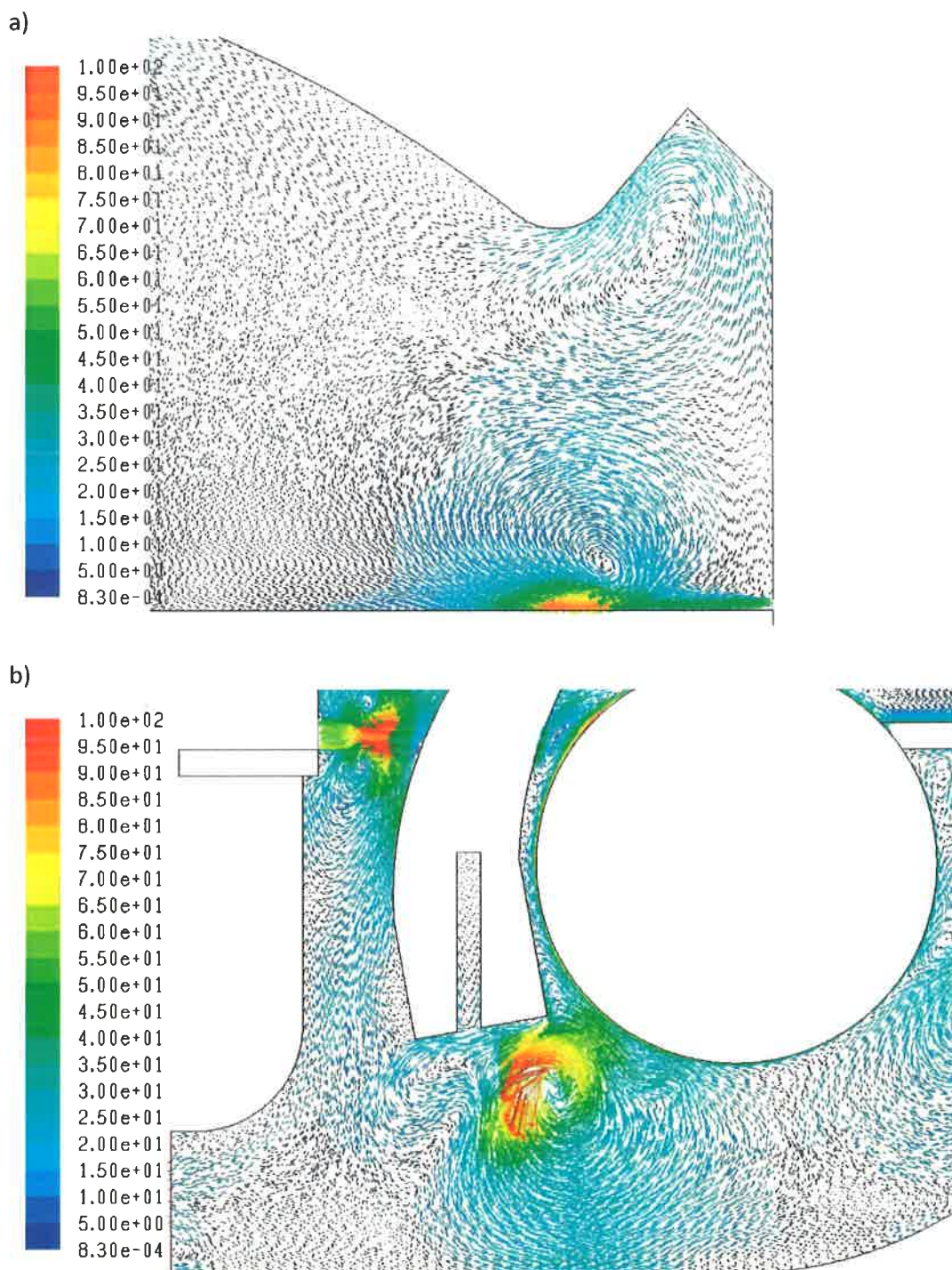
Na rys. 4.2 - 4.3 pokazano wyniki obliczeń numerycznych pola wektorów prędkości dla następujących warunków brzegowych:

- średnica piły \varnothing 300 mm,
- podciśnienie w obu króćcach wylotowych – 1 500 Pa,
- prędkość obrotowa piły 3 500 1/min,
- prędkość obrotowa podcinaka 8 500 1/min.



Rys. 4.2. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą \varnothing 300 mm przy pracy z przecinanym materiałem i z nożem rozdzielającym (opracowanie własne)

Otrzymane wyniki obliczeń pokazują, że przy niższych prędkościach obrotowych piły oraz dużym podciśnieniu w króćcach wylotowych obudowy górnej i koleby dolnej przepływ powietrza jest skierowany do wylotów. Dodatkowo powietrze w górnej części układu przepływa wzdłuż ścianki obudowy górnej w kierunku wylotu i jest usuwane. W tylnej części obudowy dopływające powietrze jest rozdzielane na dwa strumienie i przepływa do króćców wylotowych koleby dolnej i obudowy górnej. W kolebie dolnej przepływ powietrza jest zaburzony występowaniem noża rozdzielającego. Zmieniony kształt koleby dolnej nie wpływa znacząco na poprawę usuwania powietrza z układu odpylania pilarki. Zwiększone pole przepływu w dolnej części może zmniejszyć efekt usuwania czynnika spod piły i noża.



Rys. 4.3. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą $\varnothing 300$ mm:
 a) od przodu obudowy górnej, b) w tylnej części układu (opracowanie własne)

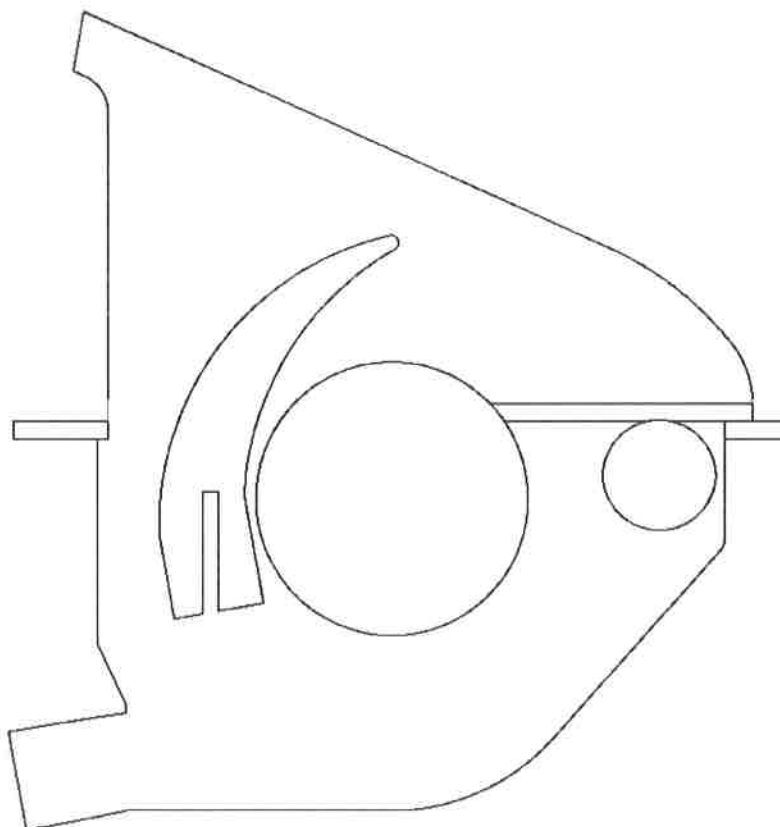
Na rys. 4.3. widać, że wymuszony przepływ powietrza przez obracającą się piłę oraz nóż rozdzielający wywołuje powstanie strefy zawirowania powietrza, które następnie kierowane jest do króćca wylotowego.

Wersja II

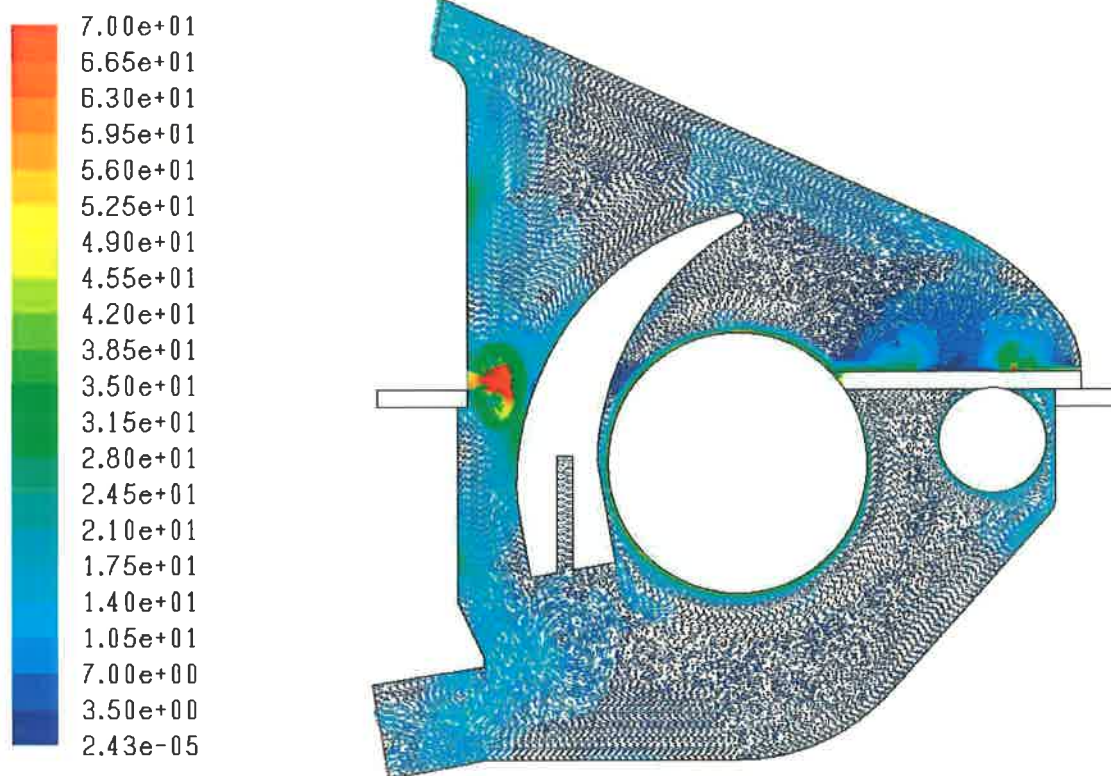
Modyfikacja polegała na zmianie kształtu tylnej części konstrukcji obudowy górnej poprzez zastosowanie pionowej ścianki tylnej. Koleba dolna miała natomiast kształt bazowy.

Na rys. 4.4 przedstawiono widok układu odpylania pilarki o zmodyfikowanym kształcie obudowy górnej, a na rys. 4.5 - 4.6 wyniki obliczeń numerycznych pola wektorów prędkości dla następujących warunków brzegowych:

- średnica piły \varnothing 300 mm,
- podciśnienie w obu króćcach wylotowych – 1500 Pa,
- prędkość obrotowa piły 3 500 1/min,
- prędkość obrotowa podcinaka 8 500 1/min.



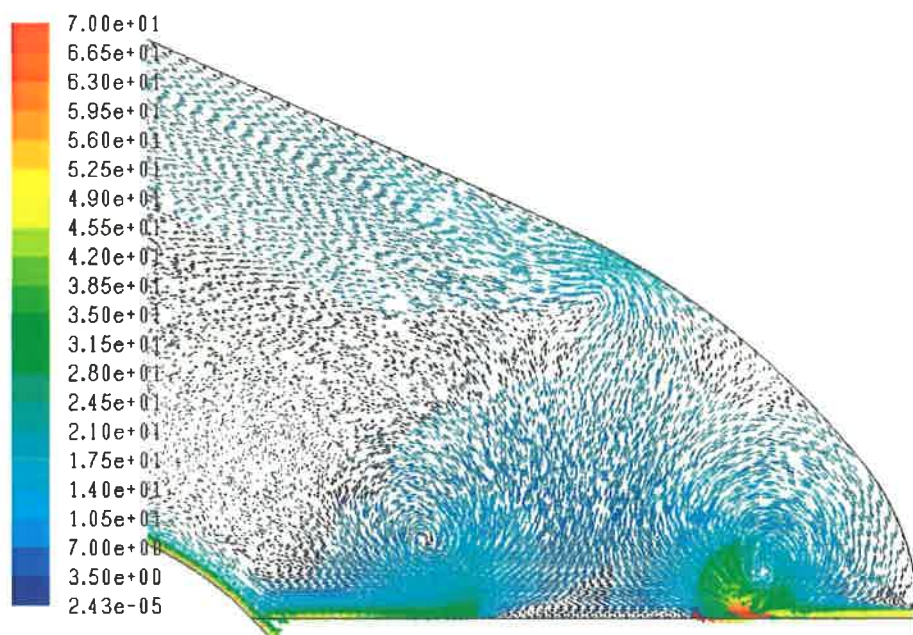
Rys. 4.4. Przygotowana propozycja modelu numerycznego układu odpylania pilarki z piłą \varnothing 300 mm ze zmodyfikowanym kształtem obudowy górnej z przecinanym materiałem i z nożem rozdzielającym (opracowanie własne)



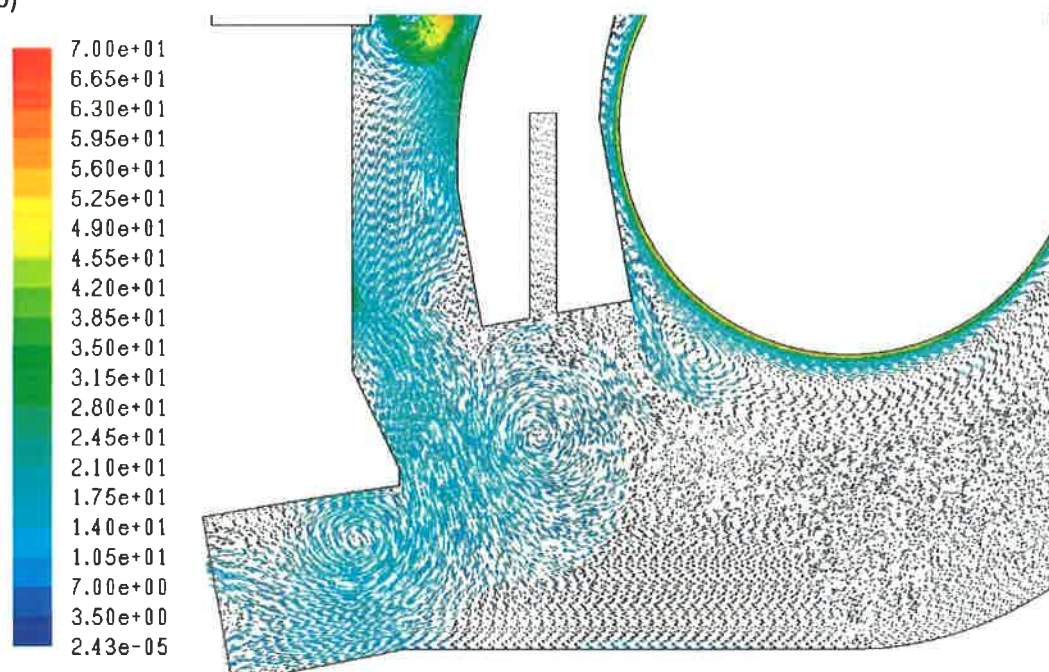
Rys. 4.5. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą $\varnothing 300$ mm ze zmodyfikowanym kształtem obudowy górnej przy pracy z przecinanym materiałem i z nożem rozdzielającym (opracowanie własne)

W tym przypadku, podobnie jak na rys. 4.2, duże wartości prędkości występują na wlocie powietrza do przestrzeni roboczej układu odpylania. W części przedniej obudowy górnej widać duże oddziaływanie obracającej się piły na wpływające medium a także proces intensywnego mieszania z dopływającym powietrzem. Jest to spowodowane dużą wartością prędkości liniowej piły oraz kształtem obudowy górnej. Przy wlocie powietrza z zewnątrz można zauważyć strefę zawirowania, która jest wynikiem oddziaływania dwóch strumieni czynnika – pierwszego powstałego w wyniku obracania się piły oraz drugiego dopływającego z zewnątrz do przedniej części obudowy górnej, rys. 4.6a. Można również zauważyć, że przepływające powietrze swobodnie przepływa wzdłuż górnej krawędzi obudowy ku króćcowi wylotowemu. Podobna sytuacja występuje w tylnej części obudowy, gdzie powietrze wpływające jest rozdzielane na dwie strugi swobodnie przepływające do obu króćców układu odpylania. Dla tego przypadku zmieniony kształt obudowy górnej nie wpływa znacząco na poprawę usuwania powietrza z układu odpylania pilarki.

a)



b)



Rys. 4.6. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą \varnothing 300 mm:
a) w górnej części obudowy górnej, b) w tylnej części układu (opracowanie własne)

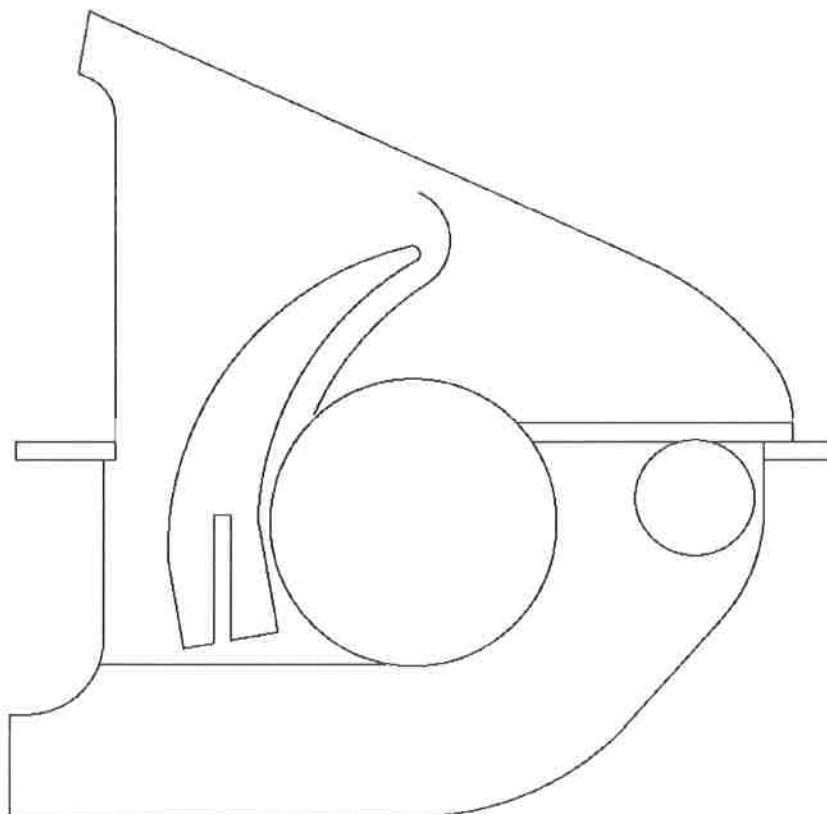
Na rys. 4.6b. można zauważyć, że w okolicy wylotu z koleby dolnej występuje obszar recyrkulacji powietrza związany z nożem rozdzielającym. Następnie powietrze to kierowane jest do króćca wylotowego.

Wersja III

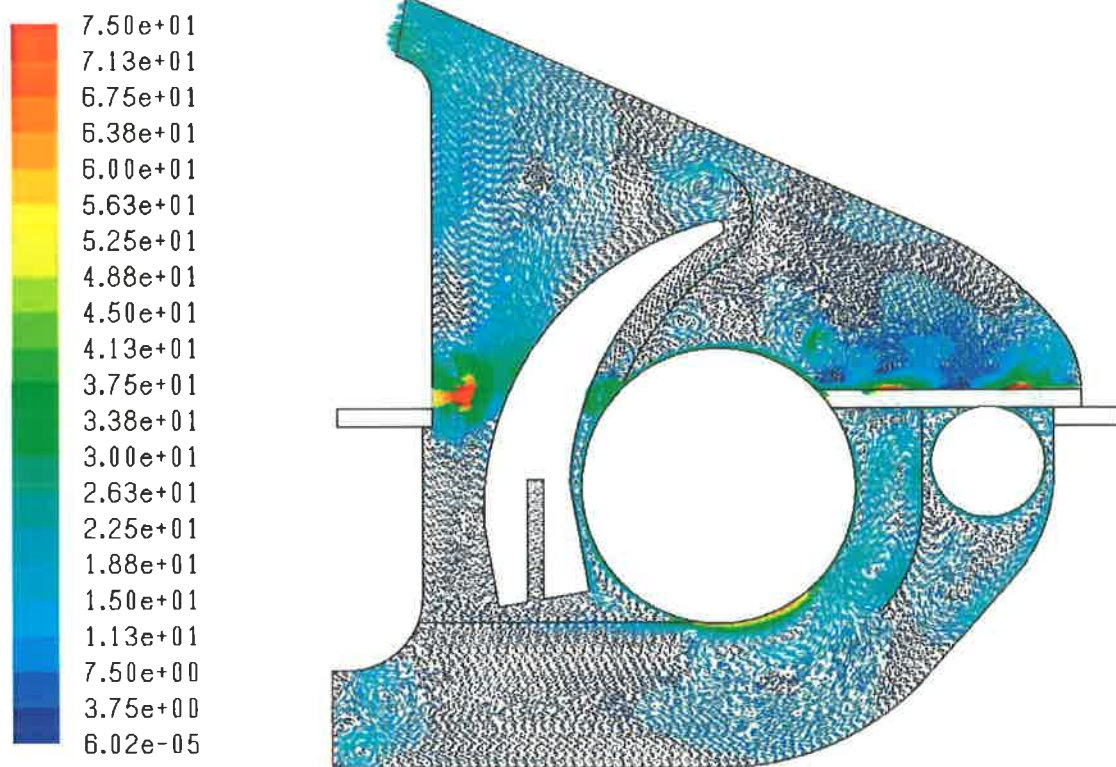
Modyfikacja polegała na zmianie kształtu tylnej części konstrukcji obudowy górnej i koleby dolnej poprzez zastosowanie pionowych ścianek tylnych i wstawienie dodatkowych przegród między piłą a podcinak, pod nóż rozdzielający oraz między piłą a nóż rozdzielający.

Na rys. 4.7 przedstawiono widok układu odpylania pilarki formatowej o zmodyfikowanym kształcie obudowy górnej i koleby dolnej wraz z wstawionymi przegradami oraz nożem rozdzielającym i przecinanym materiałem, a na rys. 4.8 - 4.9 wyniki obliczeń numerycznych pola wektorów prędkości dla następujących warunków brzegowych:

- średnica piły \varnothing 300 mm,
- podciśnienie w obu króćcach wylotowych – 1500 Pa,
- prędkość obrotowa piły 3 500 1/min,
- prędkość obrotowa podcinaka 8 500 1/min.



Rys. 4.7. Przygotowana propozycja modelu numerycznego układu odpylania pilarki z piłą \varnothing 300 mm ze zmodyfikowanym kształtem koleby dolnej i obudowy górnej przy pracy z przecinanym materiałem i z nożem rozdzielającym (opracowanie własne)



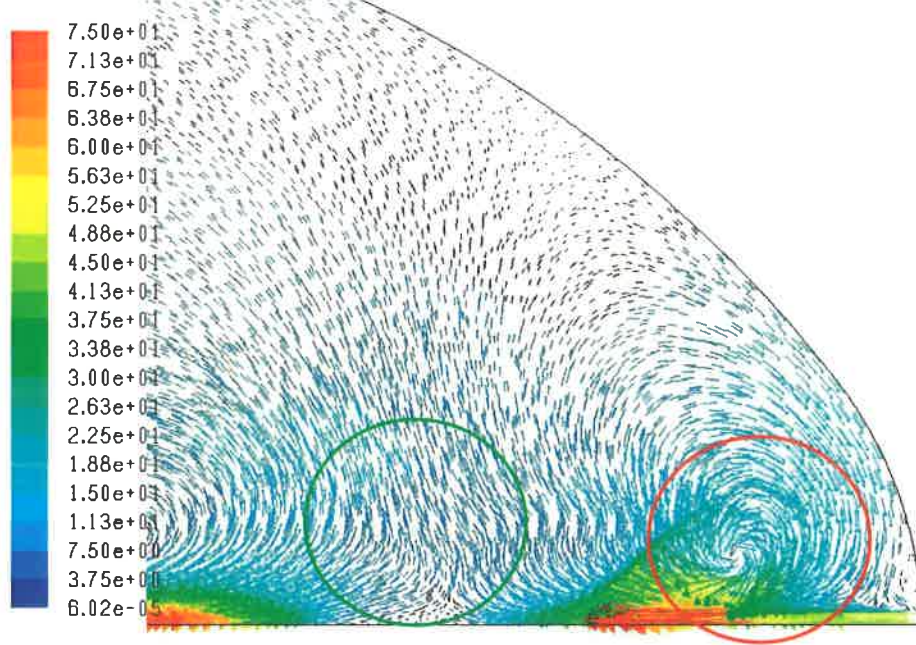
Rys. 4.8. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą $\varnothing 300$ mm ze zmodyfikowanym kształtem koleby dolnej i obudowy górnej przy pracy z przecinanym materiałem i z nożem rozdzielającym (opracowanie własne)

Uzyskane wyniki obliczeń przedstawiają, że zastosowanie dodatkowych przegród w okolicy noża rozdzielającego nie ma dużego wpływu na korzystniejszy przepływ powietrza. Znajdująca się poziomo pod nożem rozdzielającym przegroda pozioma stabilizuje przepływ medium z przedniej części koleby dolnej do wylotu. Może jednak uniemożliwić usuwanie wiórów z tylnej części koleby dolnej (jeżeli się tam przedostaną), będąc swego rodzaju przeszkodą przy przepływie powietrza tworząc zamkniętą przestrzeń. W przedniej części obudowy górnej widać oddziaływanie obracającej się piły na wpływające medium a także proces intensywnego mieszania z dopływającym powietrzem (zaznaczona zielonym okręgiem). Jest to spowodowane wartością prędkości liniowej piły oraz kształtem obudowy górnej. W tym przypadku zmieniony kształt obudowy górnej nie wpływa negatywnie na charakter przepływu i nie występuje niekorzystne zawirowanie pod ścianką górną obudowy. Przy wlocie powietrza z zewnątrz można zauważyć strefę zawirowania (zaznaczona czerwonym okręgiem), która jest wynikiem oddziaływania dwóch strumieni czynnika – pierwszego powstałego w wyniku obracania się piły oraz drugiego dopływającego z zewnątrz do przedniej części obudowy górnej, rys. 4.9a.

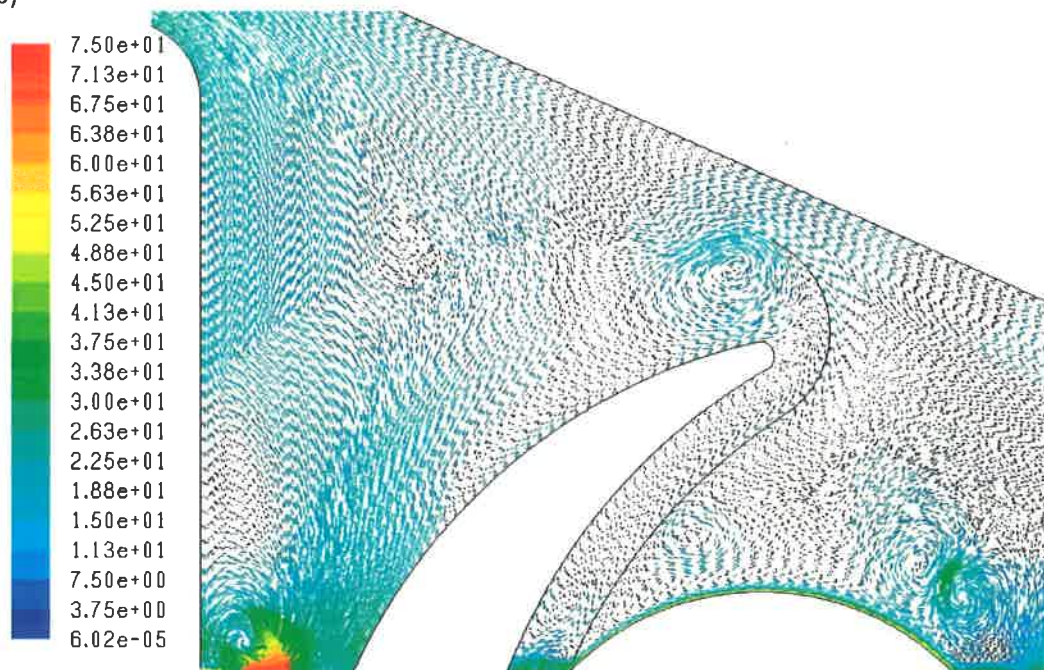
Z kolei w tylnej części obudowy dopływające powietrze jest kierowane do króćca wylotowego obudowy górnej. W kolebie dolnej przepływ powietrza jest zaburzony występowaniem noża rozdzielającego. Zmieniony kształt koleby dolnej nie wpływa znacząco na poprawę usuwania powietrza z układu odpylania pilarki a dodatkowa przegroda może utrudnić usuwanie wiórów.

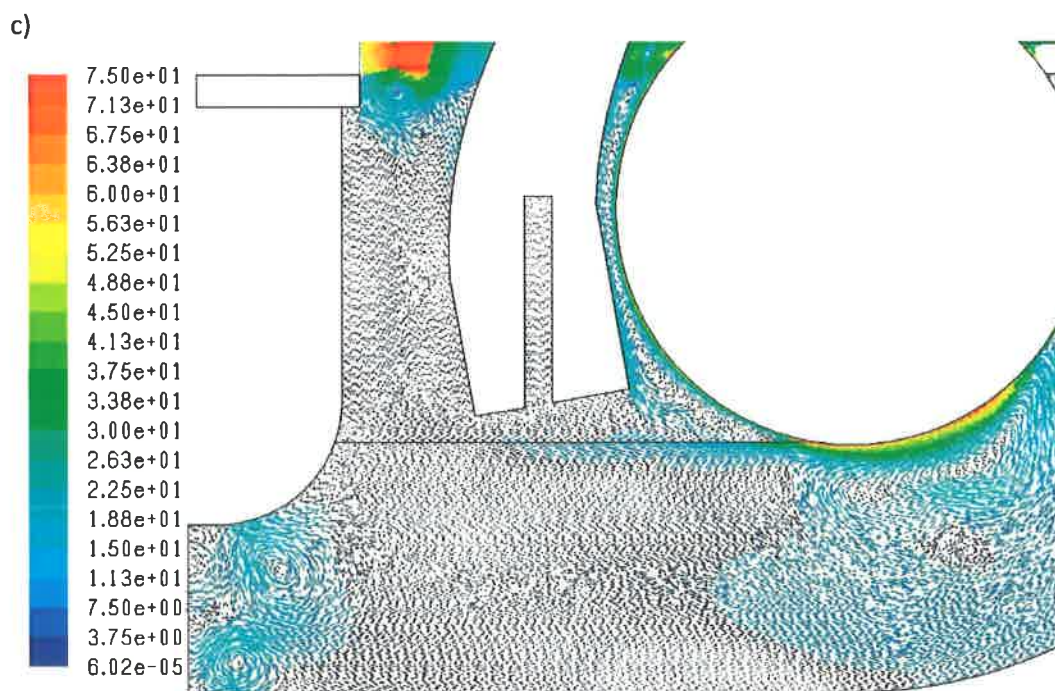
Występowanie przegrody w górnej części noża rozdzielającego zmniejsza przestrzeń przepływu powietrza w górnej części obudowy górnej i generuje powstawanie strefy zawirowania mogącej mieć niekorzystny wpływ na przepływ usuwanych wiórów.

a)



b)





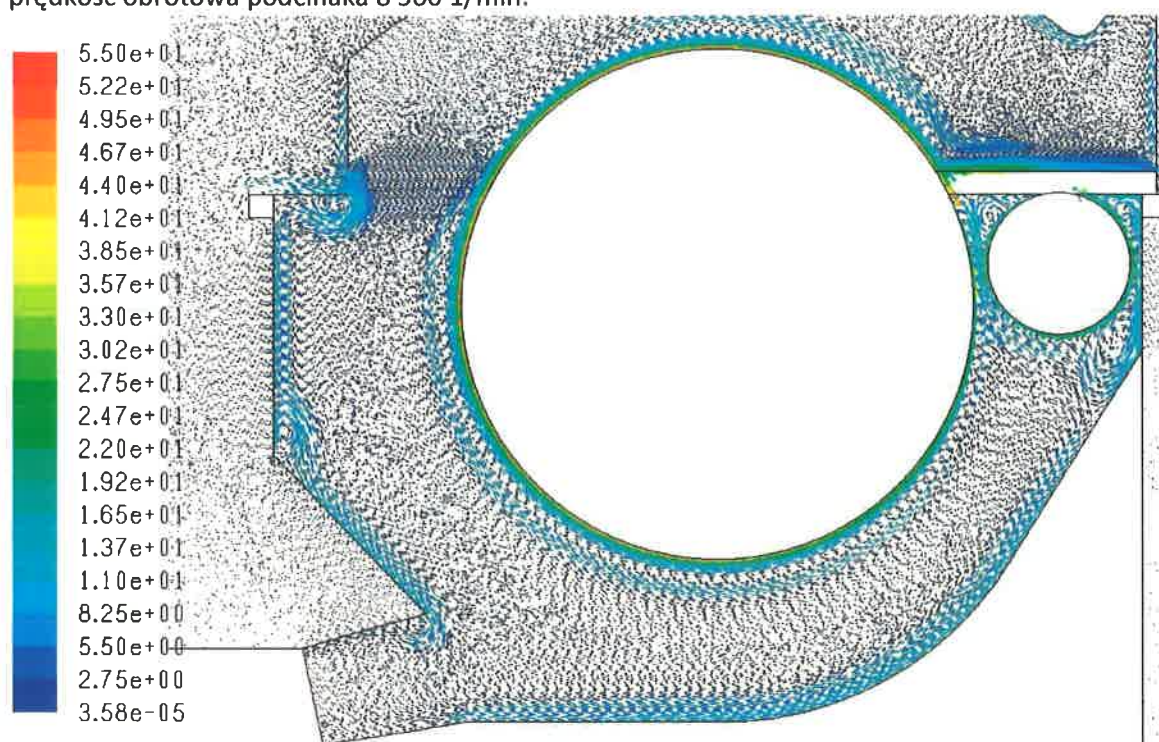
Rys. 4.9. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą \varnothing 300 mm:
a) w górnej części obudowy górnej, b) z przodu obudowy górnej c) w tylnej części układu
(opracowanie własne)

Wersja IV

W tym przypadku modyfikacja polega na zaokrągleniu krawędzi w przedniej części koleby i zmniejszeniu przestrzeni w tylnej części koleby poprzez „wpuszczenie” króćca wylotowego w jej konstrukcję.

Na rys. 4.10 pokazano wyniki obliczeń numerycznych pola wektorów prędkości dla następujących warunków brzegowych:

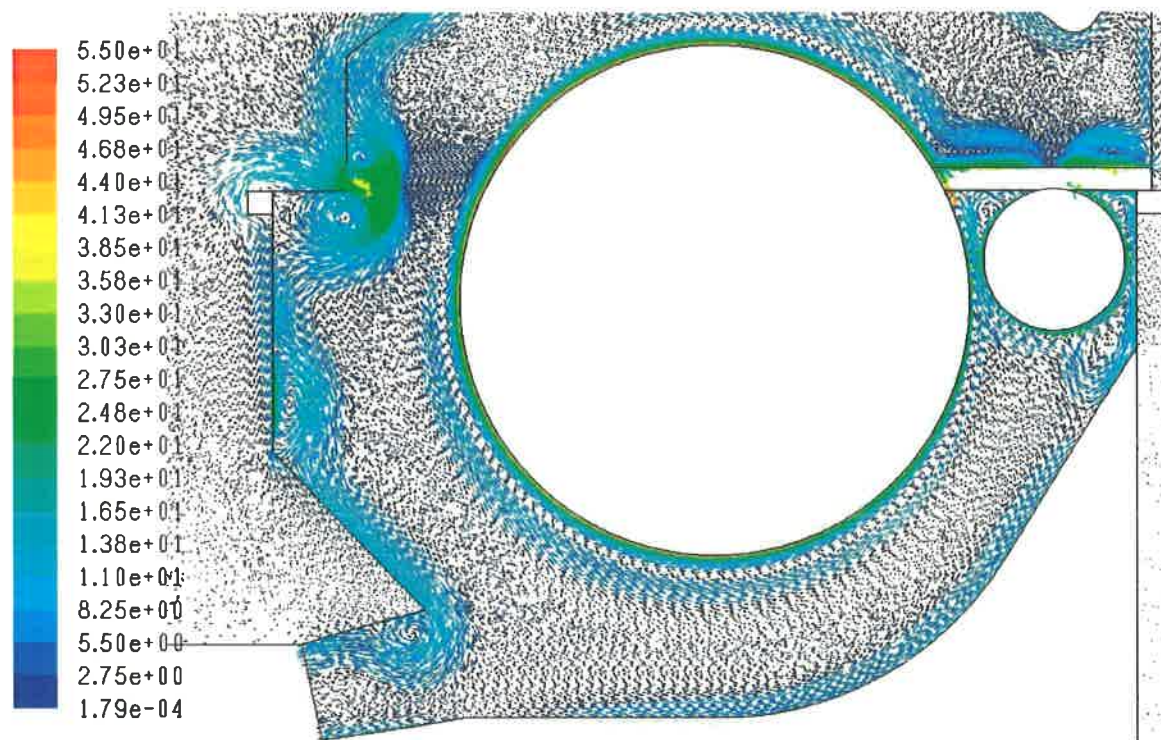
- średnica piły \varnothing 450 mm,
- podciśnienie w króćcu wylotowym obudowy górnej – 200 Pa,
- podciśnienie w króćcu wylotowym koleby dolnej – 400 Pa
- prędkość obrotowa piły 3 500 1/min,
- prędkość obrotowa podcinaka 8 500 1/min.



Rys. 4.10. Pole wektorów prędkości w płaszczyźnie symetrii piły prostopadłej do osi wrzeciona zmodyfikowanej koleby dolnej (opracowanie własne)

Z kolei na rys. 4.11 pokazano wyniki obliczeń numerycznych pola wektorów prędkości dla następujących warunków brzegowych:

- średnica piły \varnothing 450 mm,
- podciśnienie w obu króćcach wylotowych – 1500 Pa,
- prędkość obrotowa piły 3 500 1/min,
- prędkość obrotowa podcinaka 8 500 1/min.



Rys. 4.11. Pole wektorów prędkości w płaszczyźnie symetrii piły prostopadłej do osi wrzeczona zmodyfikowanej koleby dolnej (opracowanie własne)

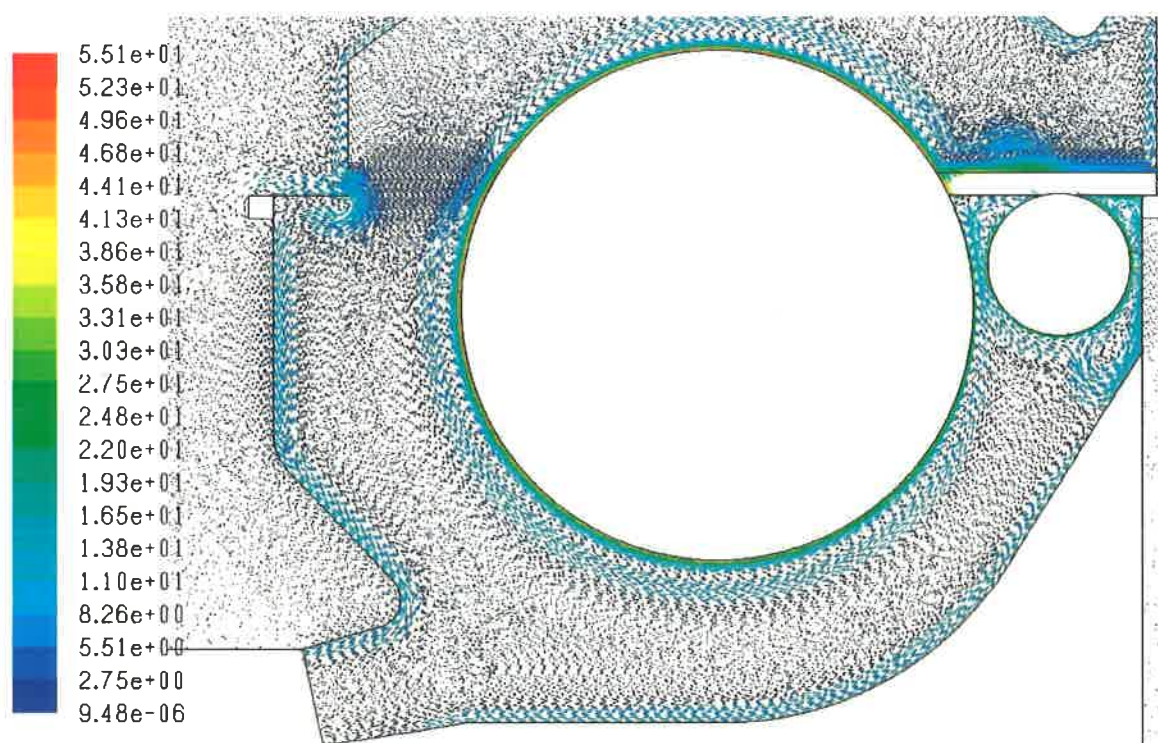
„Wpuszczony” w obudowę króciec dolny koleby zmniejsza pole przepływu pod piłą i ewentualnie nożem rozdzielającym. Ostre krawędzie przy króćcu generują powstanie strefy zawirowania, która zwiększa się wraz ze wzrostem podciśnienia. W przedniej części koleby przepływ powietrza jest w łatwy sposób skierowany do wylotu koleby.

Wersja V

Modyfikacja jak w wersji I, ale z zastosowaniem łuków zamiast ostrych krawędzi na tylnej ścianie koleby dolnej oraz przy króćcu wylotowym.

Na rys. 4.12 pokazano wyniki obliczeń numerycznych pola wektorów prędkości dla następujących warunków brzegowych:

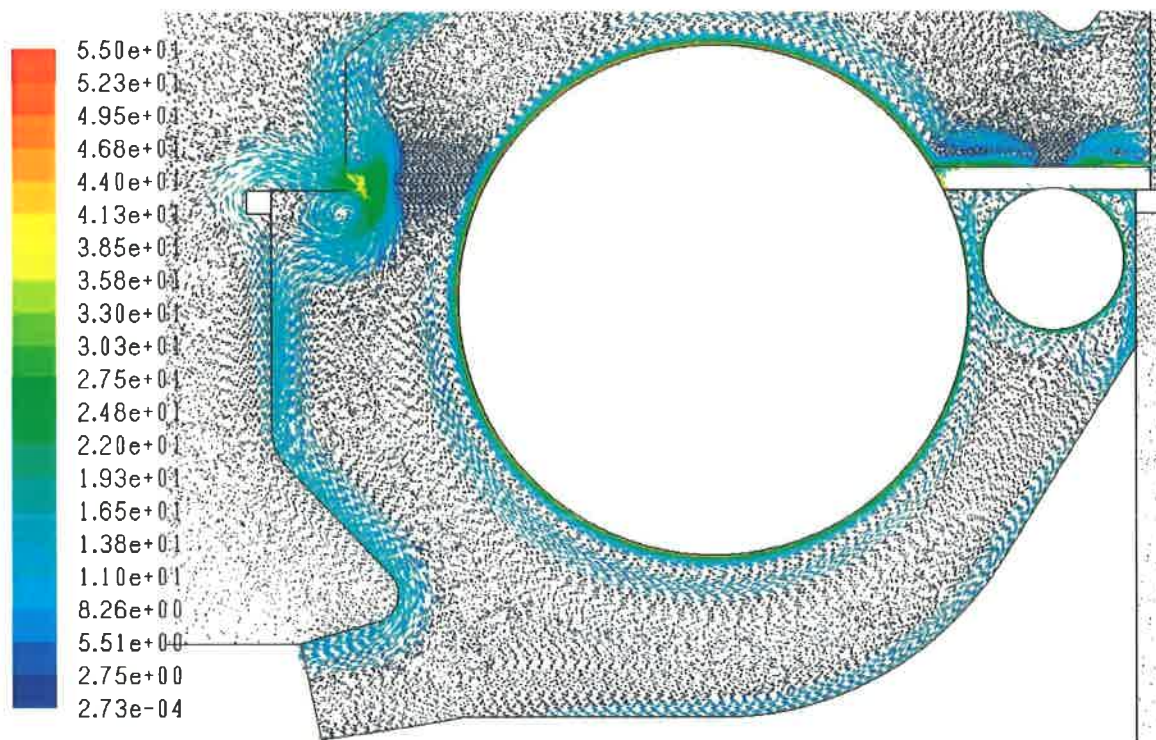
- średnica piły \varnothing 450 mm,
- podciśnienie w króćcu wylotowym obudowy górnej – 200 Pa,
- podciśnienie w króćcu wylotowym koleby dolnej – 400 Pa
- prędkość obrotowa piły 3 500 1/min,
- prędkość obrotowa podcinaka 8 500 1/min.



Rys. 4.12. Pole wektorów prędkości w płaszczyźnie symetrii piły prostopadłej do osi wrzeciona zmodyfikowanej koleby dolnej z zaokrągleniami (opracowanie własne)

Natomiast na rys. 4.13 pokazano wyniki obliczeń numerycznych pola wektorów prędkości dla następujących warunków brzegowych:

- średnica piły \varnothing 450 mm,
- podciśnienie w króćcach wylotowych – 1500 Pa,
- prędkość obrotowa piły 3 500 1/min,
- prędkość obrotowa podcinaka 8 500 1/min.



Rys. 4.13. Pole wektorów prędkości w płaszczyźnie symetrii piły prostopadłej do osi wrzeciona zmodyfikowanej koleby dolnej z zaokrągleniami (opracowanie własne)

Można zauważyć, że zastosowanie małych zaokrągleń wpływa na łagodniejszy przepływ powietrza do króćca wylotowego koleby. Nie spowoduje to dużych zawirowań przy zmianie kierunku przepływu a dzięki temu nie powstaną duże strefy martwe uniemożliwiające wydostanie się powietrza z układu odpylania.

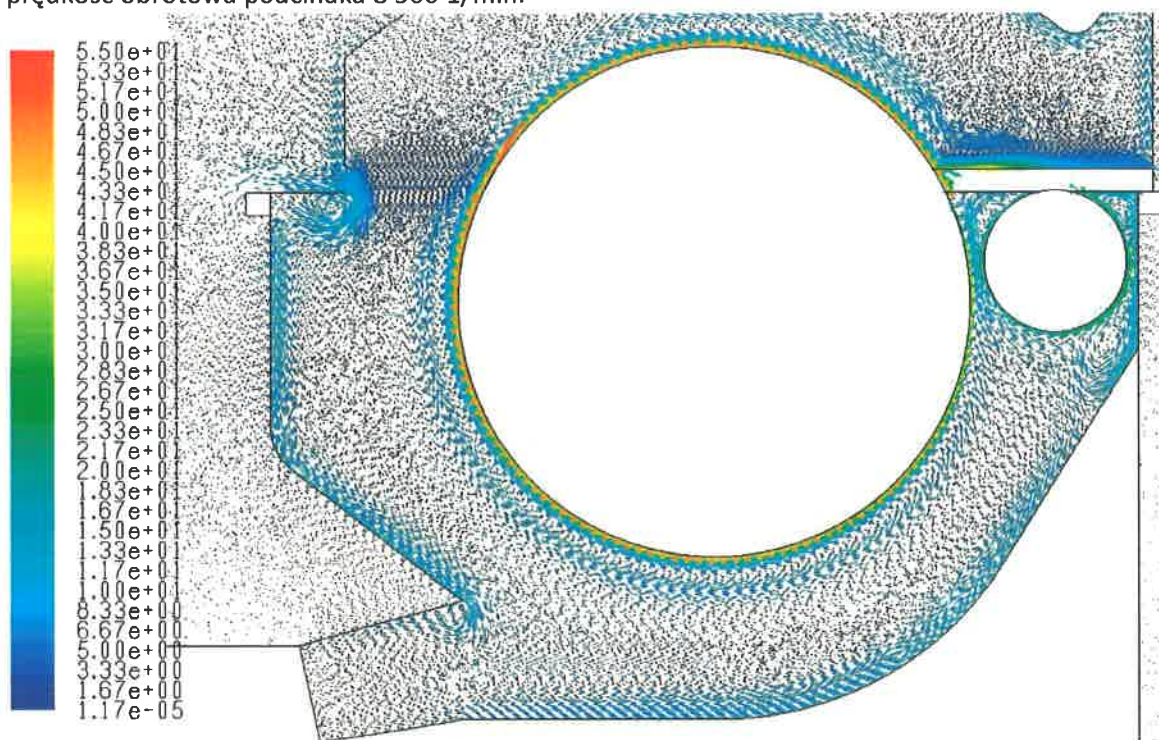
Wykonano dodatkowo obliczenia numeryczne przepływu powietrza przez skorygowany kształt koleby dolnej, który przedstawiono na rys. 4.14. Różnica w tym przypadku dotyczy dalszego tzw. „wpuszczenia” króćca wylotowego w korpus koleby.

Wersja VI

Modyfikacja kształtu koleby tak jak w wersji I, ale z większym „wpuszczeniem” króćca wylotowego w korpus koleby i zastosowanie łuków na tylnej ścianie koleby.

Na rys. 4.14 pokazano wyniki obliczeń numerycznych pola wektorów prędkości dla następujących warunków brzegowych:

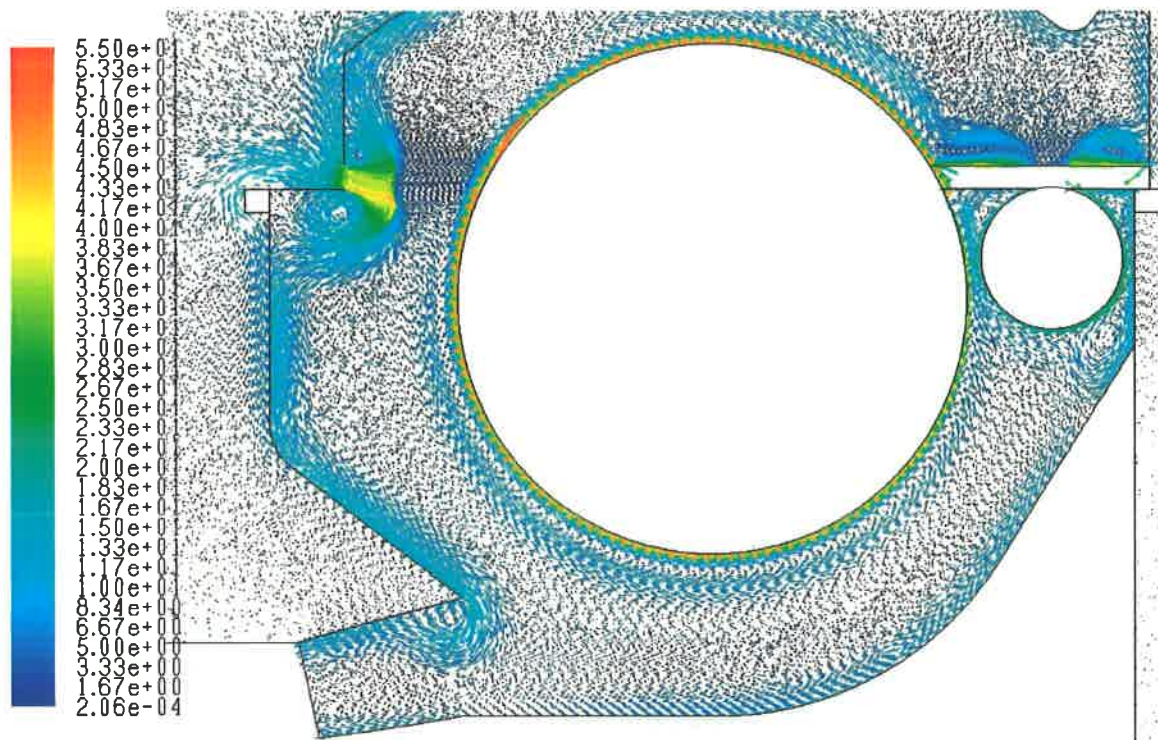
- średnica piły \varnothing 450 mm,
- podciśnienie w króćcu wylotowym obudowy górnej – 200 Pa,
- podciśnienie w króćcu wylotowym koleby dolnej – 400 Pa
- prędkość obrotowa piły 3 500 1/min,
- prędkość obrotowa podcinaka 8 500 1/min.



Rys. 4.14. Pole wektorów prędkości w płaszczyźnie symetrii piły prostopadłej do osi wrzeciona skorygowanego kształtu koleby dolnej z tzw. „wpuszczonym” króćcem wylotowym w korpus koleby (opracowanie własne)

Na rys. 4.15 pokazano wyniki obliczeń numerycznych pola wektorów prędkości dla następujących warunków brzegowych:

- średnica piły \varnothing 450 mm,
- podciśnienie w króćcach wylotowych – 1500 Pa,
- prędkość obrotowa piły 3 500 1/min,
- prędkość obrotowa podcinaka 8 500 1/min.

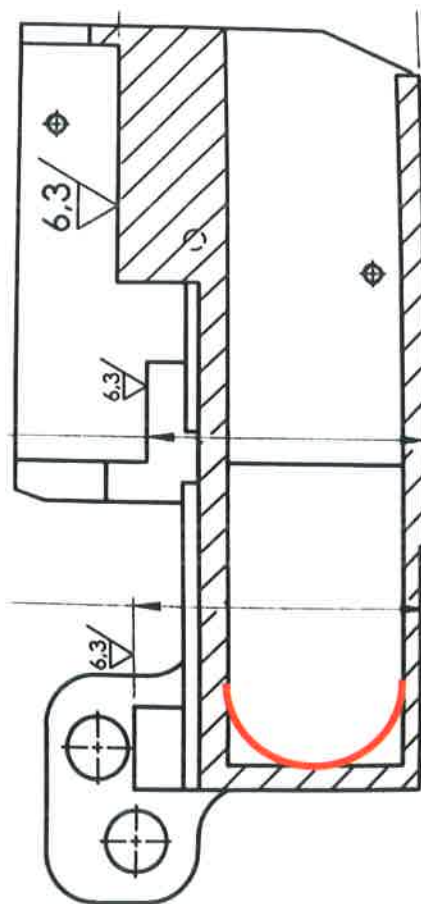


Rys. 4.15. Pole wektorów prędkości w płaszczyźnie symetrii piły prostopadłej do osi wrzeciona skorygowanego kształtu koleby dolnej z tzw. „wpuszczonym” króćcem wylotowym w korpus koleby (opracowanie własne)

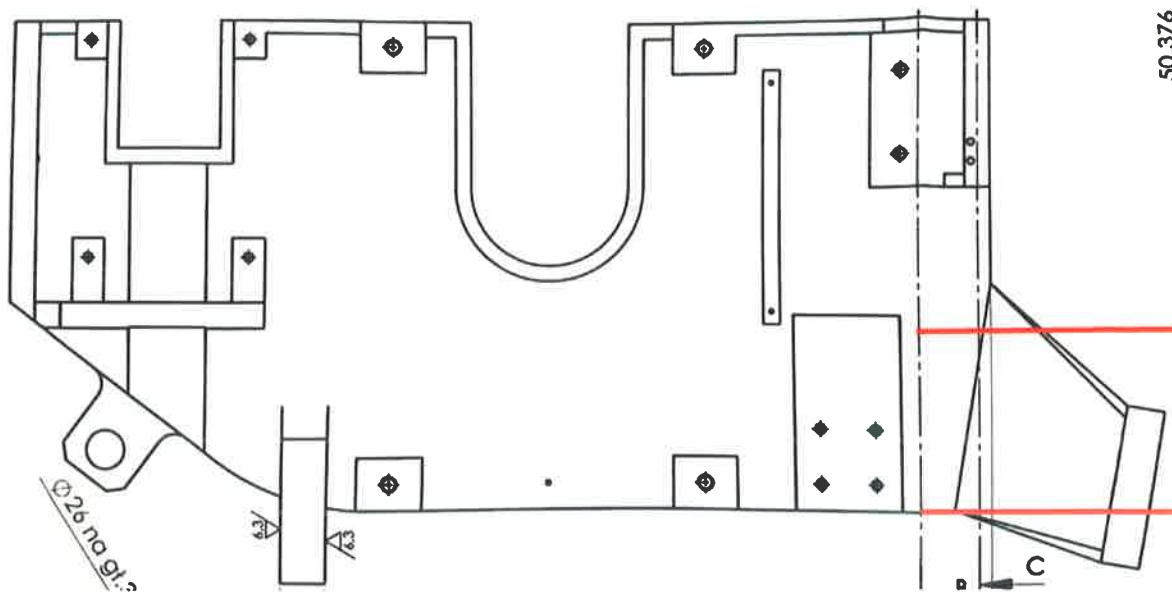
Dalsze „wpuszczenie” króćca wylotowego w konstrukcję koleby spowoduje zmniejszenie pola przepływu pod piłą i nożem rozdzielającym. W miejscu gdzie znajduje się ostra krawędź króćca wylotowego występuje oddziaływanie obracającej się w przeciwnym kierunku piły w porównaniu z kierunkiem przepływu powietrza skierowanego do króćca. Występuje tutaj strefa zawirowania powietrza przy króćcu wylotowym, która się zwiększa wraz ze wzrostem podciśnienia.

Po przeprowadzeniu stosownych obliczeń numerycznych poniżej zestawiono zalecenia dotyczące nowego kształtu koleby dolnej. Należą do nich:

- wykorzystanie wersji V do stworzenia prototypu koleby dolnej (rys. 4.12),
- zaokrąglony kształt przekroju poprzecznego koleby dolnej (rys. 4.16),
- króciec koleby dolnej powinien być na takim poziomie aby wyeliminować załamania wpływające na pogorszenie przepływu powietrza i wiórów do wentylatora (rys. 4.17).



Rys. 4.16. Propozycja zaokrąglenia kanału przepływowego w kolebie dolnej.

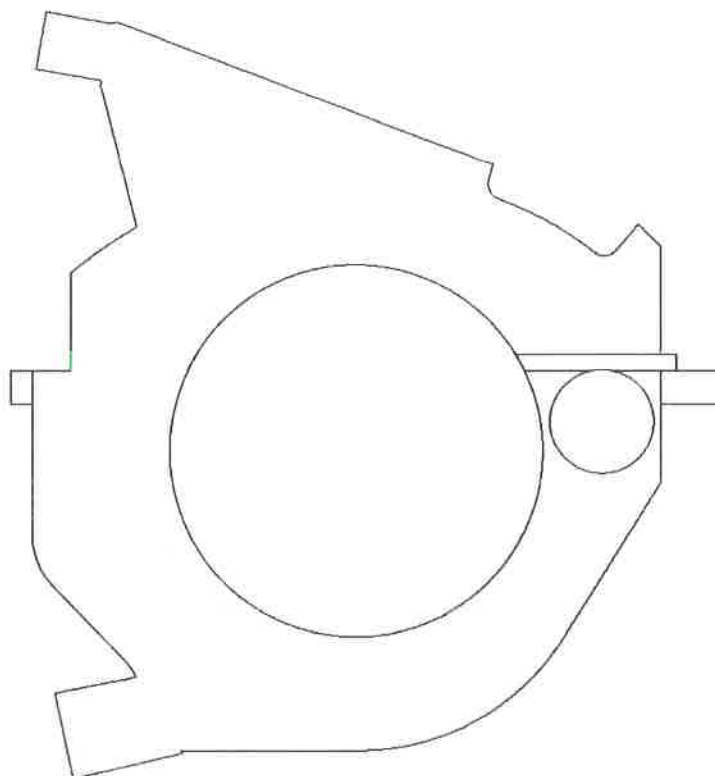


Rys. 4.17. Propozycja zmiany kształtu króćca wylotowego koleby dolnej.

5. OBLICZENIA NUMERYCZNE I ANALIZA WYNIKÓW ZMODYFIKOWANEJ OBUDOWY GÓRNEJ

DZIAŁANIE 1.8.1. - 1.8.2.

Po przeanalizowaniu warunków przepływowych występujących w układzie odpylania pilarki przeprowadzono obliczenia numeryczne dla różnych kształtów obudowy górnej. Natomiast kształt koleby dolnej został ustalony po przeprowadzeniu obliczeń numerycznych dla różnych wersji koleby i nie był modyfikowany w tej części raportu, rys. 5.1.



Rys. 5.1. Przykładowa propozycja kształtu modelu numerycznego układu odpylania pilarki: piła o średnicy $\varnothing 450$ mm, zmodyfikowany kształt obudowy górnej i koleby dolnej z przecinanym materiałem (opracowanie własne)

Obliczenia symulacji numerycznych wykonano dla modelu z obrabianym materiałem i bez noża rozdzielającego.

W każdym przypadku obliczeń numerycznych zachowano nowy kształt koleby dolnej przy zmiennym kształcie obudowy górnej układu odpylania i innej wartości panującego w niej podciśnienia w króćcu wylotowym.

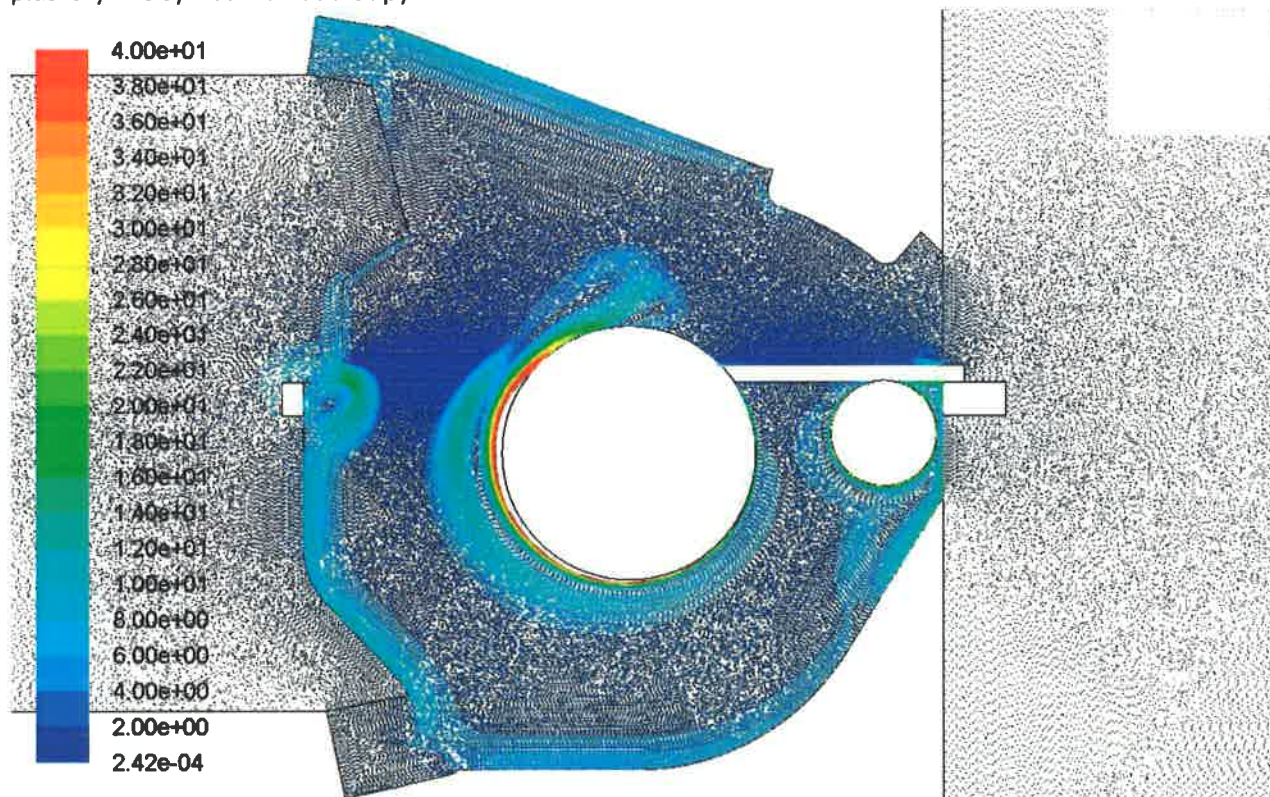
Przypadek 1.

W pierwszym przypadku zmodyfikowano kształt obudowy górnej przy ustalonym wcześniej, (rys. 5.1), kształcie koleby dolnej, w stosunku do kształtu bazowego. Modyfikacja kształtu obudowy górnej polegała na zwiększeniu kąta rozwarcia ścianek obudowy w porównaniu z wersją bazową. Symulacje przeprowadzono dla dwóch średnic piły.

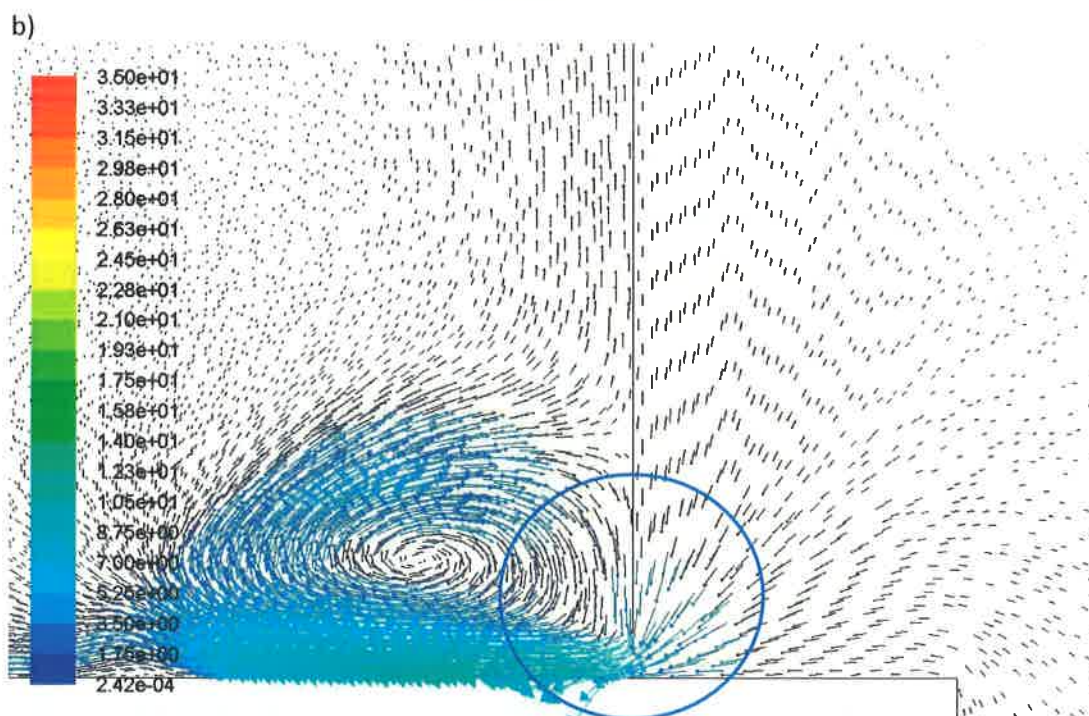
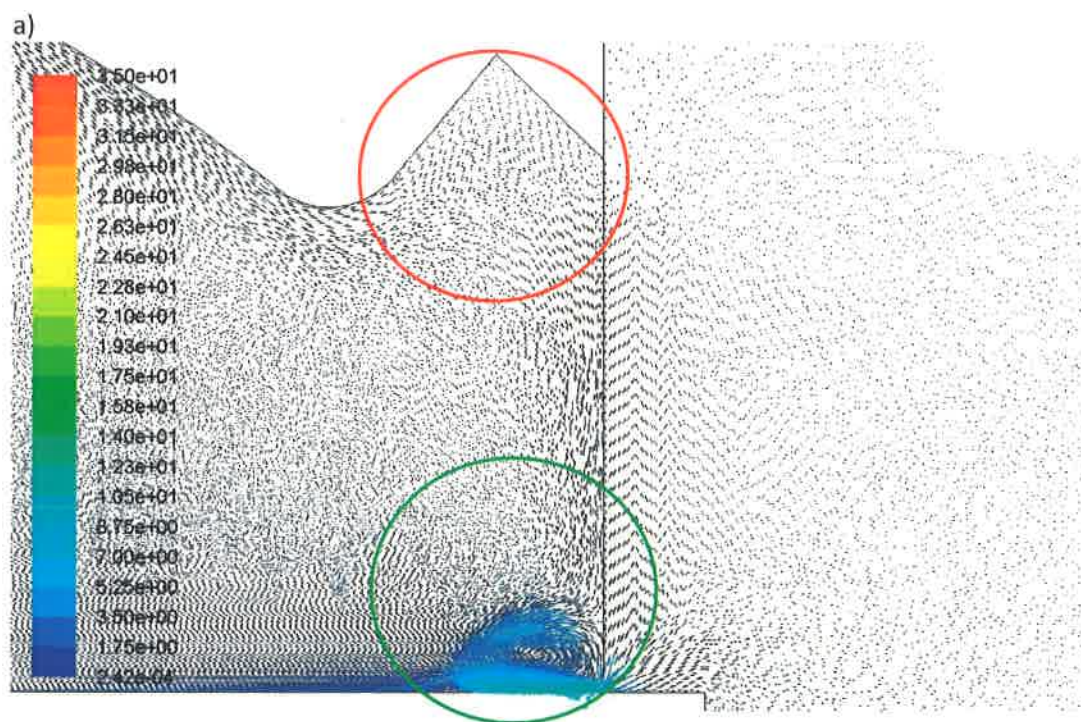
Obliczenia numeryczne wykonano dla następujących warunków brzegowych:

- piła o średnicy \varnothing 300 mm,
- obroty piły 3 500 1/min,
- obroty podcinaka 8 500 1/min,
- podciśnienie w króćcu dolnym – 400 Pa,
- podciśnienie w króćcu górnym – 200 Pa.

Na rys. 5.2 pokazano wyniki obliczeń numerycznych pola wektorów prędkości w płaszczyźnie symetrii układu odpylania.



Rys. 5.2. Pole wektorów prędkości w płaszczyźnie symetrii piły prostopadłej do osi wrzeciona zmodyfikowanej obudowy górnej (opracowanie własne)

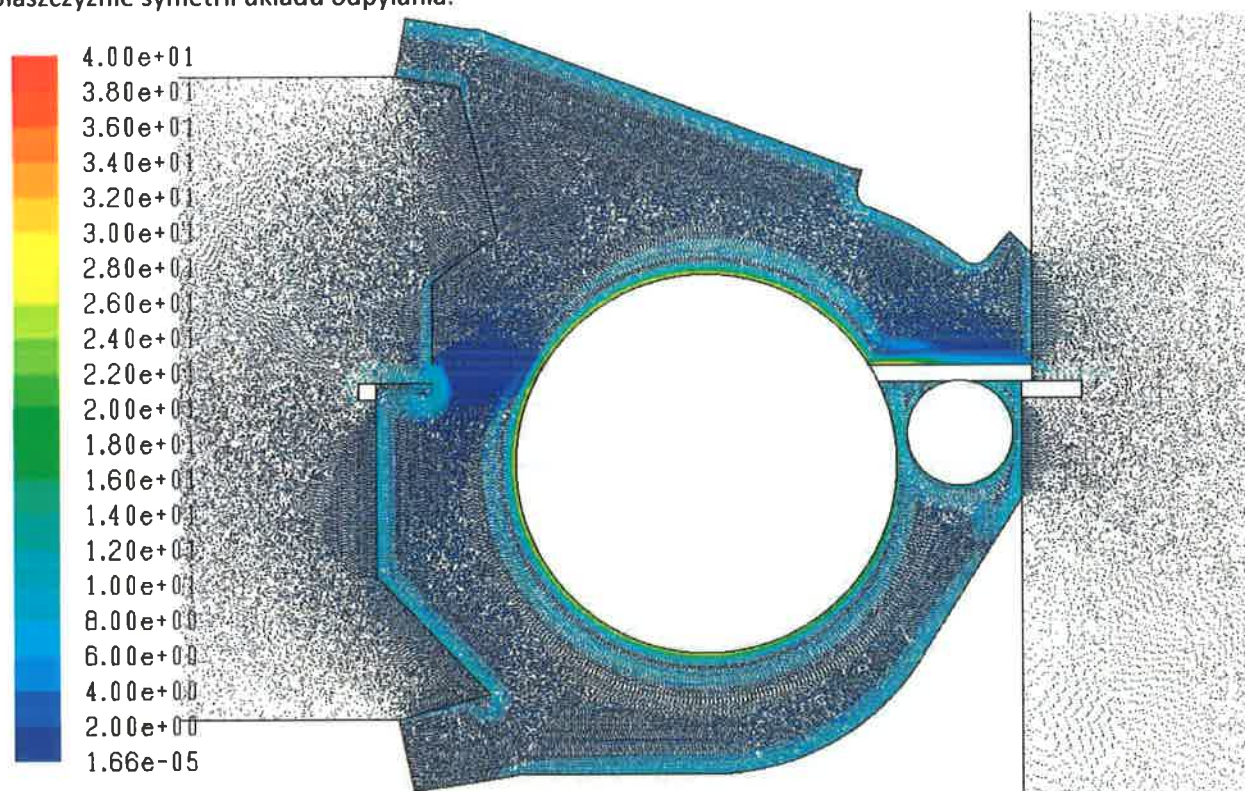


Rys. 5.3. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą \varnothing 300 mm:
a) w górnej części obudowy górnej b) z przodu obudowy górnej (opracowanie własne)

Następnie wykonano obliczenia numeryczne dla założonych następujących warunków brzegowych:

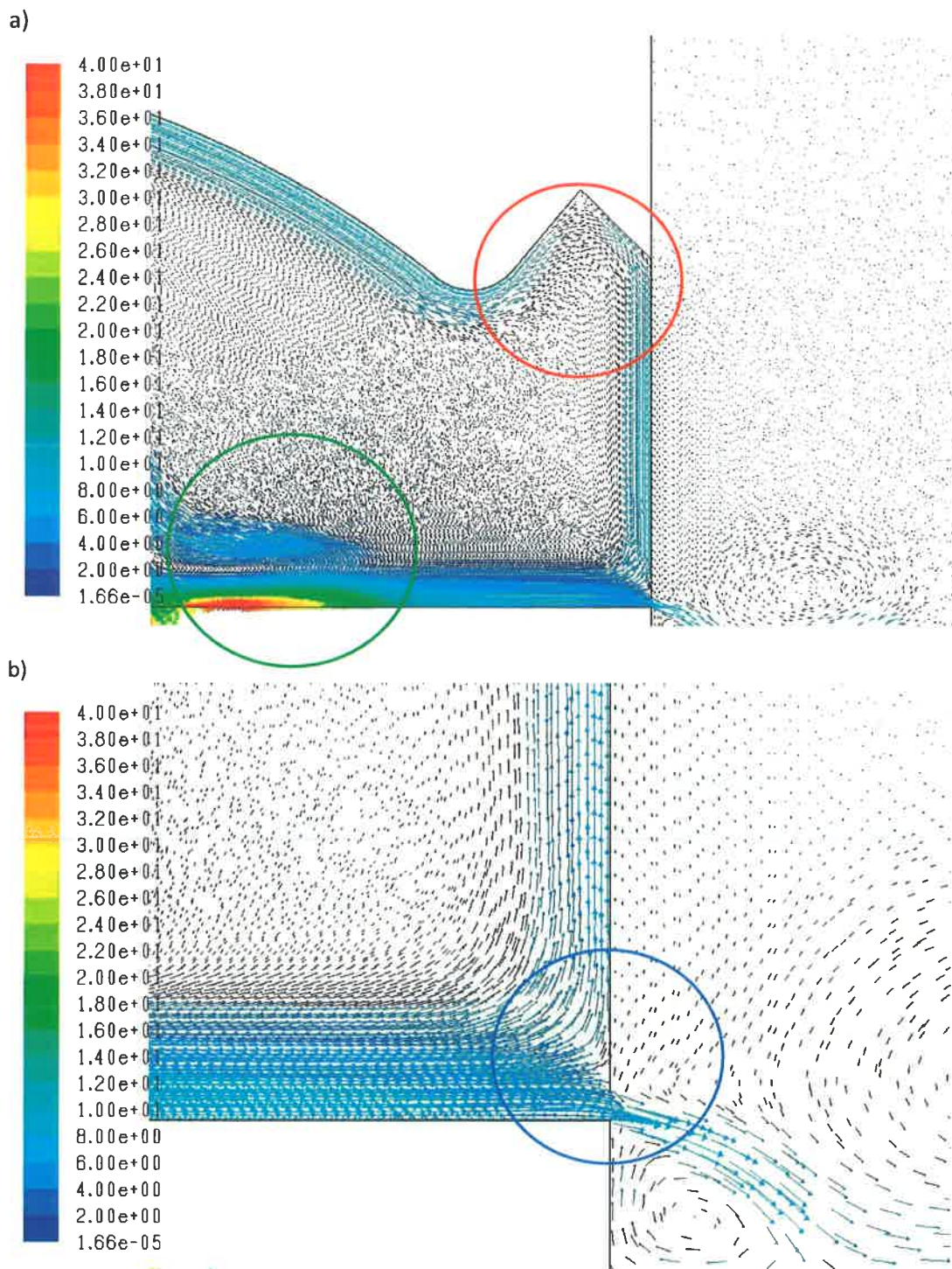
- piła o średnicy \varnothing 450 mm,
- obroty piły 3 500 1/min,
- obroty podcinaka 8 500 1/min,
- podciśnienie w króćcu dolnym – 400 Pa,
- podciśnienie w króćcu górnym – 200 Pa.

Na rys. 5.4 pokazano wyniki obliczeń numerycznych pola wektorów prędkości w płaszczyźnie symetrii układu odpylania.



Rys. 5.4. Pole wektorów prędkości w płaszczyźnie symetrii piły prostopadłej do osi wrzeciona zmodyfikowanej obudowy górnej (opracowanie własne)

Na podstawie przedstawionych wyników obliczeń numerycznych dla zadanych warunków brzegowych można zauważyć, że dla piły o średnicy \varnothing 300 mm powietrze jest zasysane z otoczenia, rys. 5.3b, a dla piły o średnicy \varnothing 450 mm powietrze jest wypychane na zewnątrz, rys. 5.5b. Prędkości medium wpływającego i wypływającego do układu odpylania dla warunków brzegowych są małe. W obu przypadkach duży wpływ na przepływ powietrza w układzie odpylania mają: wartość podciśnienia w króćcu wylotowym obudowy górnej, prędkość obrotowa i średnica pił. Wartość podciśnienia w króćcu wylotowym obudowy górnej jest niewystarczająca aby medium zostało tam skierowane.

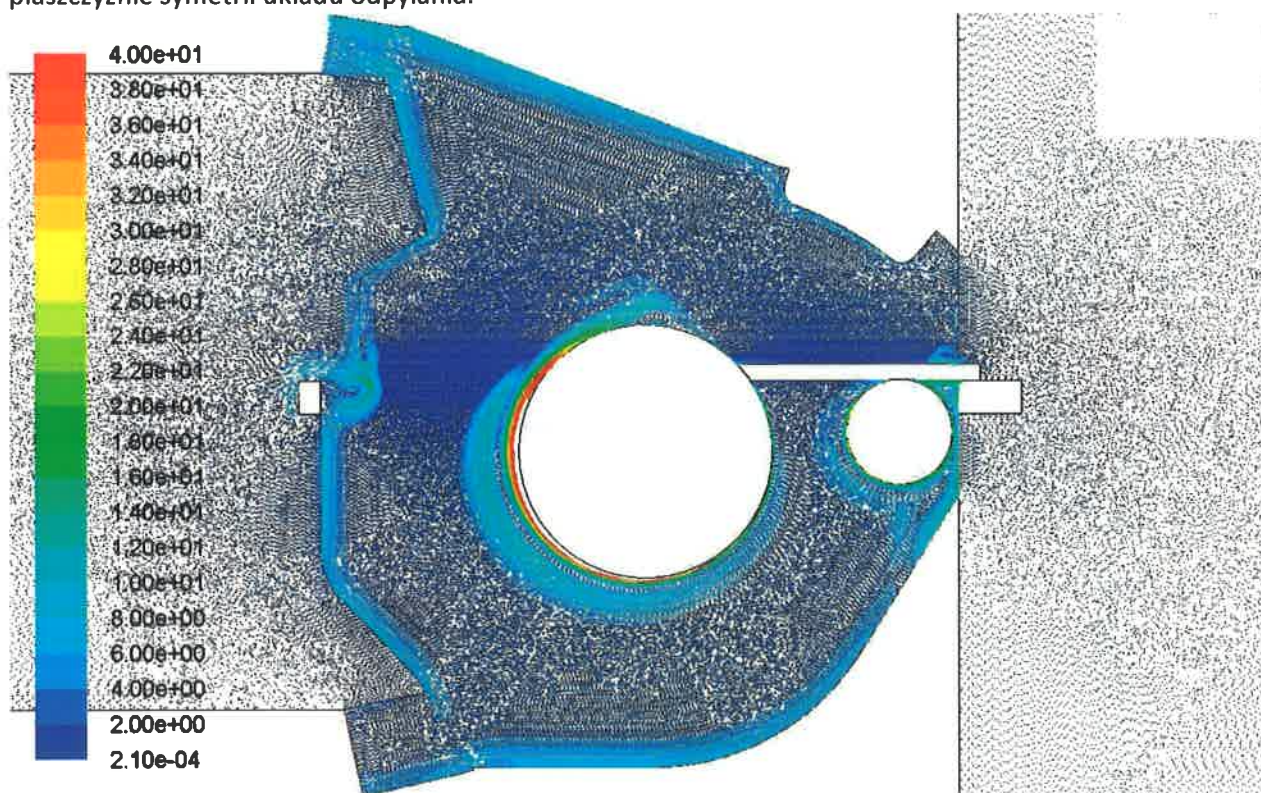


Rys. 5.5. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą $\varnothing 450$ mm:
 a) w górnej części obudowy górnej b) z przodu obudowy górnej (opracowanie własne)

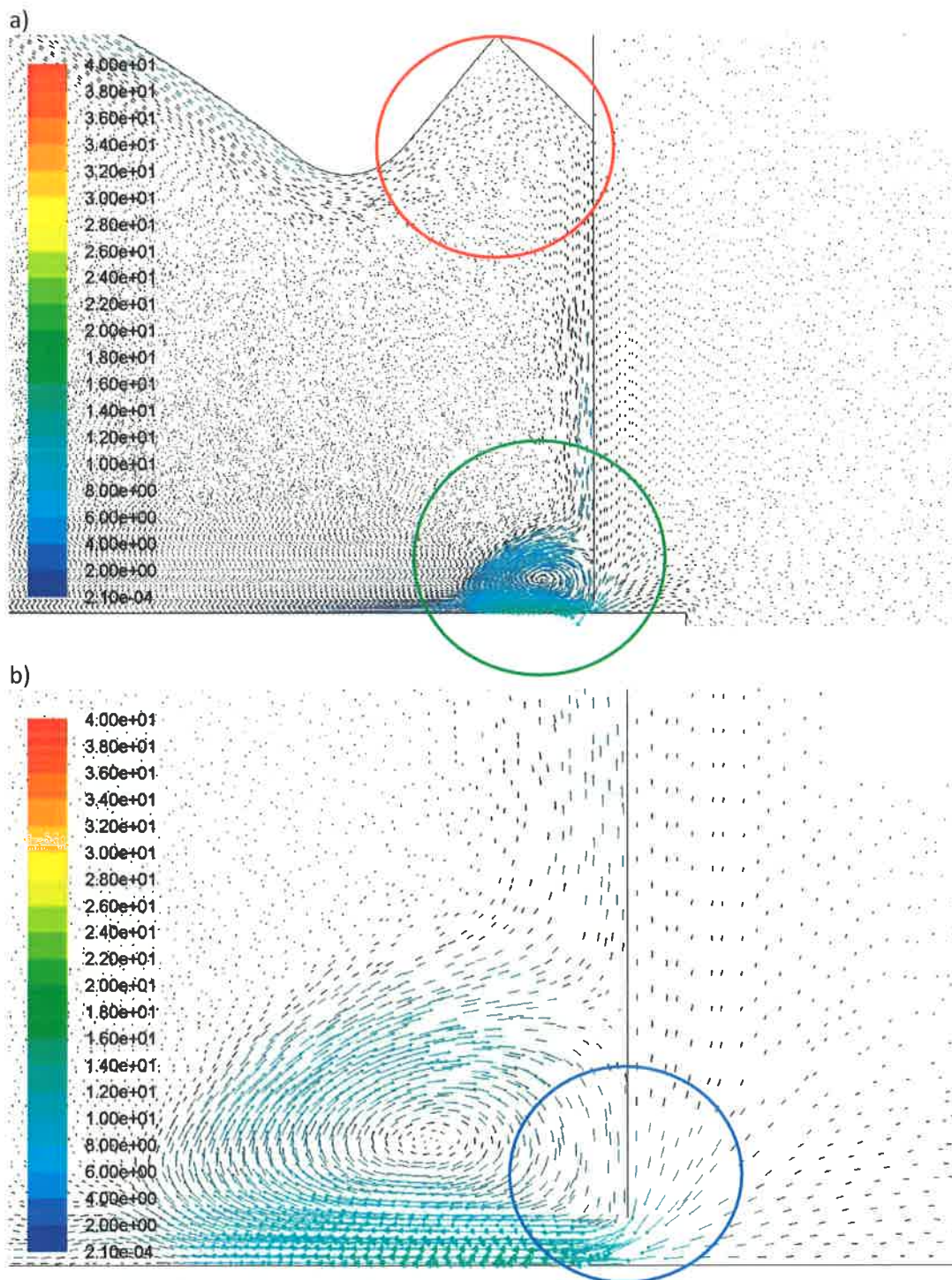
W kolejnym kroku dla piły o średnicy \varnothing 300 mm zmieniono wartość podciśnienia w króćcu wylotowym w obudowie górnej oraz prędkość obrotową piły. Obliczenia numeryczne w tym etapie wykonano dla założonych następujących warunków brzegowych:

- piła o średnicy \varnothing 300 mm,
- obroty piły 6 000 1/min,
- obroty podcinaka 8 500 1/min,
- podciśnienie w króćcu dolnym – 400 Pa,
- podciśnienie w króćcu górnym – 400 Pa.

Na rys. 5.6 pokazano wyniki obliczeń numerycznych pola wektorów prędkości w płaszczyźnie symetrii układu odpylania.



Rys. 5.6. Pole wektorów prędkości w płaszczyźnie symetrii piły prostopadłej do osi wrzeciona zmodyfikowanej obudowy górnej (opracowanie własne)

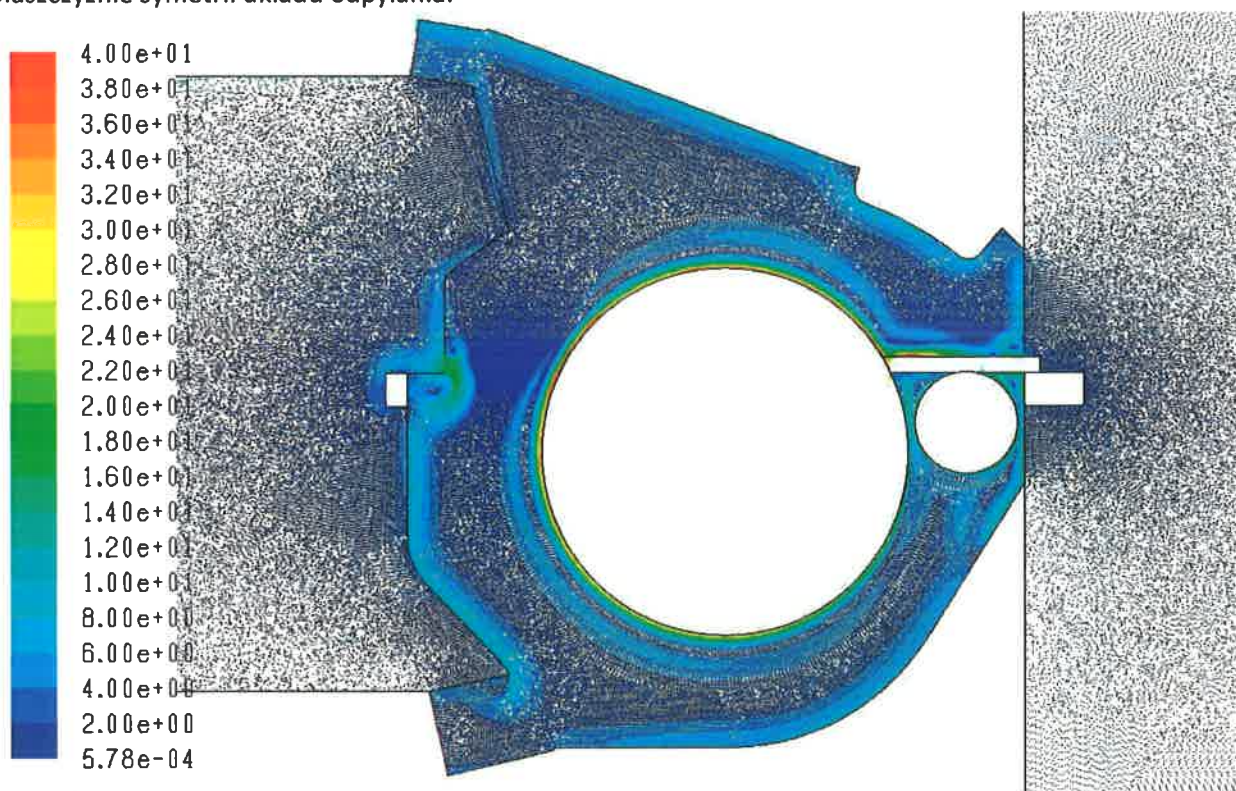


Rys. 5.7. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą $\varnothing 300$ mm:
 a) w górnej części obudowy górnej b) z przodu obudowy górnej (opracowanie własne)

Następnie dla piły o średnicy \varnothing 450 mm zmieniono wartość podciśnienia w króćcu wylotowym w obudowie górnej przy niezmienionej wartości prędkości obrotowej piły. Obliczenia numeryczne w tym etapie wykonano dla założonych następujących warunków brzegowych:

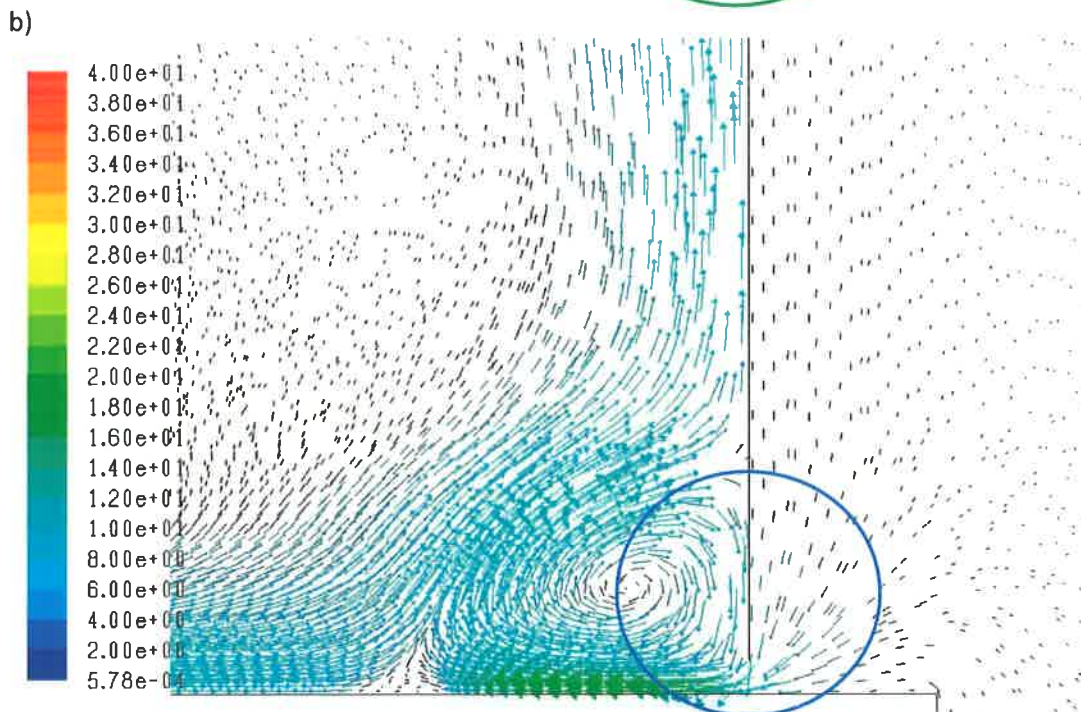
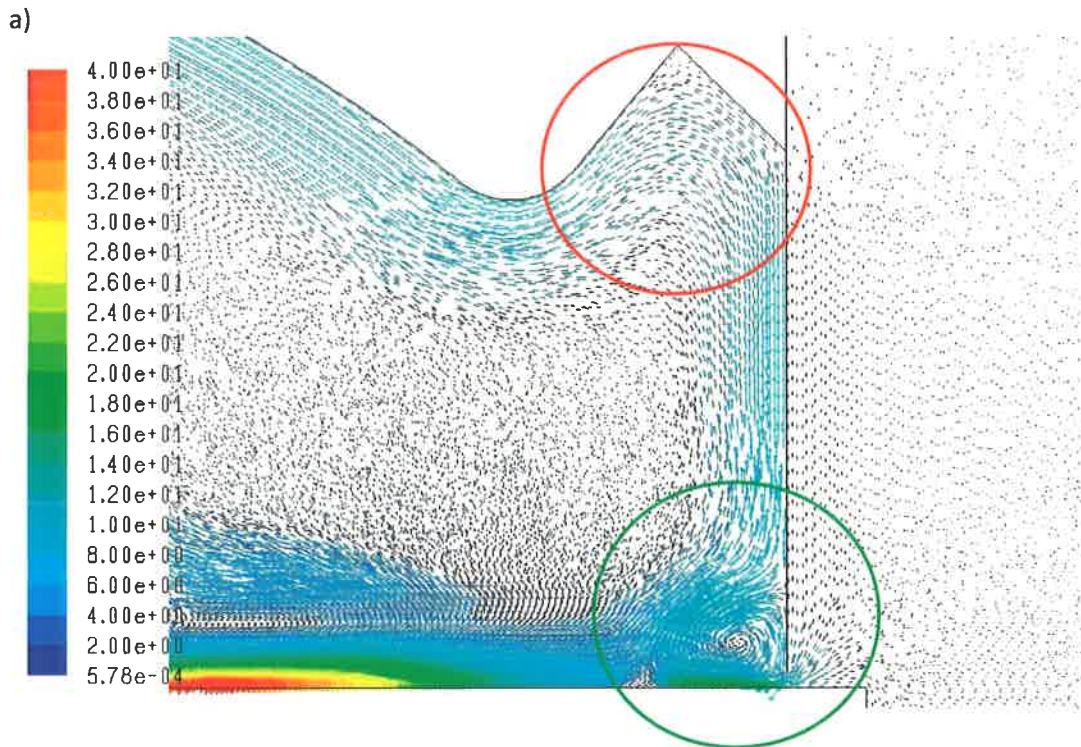
- piła o średnicy \varnothing 450 mm,
- obroty piły 3 500 1/min,
- obroty podcinaka 8 500 1/min,
- podciśnienie w króćcu dolnym – 400 Pa,
- podciśnienie w króćcu górnym – 400 Pa.

Na rys. 5.8 pokazano wyniki obliczeń numerycznych pola wektorów prędkości w płaszczyźnie symetrii układu odpylania.



Rys. 5.8. Pole wektorów prędkości w płaszczyźnie symetrii piły prostopadłej do osi wrzeciona zmodyfikowanej obudowy górnej (opracowanie własne)

Z przeprowadzonych obliczeń numerycznych przy zadanych warunkach brzegowych można stwierdzić, że dla obu średnic pił, czyli \varnothing 300 mm i \varnothing 450 mm powietrze jest zasysane z zewnątrz do układu odpylania, rys. 5.7b i 5.9b. W tym przypadku prędkości medium wpływającego do układu odpylania dla założonych warunków brzegowych są wyższe niż w poprzednim przypadku. Powinno to mieć pozytywny wpływ na efekt usuwania wiórów z obudowy górnej.



Rys. 5.9. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą \varnothing 450 mm:
a) w górnej części obudowy górnej b) z przodu obudowy górnej (opracowanie własne)

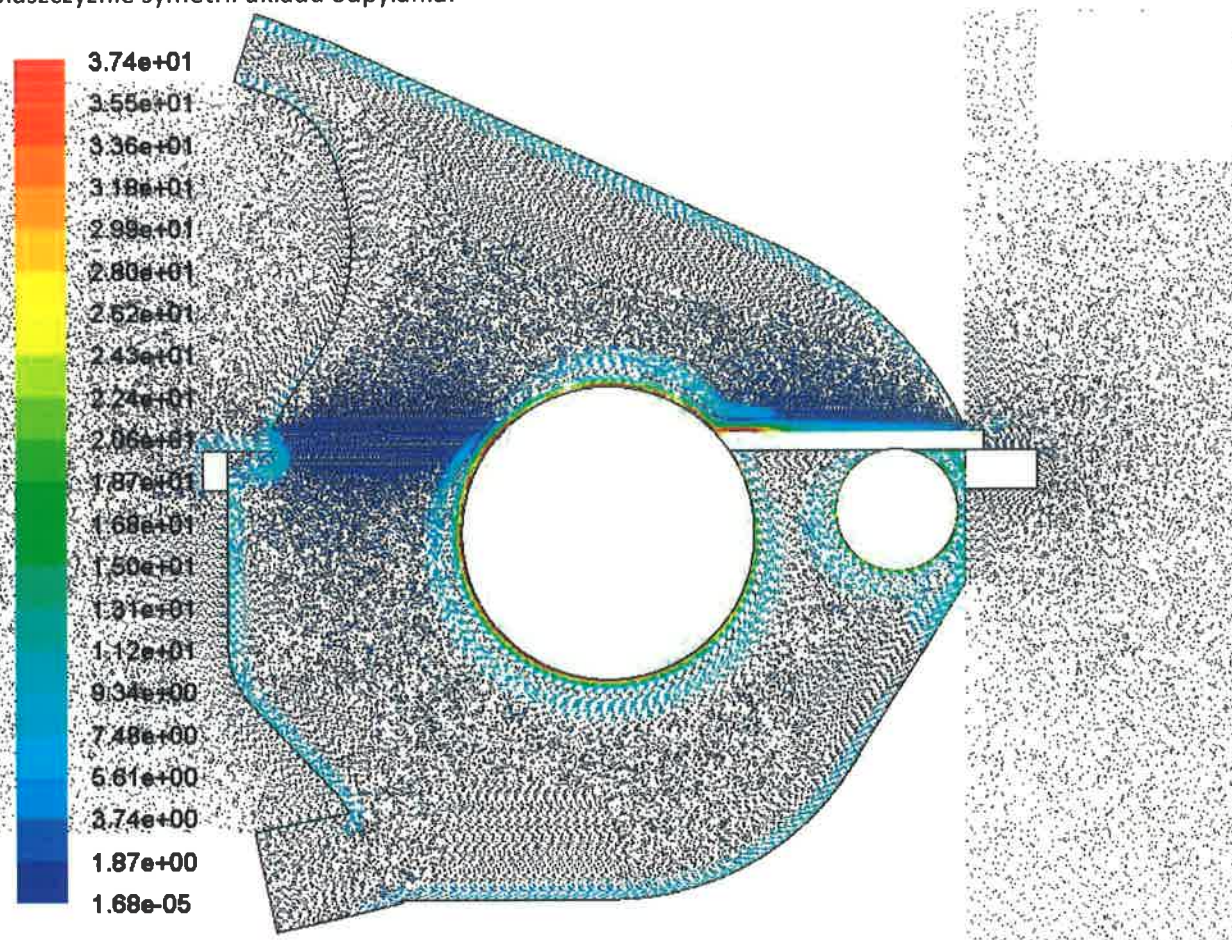
Przypadek 2.

W drugim przypadku modyfikacja polega na zmianie kształtu obudowy górnej poprzez zastosowanie łuków na przedniej i tylnej ścianie obudowy górnej w taki sposób aby utworzony króciec wylotowy był skierowany w lewą stronę. Zakładając, że przy niższych prędkościach obrotowych piły powietrze będzie zasysane do układu odpylania obliczenia w tym etapie przeprowadzono jedynie dla najwyższej prędkości obrotowej piły.

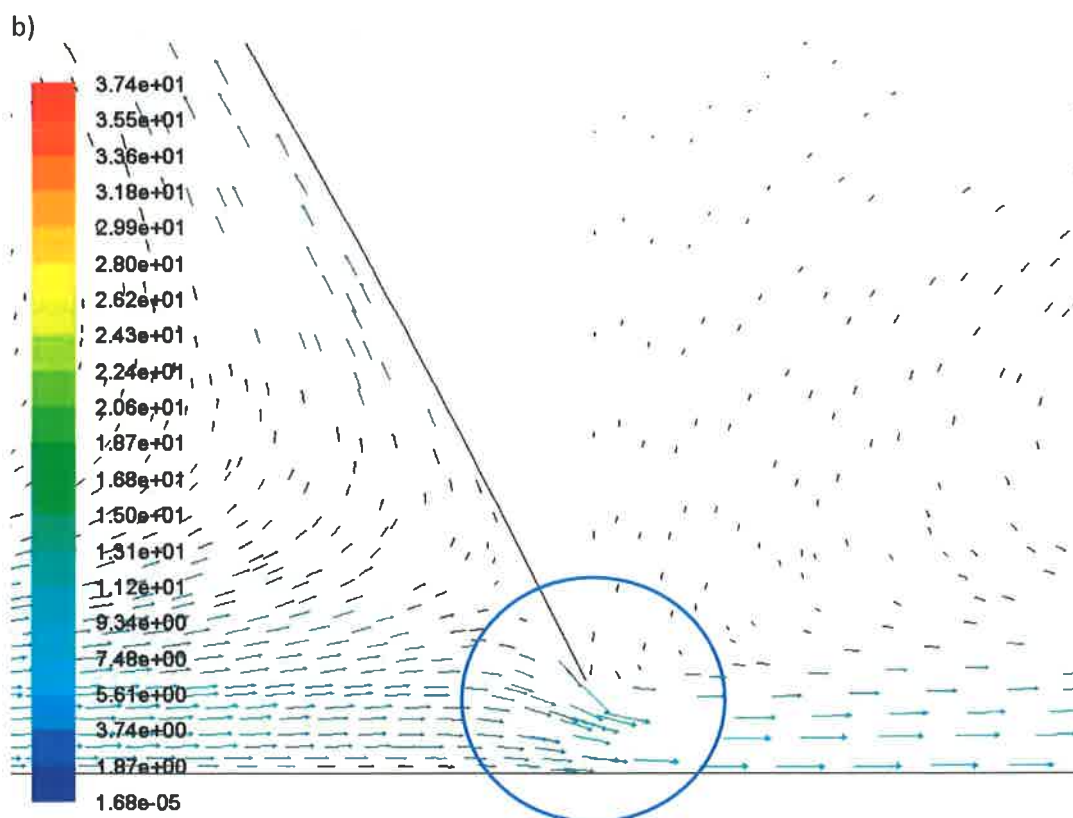
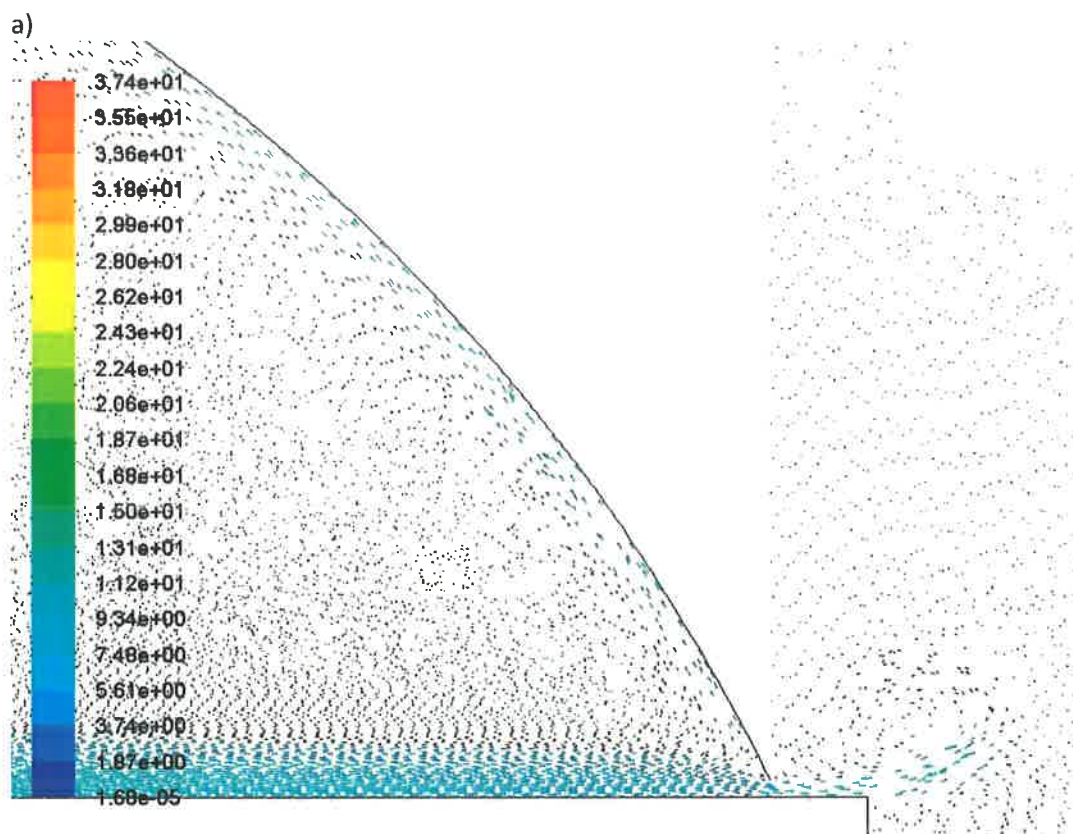
Obliczenia numeryczne wykonano dla następujących warunków brzegowych:

- piła o średnicy \varnothing 300 mm,
- obroty piły 6 000 1/min,
- obroty podcinaka 8 500 1/min,
- podciśnienie w króćcu dolnym – 400 Pa,
- podciśnienie w króćcu górnym – 200 Pa.

Na rys. 5.10 pokazano wyniki obliczeń numerycznych pola wektorów prędkości w płaszczyźnie symetrii układu odpylania.



Rys. 5.10. Pole wektorów prędkości w płaszczyźnie symetrii piły prostopadłej do osi wrzeciona zmodyfikowanej obudowy górnej (opracowanie własne)

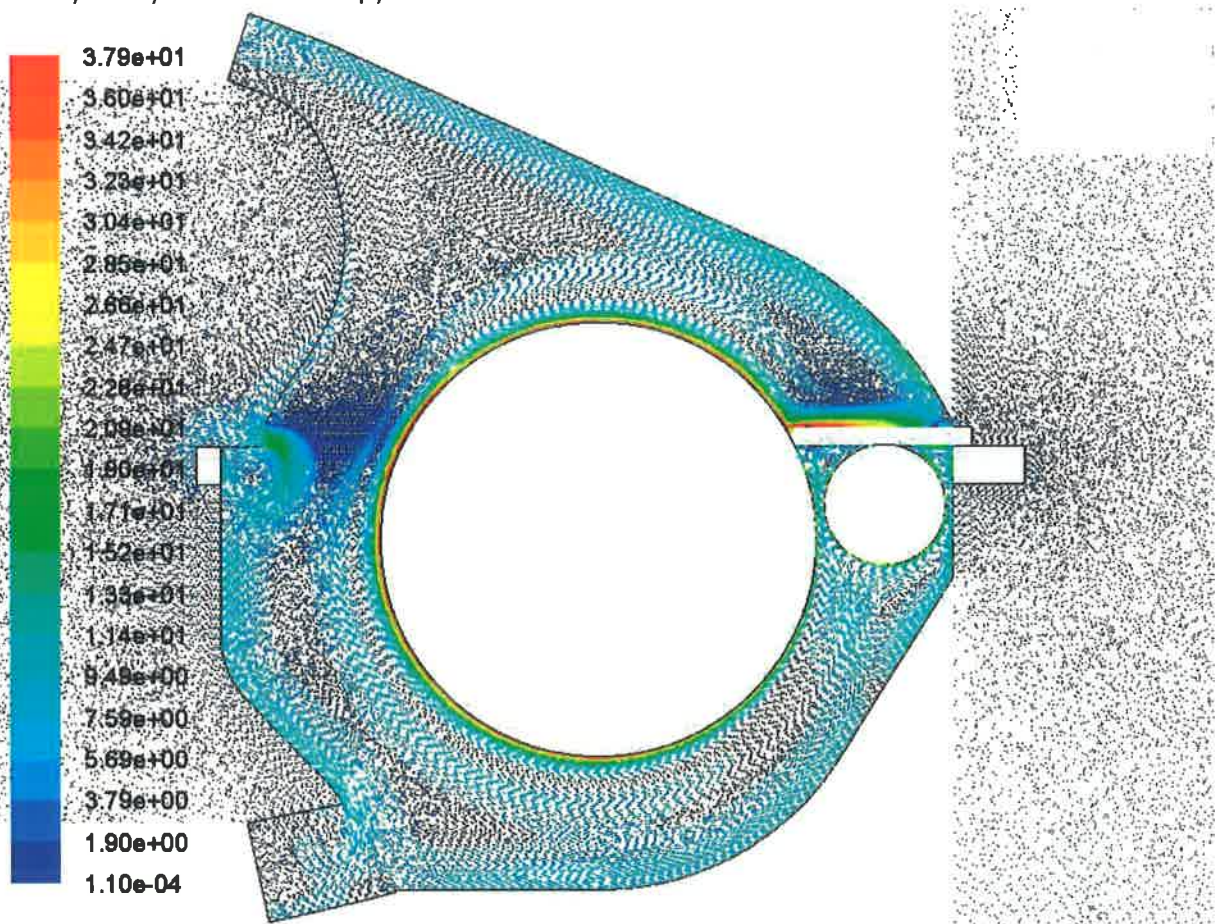


Rys. 5.11. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą \varnothing 300 mm:
a) w górnej części obudowy górnej b) z przodu obudowy górnej (opracowanie własne)

Następnie analizowano przepływ powietrza w układzie odpylania przy większej średnicy piły. Obliczenia numeryczne wykonano dla założonych następujących warunków brzegowych:

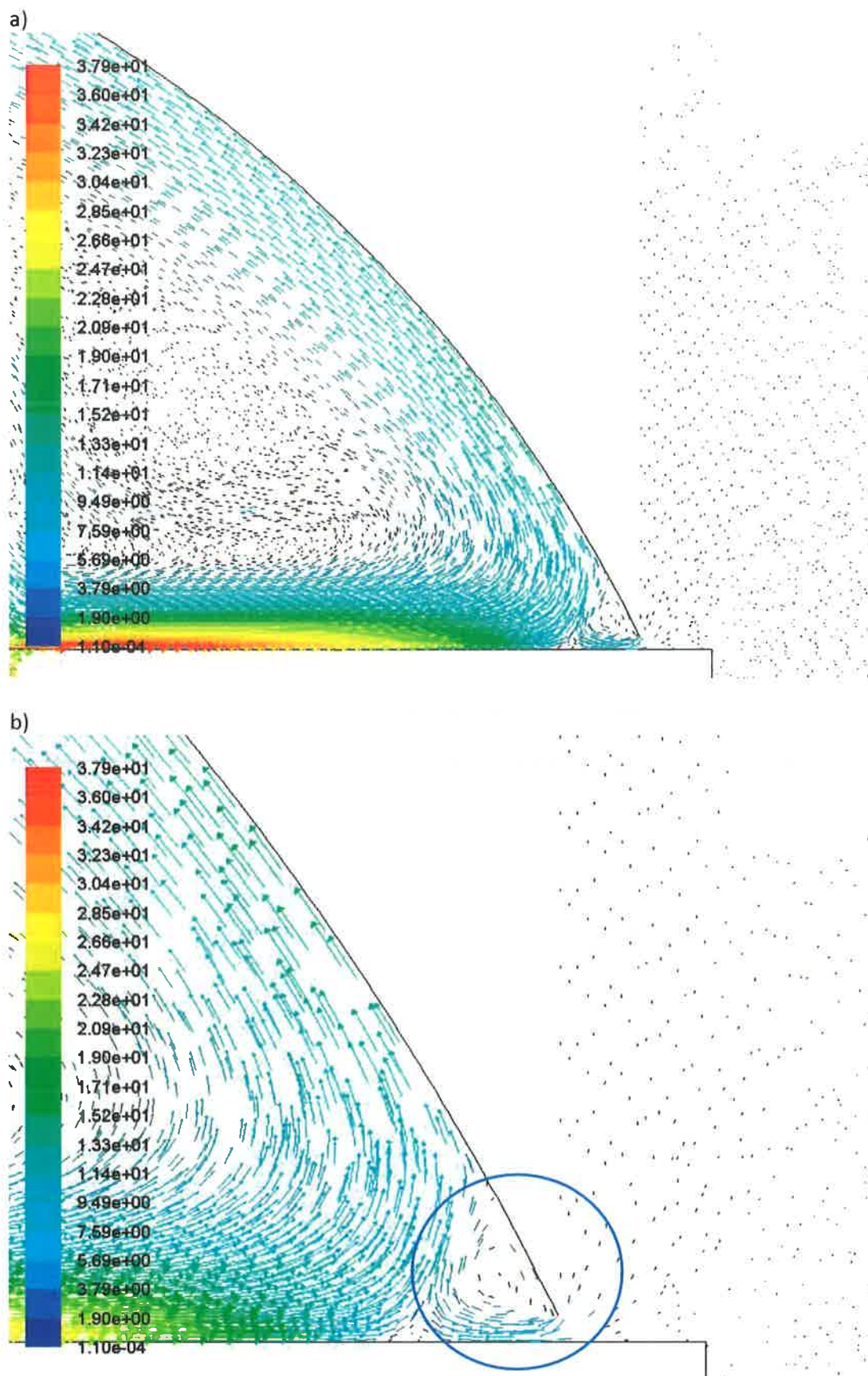
- piła o średnicy \varnothing 450 mm,
- obroty piły 3 500 1/min,
- obroty podcinaka 8 500 1/min,
- podciśnienie w króćcu dolnym – 400 Pa,
- podciśnienie w króćcu górnym – 200 Pa.

Na rys. 5.12 pokazano wyniki obliczeń numerycznych pola wektorów prędkości w płaszczyźnie symetrii układu odpylania.



Rys. 5.12. Pole wektorów prędkości w płaszczyźnie symetrii piły prostopadłej do osi wrzeciona zmodyfikowanej obudowy górnej (opracowanie własne)

Po przeprowadzeniu obliczeń numerycznych dla zadanych warunków brzegowych można zauważyć, że dla piły o średnicy \varnothing 300 mm przy prędkości obrotowej 6000 1/min powietrze jest wypychane do otoczenia, rys. 5.11b, natomiast dla piły o średnicy \varnothing 450 mm przy prędkości obrotowej 3500 1/min powietrze jest zasysane z zewnątrz, rys. 5.13b. W tym przypadku prędkości medium wpływającego i wypływającego do układu odpylania dla warunków brzegowych są bardzo małe i w rzeczywistości może dojść do wypychania powietrza do otoczenia. Wartość podciśnienia w króćcu wylotowym obudowy górnej jest niewystarczająca aby medium zostało tam skierowane.



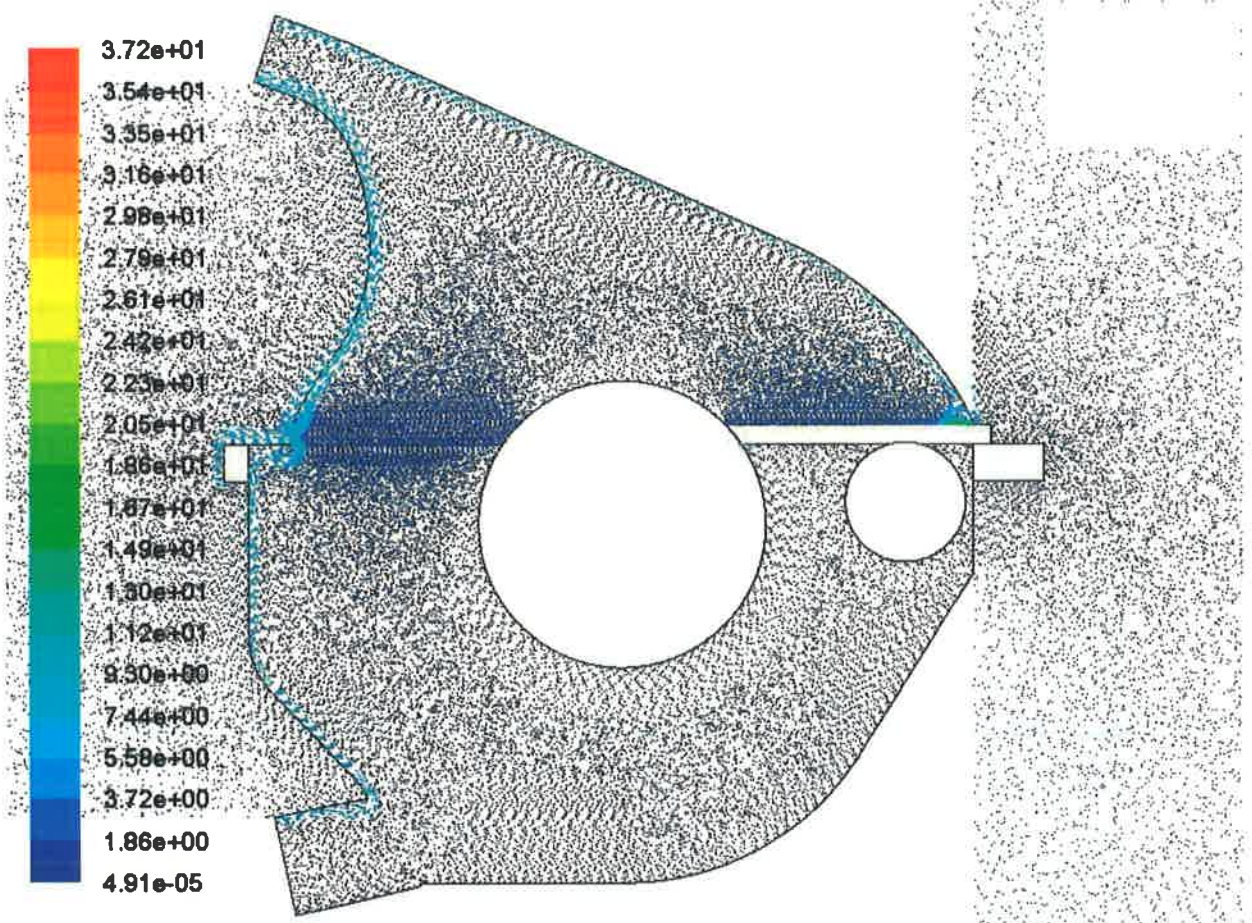
Rys. 5.13. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą \varnothing 450 mm:
 a) w górnej części obudowy górnej b) z przodu obudowy górnej (opracowanie własne)

Tutaj też, podobnie jak w przypadku pierwszym, duży wpływ na przepływ powietrza w układzie odpylania mają: wartość podciśnienia w króćcu wylotowym obudowy górnej, prędkość obrotowa i średnica piły.

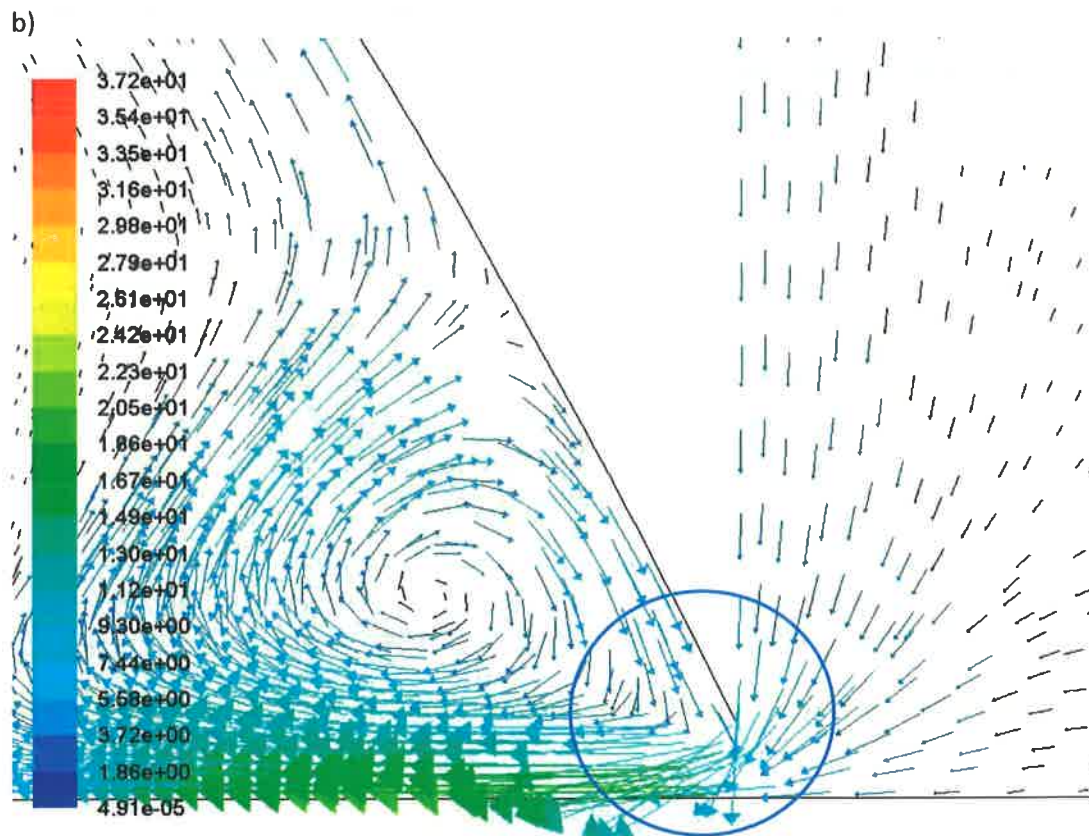
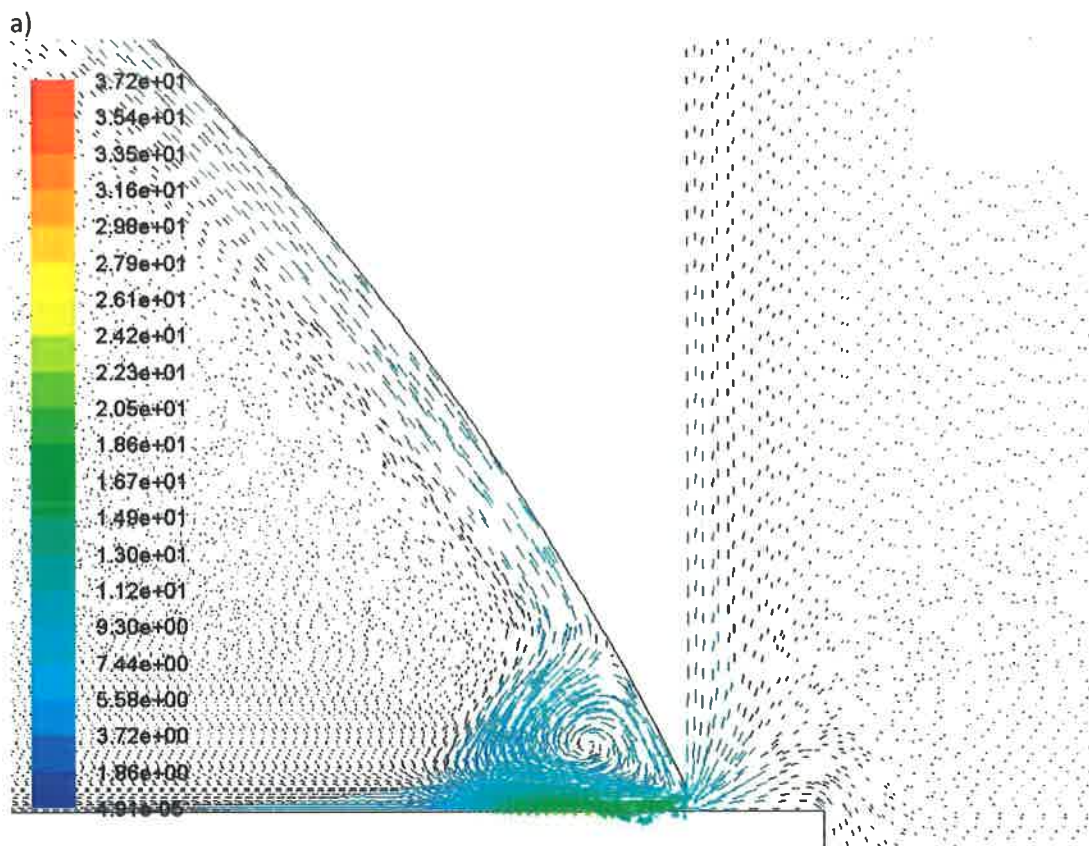
W następnym etapie dla piły o średnicy \varnothing 300 mm zmieniono wartość podciśnienia w króćcu wylotowym w obudowie górnej przy najwyższej prędkości obrotowej piły. Obliczenia numeryczne w tym etapie wykonano dla założonych następujących warunków brzegowych:

- piła o średnicy \varnothing 300 mm,
- obroty piły 6 000 1/min,
- obroty podcinaka 8 500 1/min,
- podciśnienie w króćcu dolnym – 400 Pa,
- podciśnienie w króćcu górnym – 400 Pa.

Na rys. 5.14 pokazano wyniki obliczeń numerycznych pola wektorów prędkości w płaszczyźnie symetrii układu odpylania.



Rys. 5.14. Pole wektorów prędkości w płaszczyźnie symetrii piły prostopadłej do osi wrzeciona zmodyfikowanej obudowy górnej (opracowanie własne)

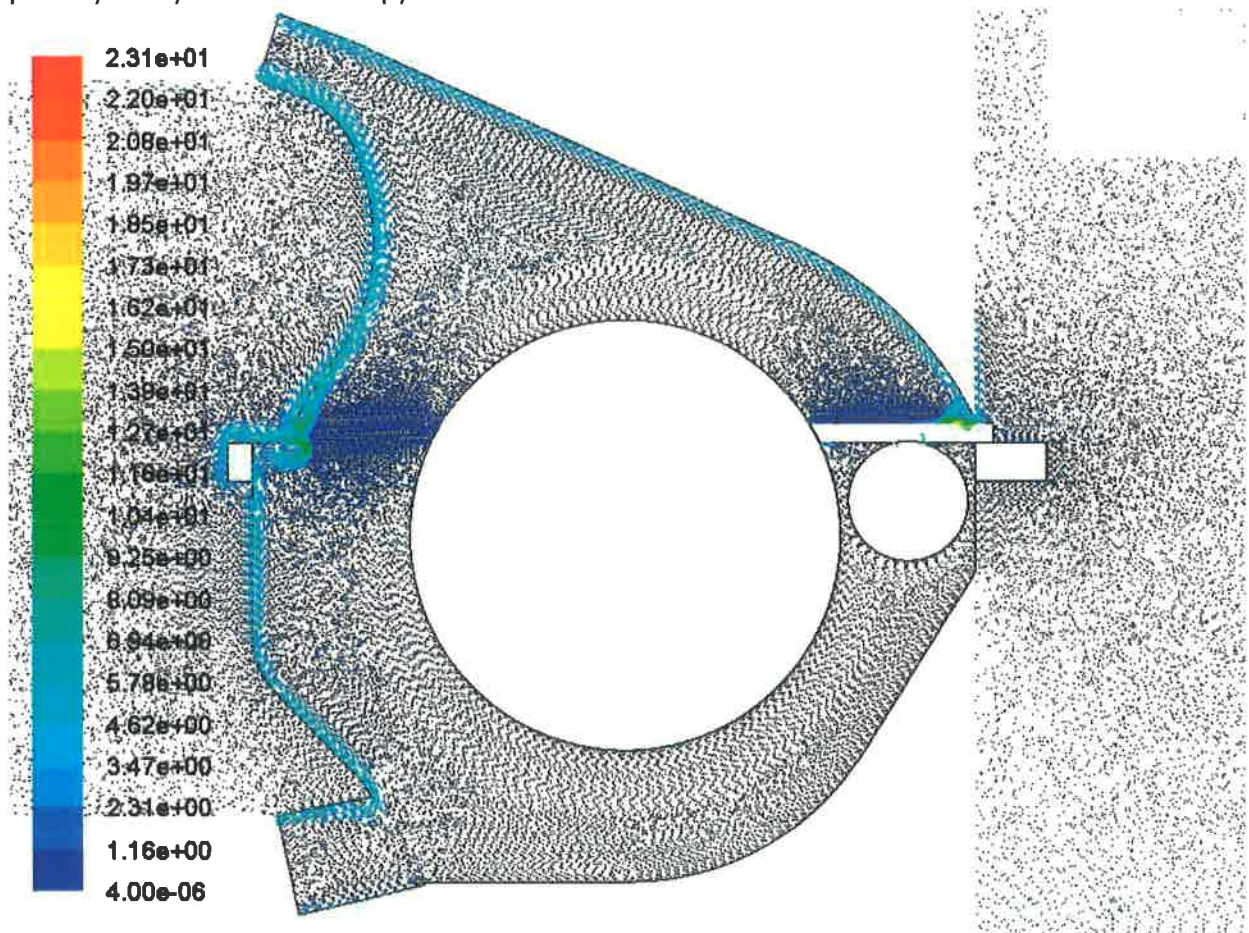


Rys. 5.15. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą \varnothing 300 mm:
 a) w górnej części obudowy górnej b) z przodu obudowy górnej (opracowanie własne)

Dla piły o średnicy \varnothing 450 mm zwiększono również jedynie wartość podciśnienia w króćcu wylotowym w obudowie górnej przy niezmienionej wartości prędkości obrotowej piły. Obliczenia numeryczne w tym etapie wykonano dla założonych następujących warunków brzegowych:

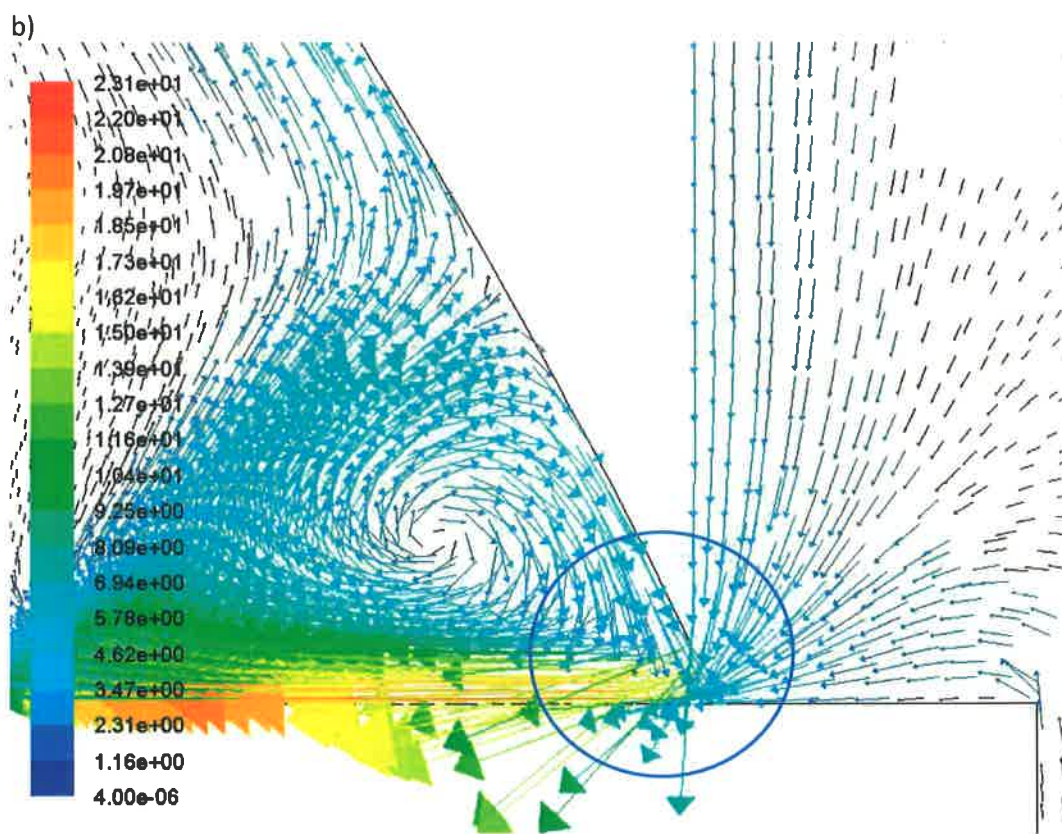
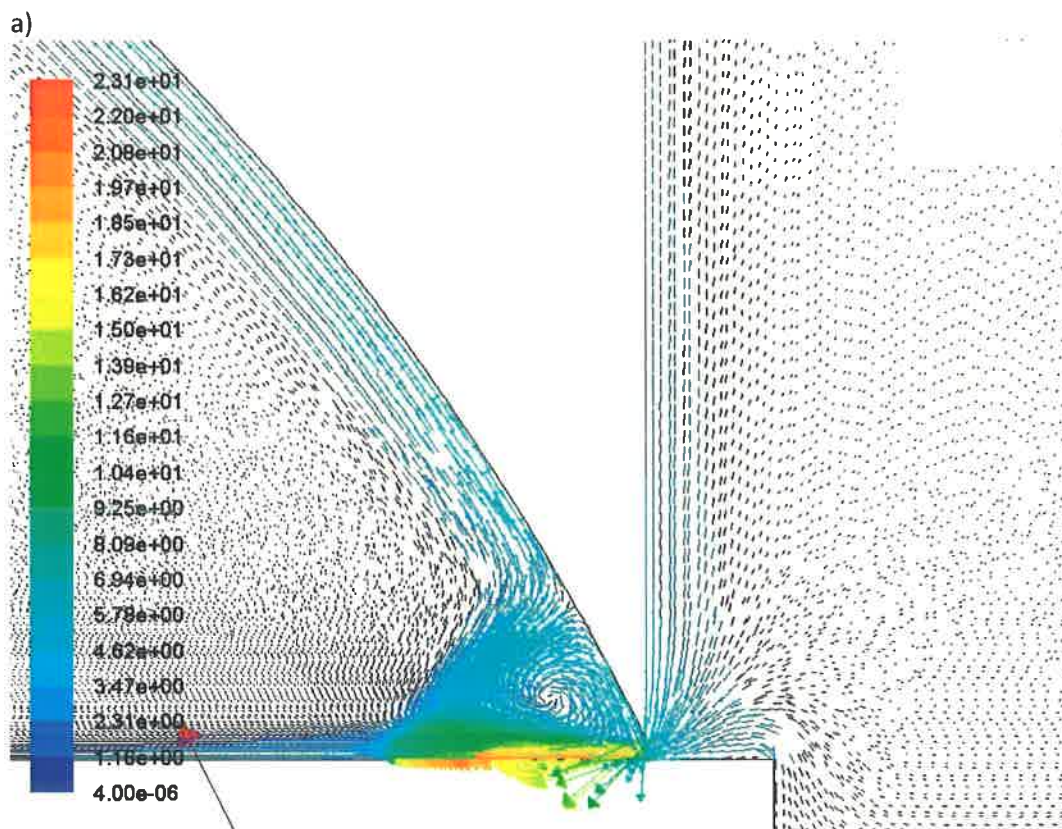
- piła o średnicy \varnothing 450 mm,
- obroty piły 3 500 1/min,
- obroty podcinaka 8 500 1/min,
- podciśnienie w króćcu dolnym – 400 Pa,
- podciśnienie w króćcu górnym – 400 Pa.

Na rys. 5.16 pokazano wyniki obliczeń numerycznych pola wektorów prędkości w płaszczyźnie symetrii układu odpylania.



Rys. 5.16. Pole wektorów prędkości w płaszczyźnie symetrii piły prostopadłej do osi wrzeciona zmodyfikowanej obudowy górnej (opracowanie własne)

Z przeprowadzonych obliczeń numerycznych przy zadanych warunkach brzegowych można stwierdzić, że dla obu średnic pił, czyli \varnothing 300 mm i \varnothing 450 mm powietrze jest zasysane z zewnątrz do układu odpylania, rys. 5.15b i rys. 5.17b. Dla obu pił i zdefiniowanych warunków prędkości medium wpływającego do układu odpylania dla założonych warunków brzegowych są wyższe niż w poprzednim przypadku.



Rys. 5.17. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą $\varnothing 450$ mm:
 a) w górnej części obudowy górnej b) z przodu obudowy górnej (opracowanie własne)

Powinno to mieć pozytywny wpływ na efekt usuwania wiórów z obudowy górnej.

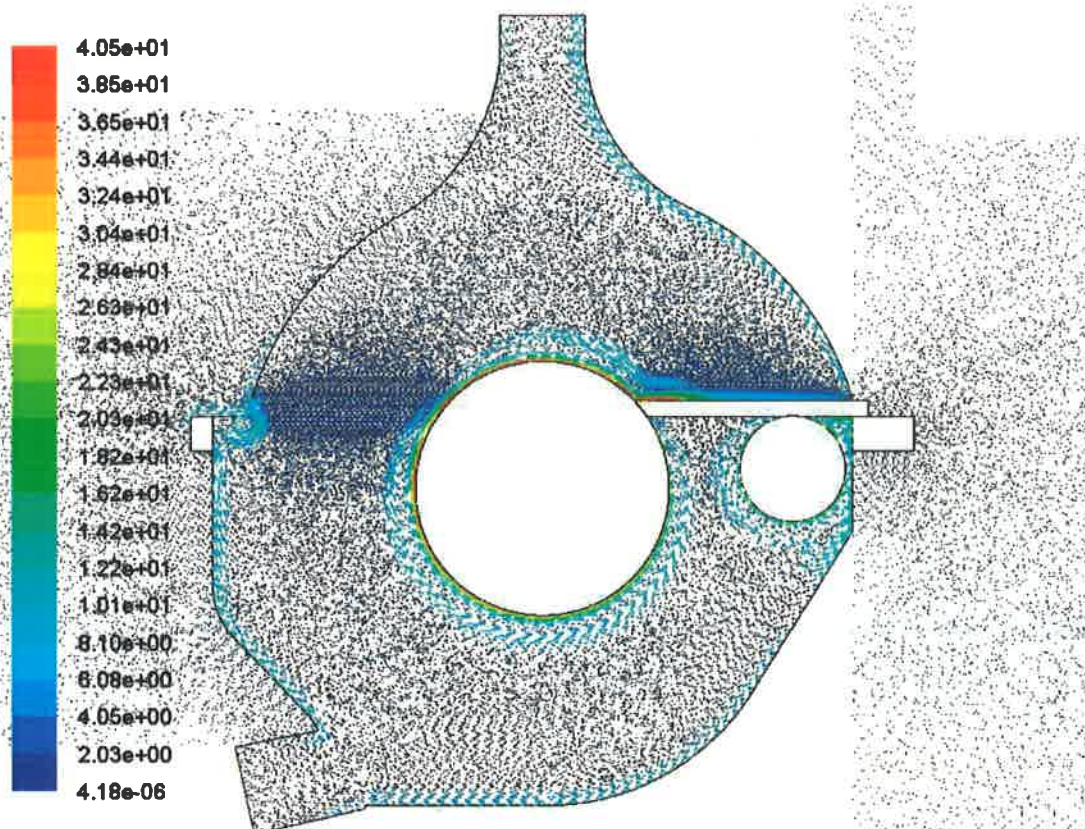
Przypadek 3.

W trzecim przypadku modyfikacja polega na zmianie kształtu obudowy górnej poprzez zastosowanie łuków na przedniej i tylnej ścianie obudowy górnej w taki sposób aby utworzony króciec wylotowy był skierowany pionowo.

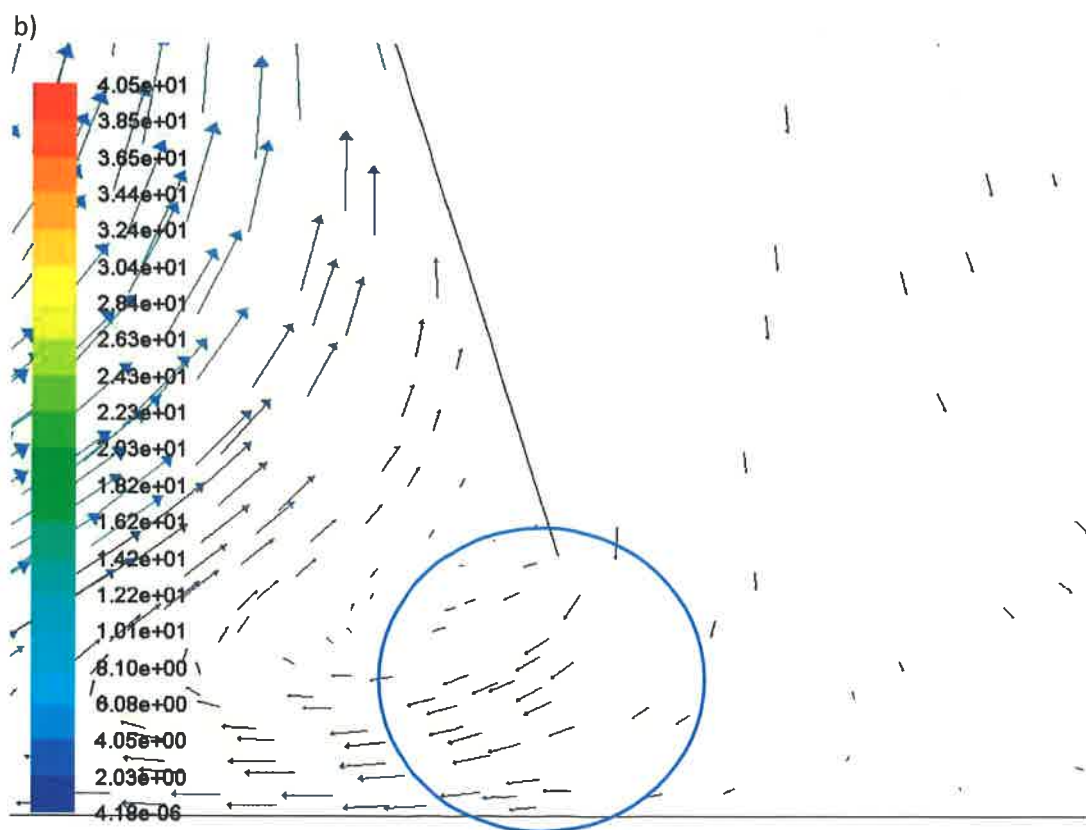
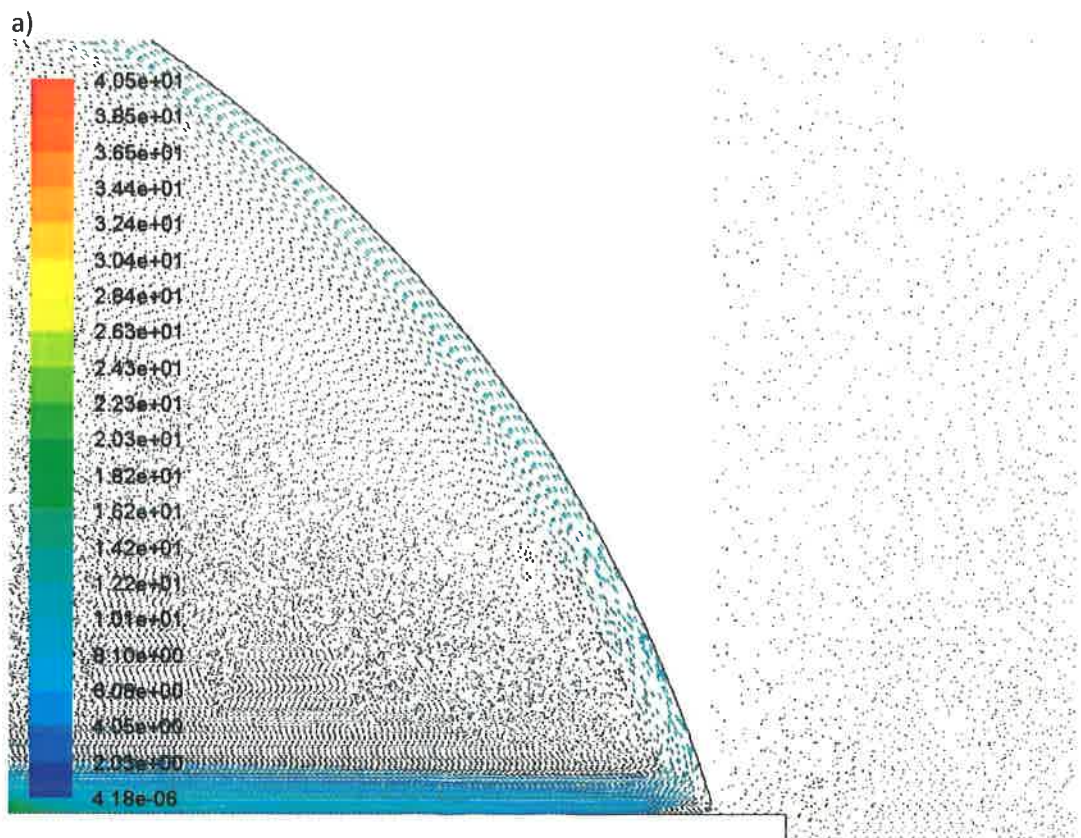
Obliczenia numeryczne wykonano dla następujących warunków brzegowych:

- piła o średnicy \varnothing 300 mm,
- obroty piły 6 000 1/min,
- obroty podcinaka 8 500 1/min,
- podciśnienie w króćcu dolnym – 400 Pa,
- podciśnienie w króćcu górnym – 200 Pa.

Na rys. 5.18 pokazano wyniki obliczeń numerycznych pola wektorów prędkości w płaszczyźnie symetrii układu odpylania.



Rys. 5.18. Pole wektorów prędkości w płaszczyźnie symetrii piły prostopadłej do osi wrzeciona zmodyfikowanej obudowy górnej (opracowanie własne)

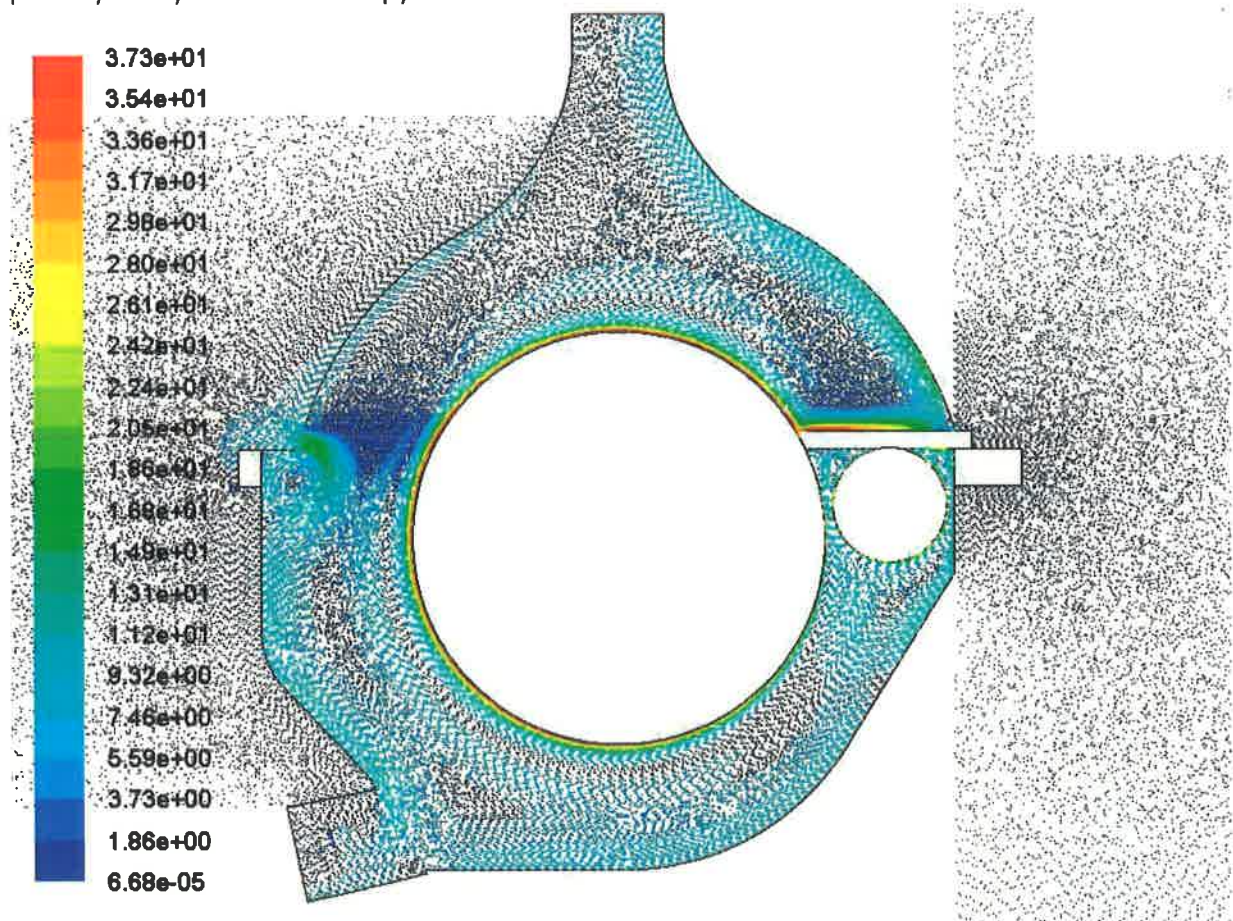


Rys. 5.19. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą \varnothing 300 mm:
a) w górnej części obudowy górnej b) z przodu obudowy górnej (opracowanie własne)

Obliczenia numeryczne wykonano dla założonych następujących warunków brzegowych:

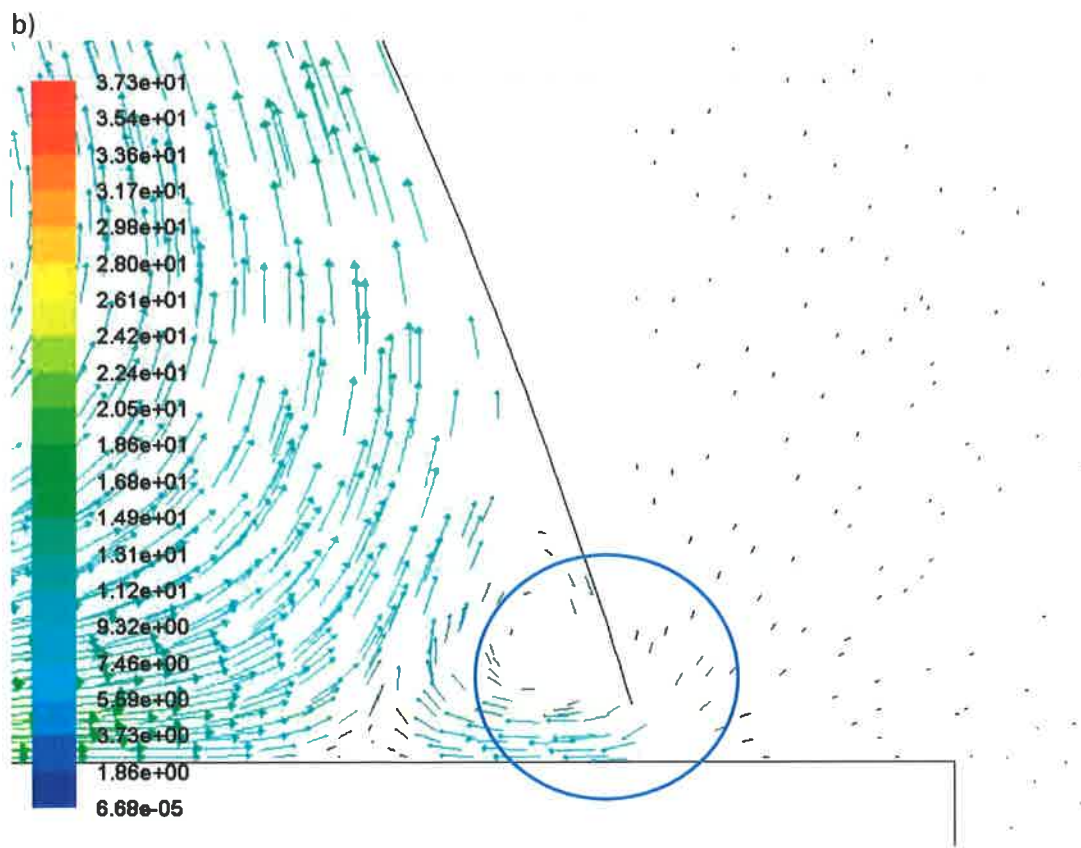
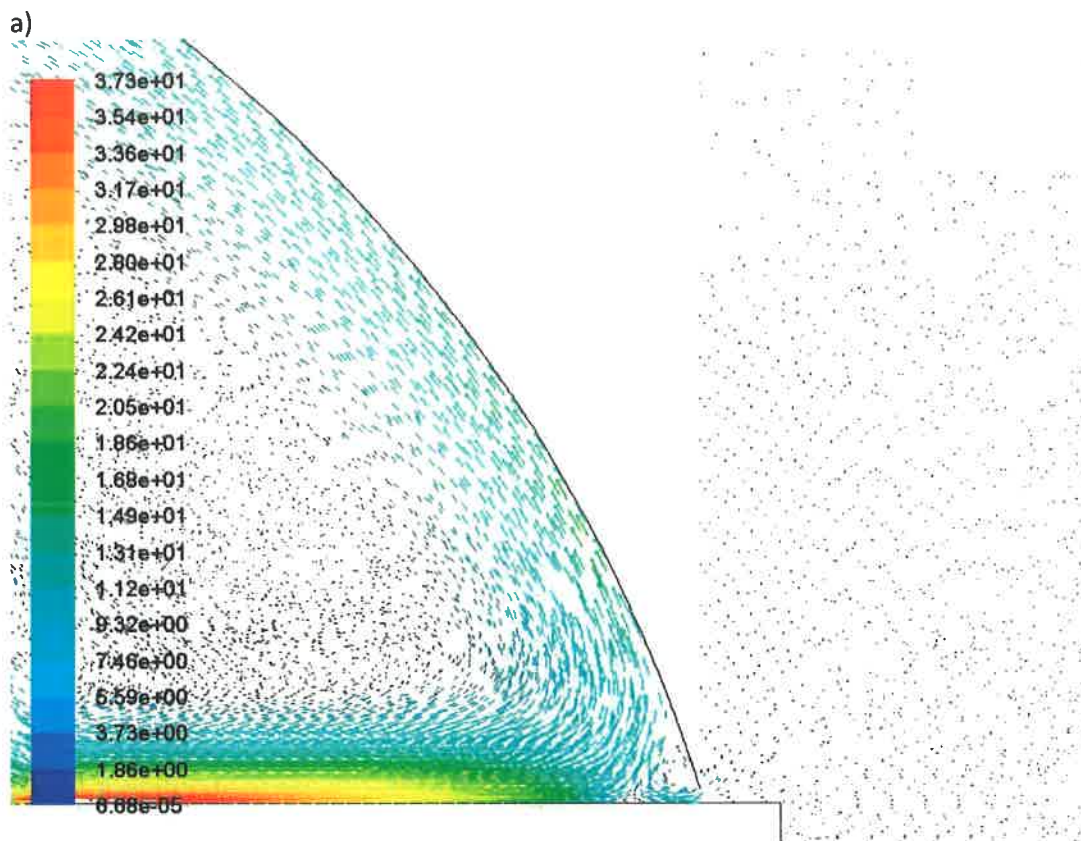
- piła o średnicy \varnothing 450 mm,
- obroty piły 3 500 1/min,
- obroty podcinaka 8 500 1/min,
- podciśnienie w króćcu dolnym – 400 Pa,
- podciśnienie w króćcu górnym – 200 Pa.

Na rys. 5.20 pokazano wyniki obliczeń numerycznych pola wektorów prędkości w płaszczyźnie symetrii układu odpylania.



Rys. 5.20. Pole wektorów prędkości w płaszczyźnie symetrii piły prostopadłej do osi wrzeciona zmodyfikowanej obudowy górnej (opracowanie własne)

Na podstawie przedstawionych wyników obliczeń numerycznych dla zadanych warunków brzegowych można zauważyć, że dla obu średnic pił, czyli \varnothing 300 mm i \varnothing 450 mm powietrze jest zasysane z zewnątrz do układu odpylania, rys. 5.19b i rys. 5.21b. Prędkości medium wpływającego i wypływającego do układu odpylania dla warunków brzegowych są małe. W obu przypadkach duży wpływ na przepływ powietrza w układzie odpylania mają: wartość podciśnienia w króćcu wylotowym obudowy górnej, prędkość obrotowa i średnica pił.



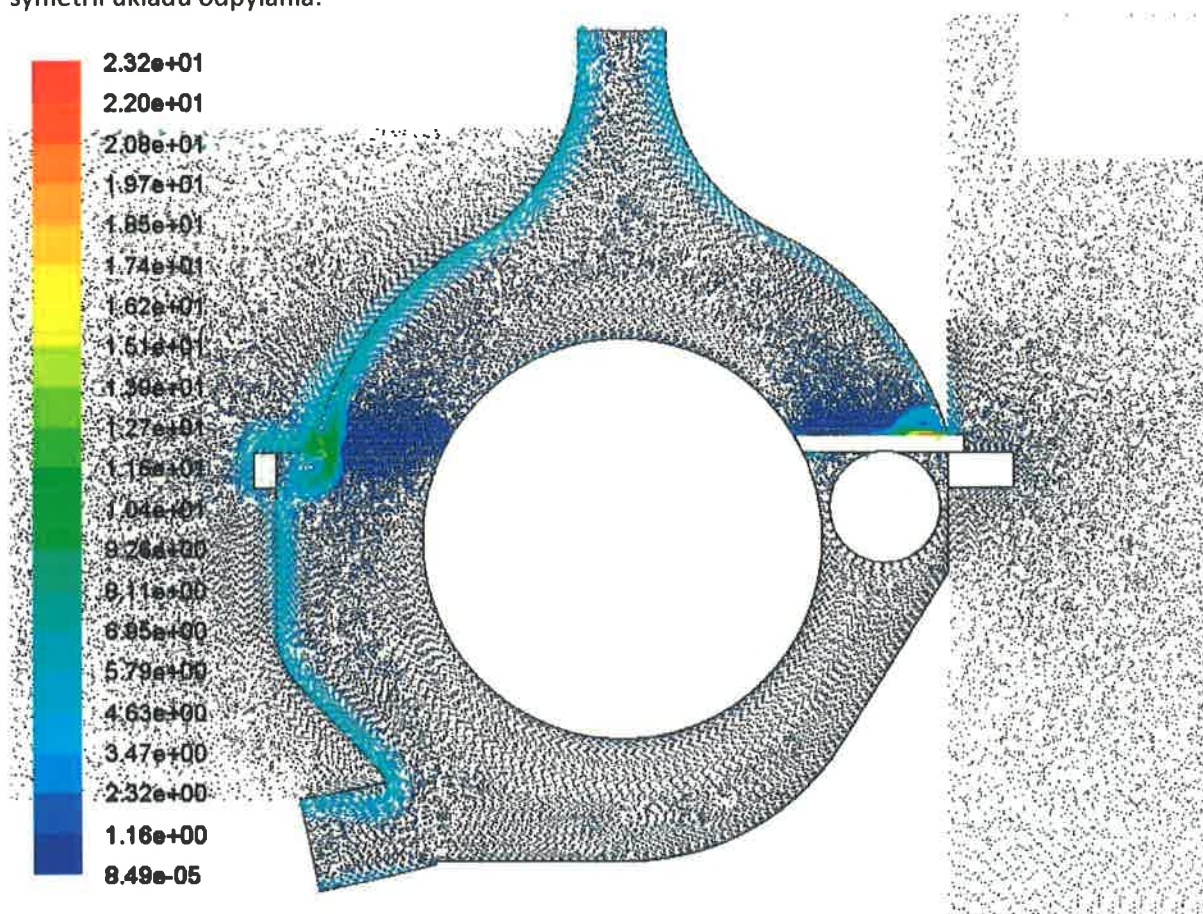
Rys. 5.21. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą \varnothing 450 mm:
 a) w górnej części obudowy górnej b) z przodu obudowy górnej (opracowanie własne)

Następnie dla piły o średnicy \varnothing 450 mm zmieniono wartość podciśnienia w króćcu wylotowym w obudowie górnej przy najniższej prędkości obrotowej piły.

Obliczenia numeryczne w tym etapie wykonano dla założonych następujących warunków brzegowych:

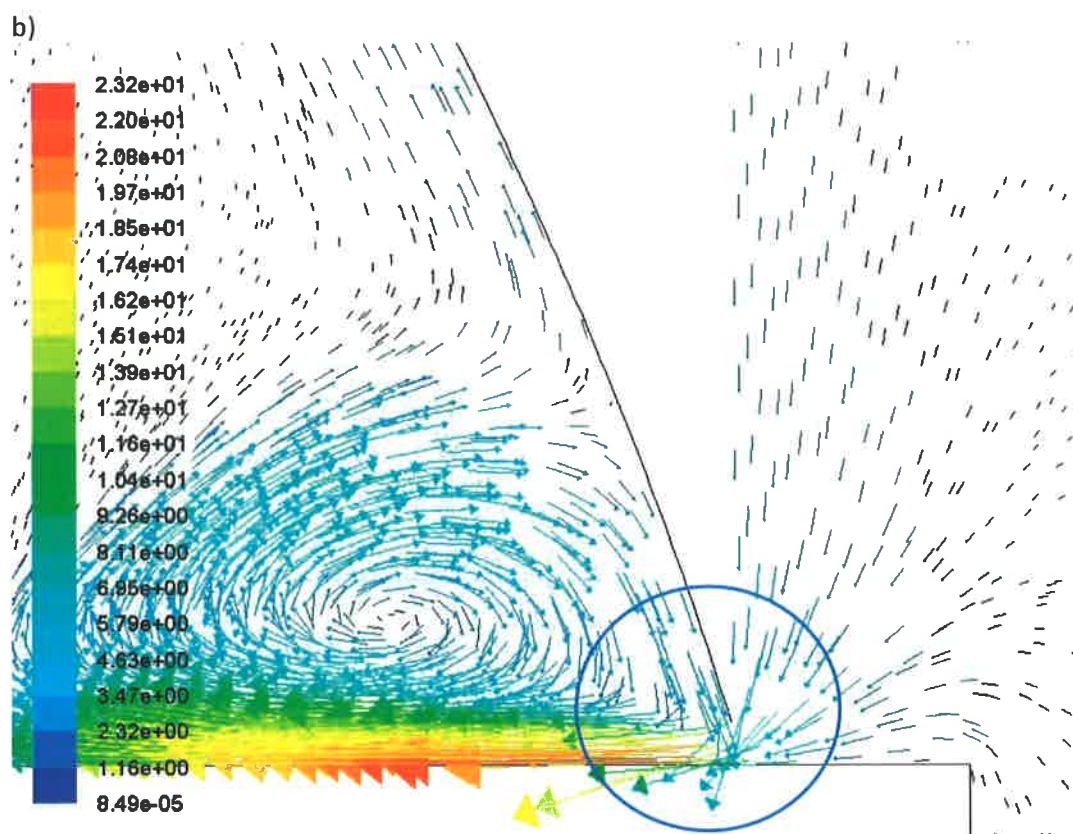
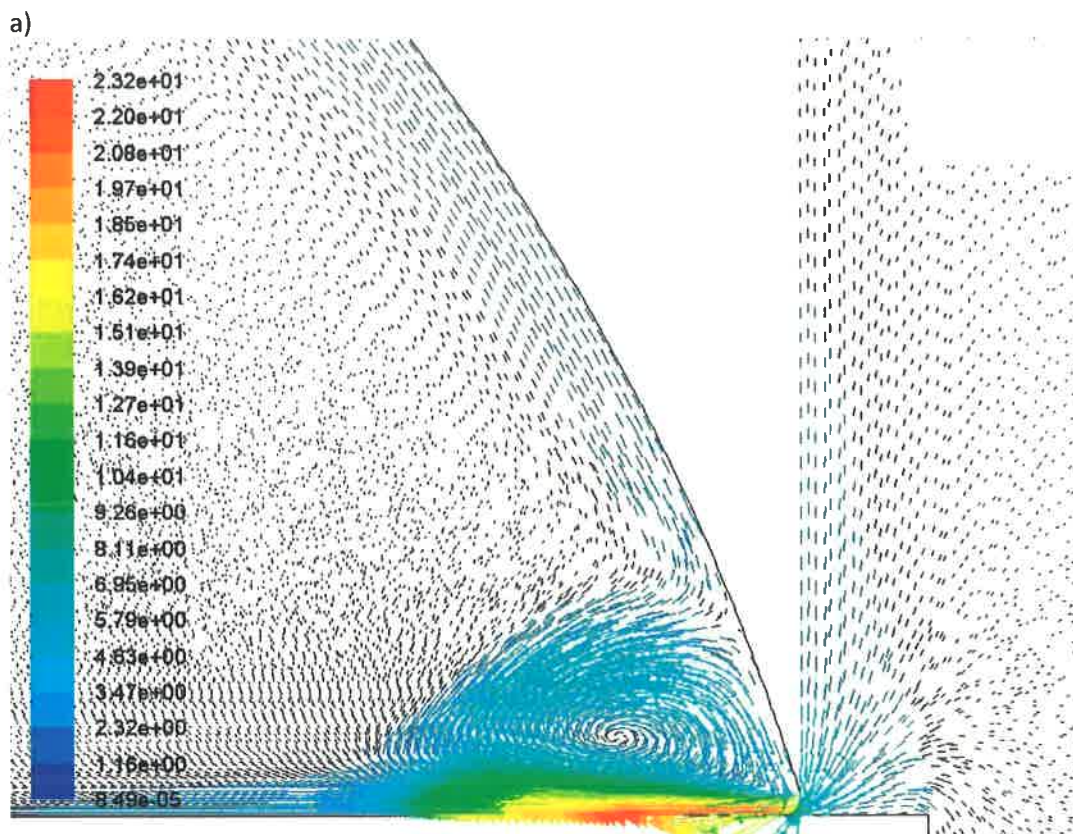
- piła o średnicy \varnothing 300 mm,
- obroty piły 3 500 1/min,
- obroty podcinaka 8 500 1/min,
- podciśnienie w króćcu dolnym – 400 Pa,
- podciśnienie w króćcu górnym – 400 Pa.

Na rys. 5.20 pokazano wyniki obliczeń numerycznych pola wektorów prędkości w płaszczyźnie symetrii układu odpylania.



Rys. 5.22. Pole wektorów prędkości w płaszczyźnie symetrii piły prostopadłej do osi wrzeciona zmodyfikowanej obudowy górnej (opracowanie własne)

Po przeprowadzeniu obliczeń numerycznych dla zadanych warunków brzegowych można zauważyć, że powietrze jest wypychane do otoczenia, rys. 5.23b. Prędkości medium wypływającego do układu odpylania dla warunków brzegowych są wyższe w porównaniu z poprzednimi wynikami symulacji.



Rys. 5.23. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą \varnothing 450 mm:
a) w górnej części obudowy górnej b) z przodu obudowy górnej (opracowanie własne)

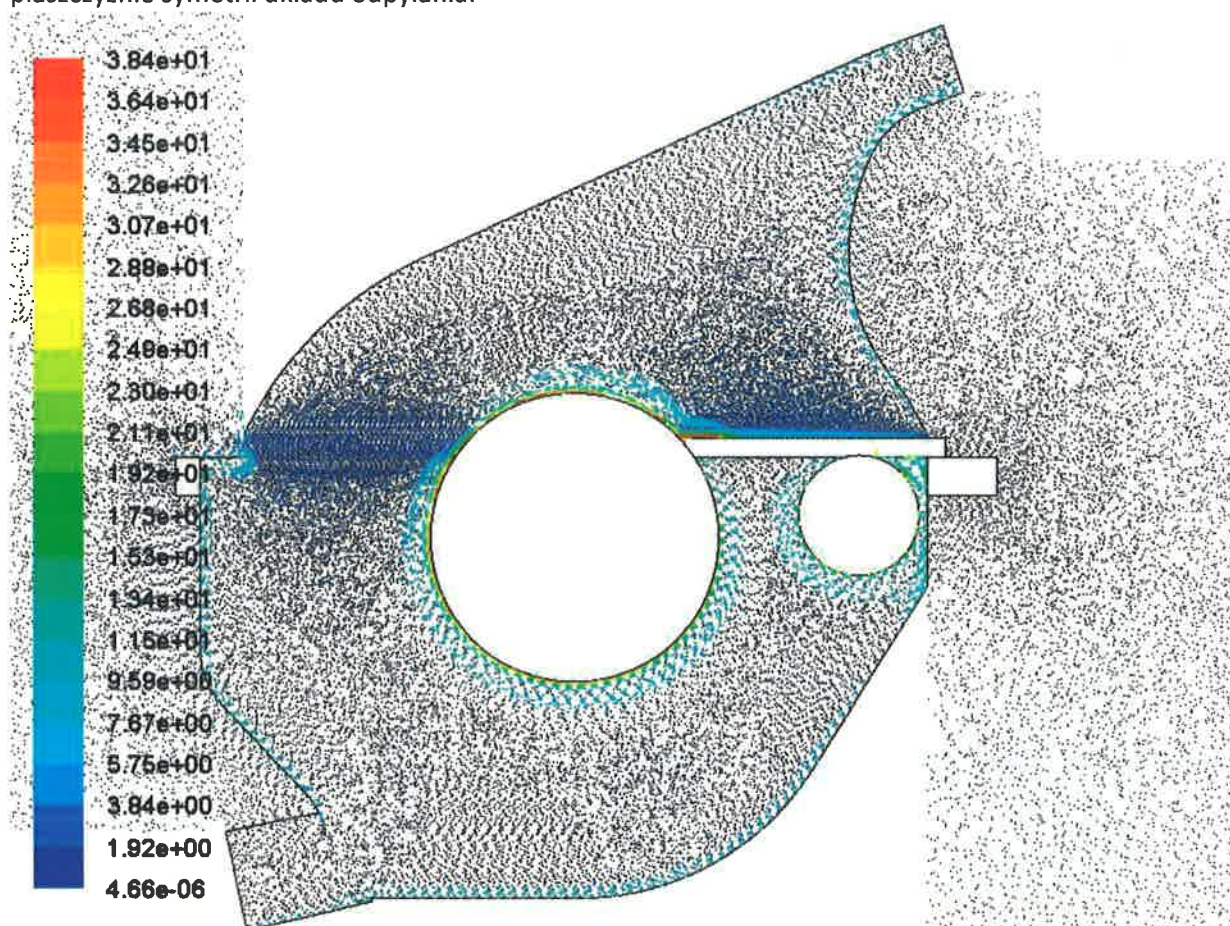
Przypadek 4.

W czwartym przypadku modyfikacja polega na zmianie kształtu obudowy górnej poprzez zastosowanie łuków na przedniej i tylnej ścianie obudowy górnej w taki sposób aby utworzony króciec wylotowy był skierowany w prawą stronę.

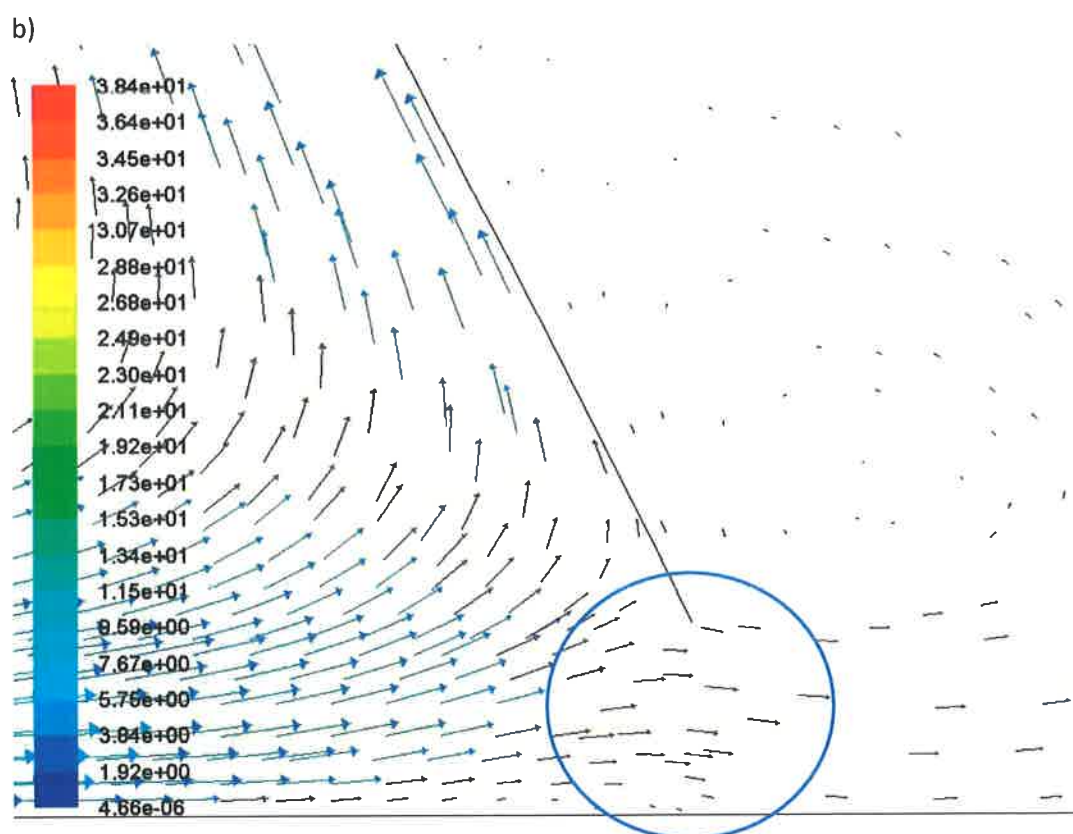
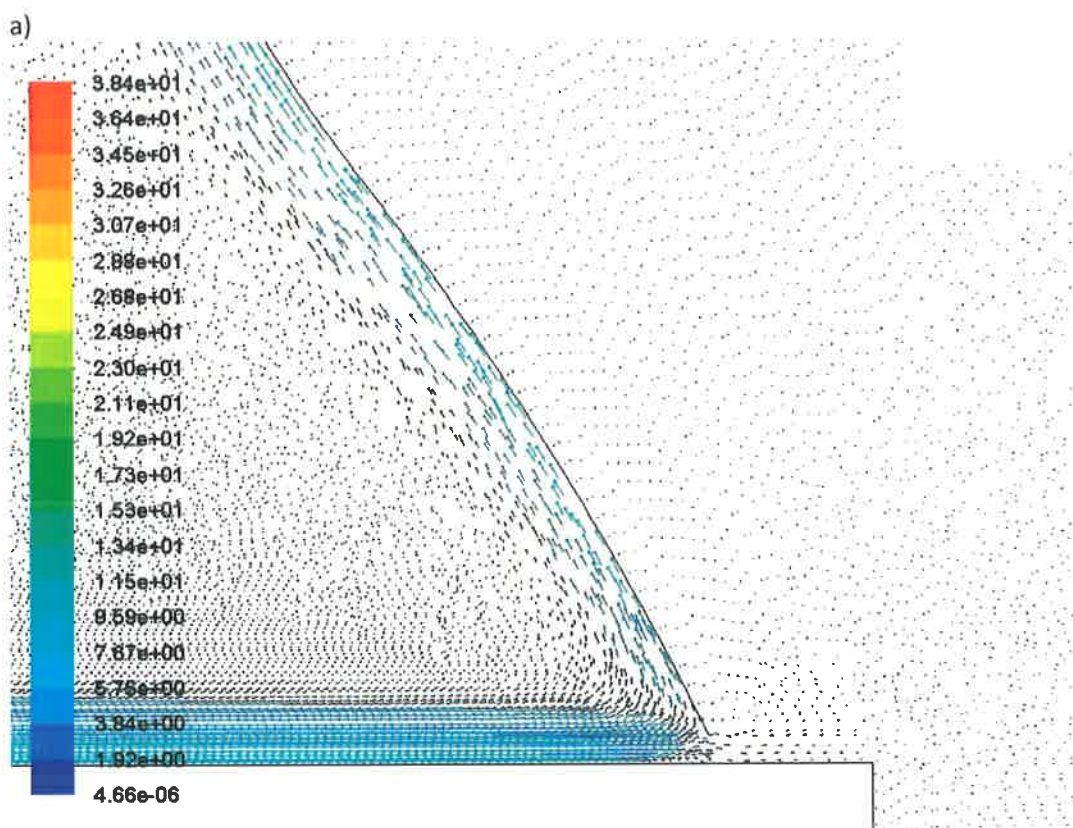
Obliczenia numeryczne wykonano dla następujących warunków brzegowych:

- piła o średnicy \varnothing 300 mm,
- obroty piły 6 000 1/min,
- obroty podcinaka 8 500 1/min,
- podciśnienie w króćcu dolnym – 400 Pa,
- podciśnienie w króćcu górnym – 200 Pa.

Na rys. 5.24 pokazano wyniki obliczeń numerycznych pola wektorów prędkości w płaszczyźnie symetrii układu odpylania.



Rys. 5.24. Pole wektorów prędkości w płaszczyźnie symetrii piły prostopadłej do osi wrzeciona zmodyfikowanej obudowy górnej (opracowanie własne)



Rys. 5.25. Pole wektorów prędkości przepływu powietrza przez układ odpylania pilarki z piłą $\varnothing 300$ mm:
a) w górnej części obudowy górnej b) z przodu obudowy górnej (opracowanie własne)

Na podstawie przedstawionych wyników obliczeń numerycznych dla zadanych warunków brzegowych można zauważyć, że dla średnicy piły \varnothing 300 mm powietrze jest wypychane na zewnątrz do otoczenia, rys. 5.25b. Prędkość medium wypływającego z przedniej części obudowy górnej jest mała.

Można stwierdzić, że zmiana kierunku wylotu powietrza z króćca obudowy górnej w prawą stronę nie wpływa pozytywnie na usuwanie powietrza z układu.

6. PODSUMOWANIE

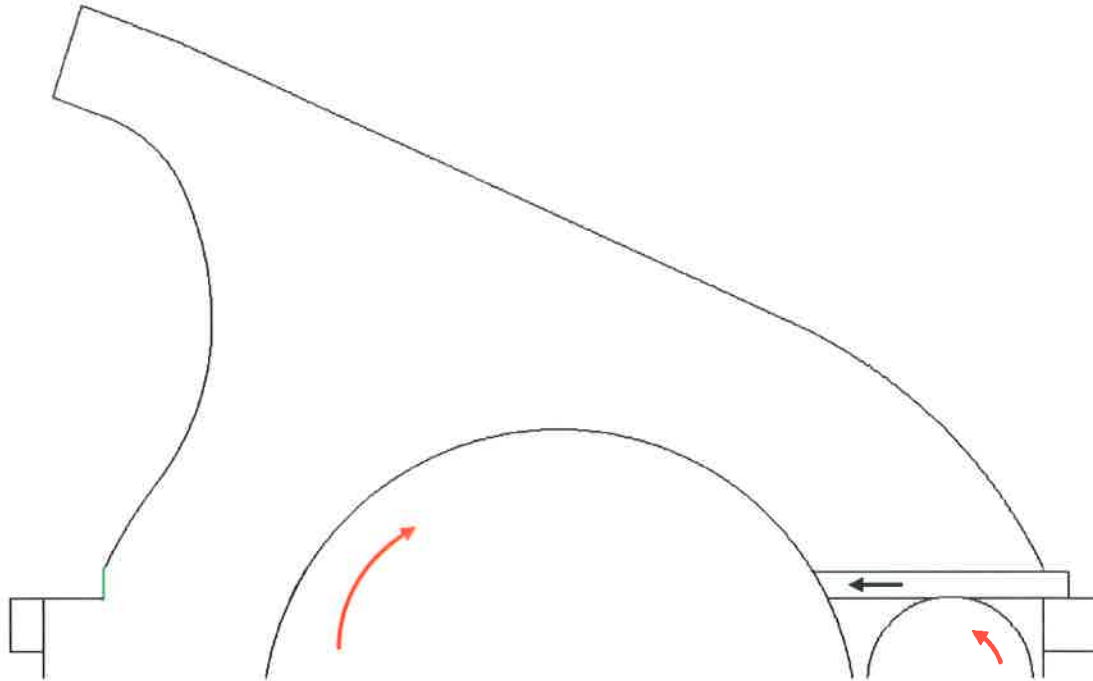
Podciśnienie w króćcach przy wentylatorze znajduje się w przedziale **900 - 1200 Pa**. Podciśnienie w króćcu wylotowym górnej obudowy na poziomie około **200 Pa** nie umożliwi usunięcia wiórów z części roboczej pilarki. Zarówno badania eksperymentalne jak i obliczenia numeryczne pokazały występowanie przepływu wstecznego w przedniej części górnej obudowy, przy dużej średnicy piły oraz przy dużej prędkości obrotowej w przypadku piły o mniejszej średnicy. Wyniki obliczeń wskazują, że zwiększenie podciśnienia w króćcu wylotowym osłony górnej z 200 do 400 Pa zdecydowanie poprawia przepływ powietrza w obrębie osłony górnej, a zwiększenie do 1500 Pa powinno zlikwidować istniejące problemy z układem odpylania. W przypadku koleby dolnej podciśnienie na poziomie **400 Pa** jest niewystarczające aby wióry były efektywnie usuwane spod podcinaka i piły. **Osiągane wartości podciśnienia a także prędkości w króćcach wylotowych są znacznie niższe niż wartości podawane w literaturze.** Zaproponowane modyfikacje osłony górnej i koleby dolnej mogą okazać się skutecznymi **pod warunkiem zapewnienia prędkości wylotowych w króćcach osłony i koleby w przedziale 25 - 30 m/s.**

Podczas pomiarów wstępnych zmierzono również prędkość przepływu powietrza w króćcu na końcu górnej obudowy (punkt pomiarowy 36) oraz w króćcu na wylocie z koleby dolnej (punkt pomiarowy 54). Otrzymane wartości wynoszą w granicach **15 - 18 m/s** oraz **17-18 m/s**. **Są to wartości znacznie mniejsze od wartości zamieszczonych przez producenta w materiałach technicznych pilarki Fx3 (28 m/s).**

Wskazane jest wykonanie do badań prototypowych dwóch koncepcji obudów górnych pilarki. Ostateczna wersja będzie wybrana po weryfikacji przez badania eksperymentalne.

Wersja nr 1.

Zmodyfikowana wersja obudowy z wylotem z lewej strony wg poglądowego rysunku zamieszczonego poniżej:



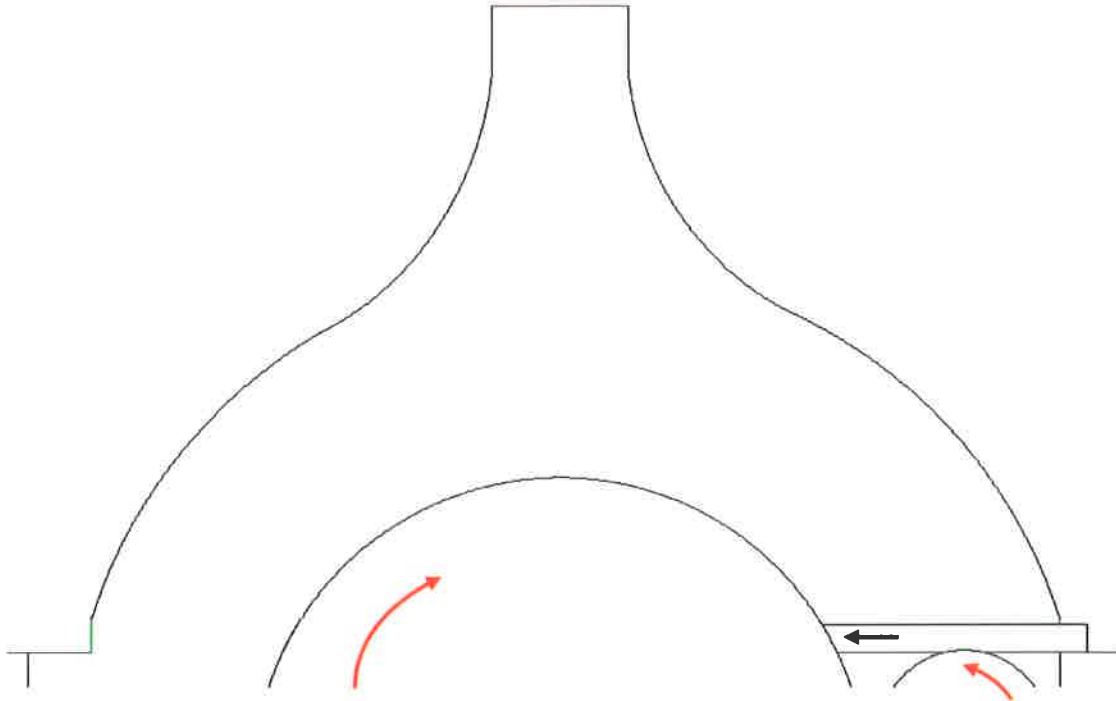
Rys. 6.1. Koncepcja nr 1 kształtu obudowy górnej układu odpylania.

Cechy szczególne koncepcji nr 1:

- zaokrąglenia z prawej i lewej strony,
- usunięcie przestrzeni w obudowie (wnęki związanej z konstrukcją uchwytu),
- zmiana kąta pochylenia ściany górnej i króćca wylotowego na 45° ,
- dodatkowe kolano pod kątem 90° nasadzone na króciec wylotowy osłony górnej łączące króciec wylotowy z rurą tzw. „spiro”.

Wersja nr 2.

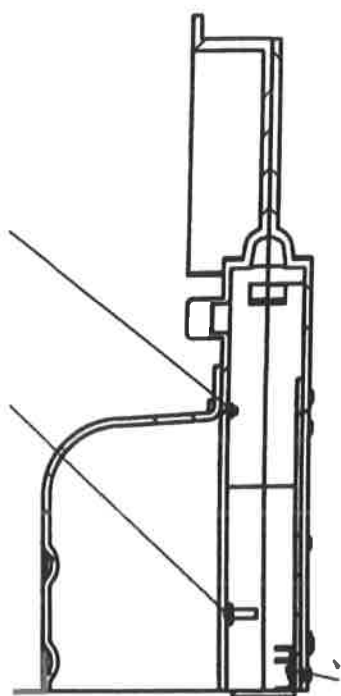
Obudowa z wylotem w pionie, w kierunku prostopadłym do stołu, wg poglądowego rysunku zamieszczonego poniżej:



Rys. 6.2. Koncepcja nr 2 kształtu obudowy górnej układu odpylania.

W obu wersjach występuje dodatkowa modyfikacja osłon (ścian bocznych) wykonanych z pleksiglasu:

- eliminacja wewnętrznego aluminiowego usztywnienia ścian bocznych w wąskiej osłonie,
- eliminacja usztywnienia wewnętrznego w ścianie osłony szerokiej,
- usztywnienie zapewni odgięcie dolnej krawędzi na zewnątrz w obydwu osłonach (rys. 6.3),
- odchylone krawędzie będą wykorzystane do mocowania włosa sztywnego (fartucha) zapewniającego szczelność obudowy
- fartuch z włosa sztywnego wymagany na czas prowadzenia badań eksperymentalnych; o ewentualnym wdrożeniu fartucha po zakończeniu projektu zdecyduje Firma



Rys. 6.3. Propozycje zmiany kształtu dolnej części ścianki bocznej osłony górnej.

LITERATURA

1. O nas. Spis treści. Pilarki formatowe. Pilarki poprzeczno-wzdłużne (<http://remasa.pl/produkty/produkt/20/1>)
2. Lauder B. E., Spalding D. B.: Mathematical Models of Turbulence, Academic Press, London, UK 1972.
3. Hinze J. O.: Turbulence, An Introduction to its Mechanism and Theory, 2nd Edition, McGraw-Hill, NY, USA, 1975.
4. ANSYS Fluent User's Guide, 2012.
5. Dzurenda L.: Sypka drewna hmota, vzduchotechnická doprava a odlučovanie, Technická Univerzita vo Zvolene, Slovakia, 2007.

