

# Prototyp systemu do diagnostyki kotłów energetycznych dużej mocy

## Prototype system for diagnostic of high power boilers

### Streszczenie

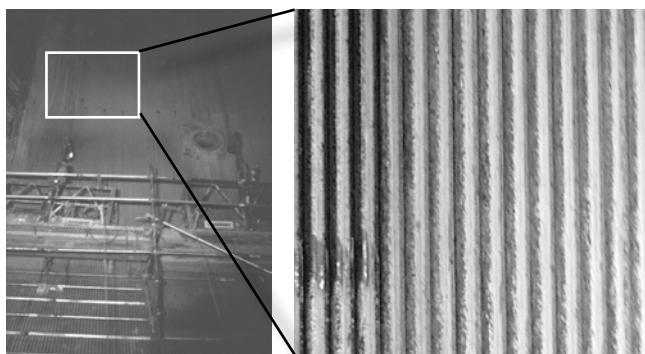
Diagnostyka ścian paleniska kotłów energetycznych dużej mocy obecnie jest wykonywana z wózków liniowych lub rusztowań. Operator dokonuje ręcznego pomiaru zużycia w wytypowanych punktach pomiarowych, których może być nawet 20 000. W odpowiedzi na obecną metodę pomiaru w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów PIAP trwają prace nad prototypem systemu do zautomatyzowanej diagnostyki ścian palenisk. W skład systemu wchodzi robot wspinający się, konsola sterująca oraz oprogramowanie sterujące i realizujące obróbkę danych pozyskanych od robota. Przedstawiono wyniki opracowań oraz pierwszych testów systemu.

### Abstract

Nowadays, diagnostics of high-energy boilers' walls is carried out mainly from scaffoldings. Servicemen carry out manual measurements of the use of the boiler in selected points, which can be up to 20 000. In response to the current method of measuring the Industrial Research Institute for Automation and Measurements PIAP is working on a prototype system for automated diagnostic of boilers' walls. The system consists of the climbing robot, control console and software for control and processing data obtained by the robot. The results of studies and the first tests of the system are presented in the paper.

## Diagnostyka paleniska kotłów energetycznych dużej mocy

Diagnostyka paleniska kotłów dużej mocy jest wykonywana z rusztowań lub wózków linowych przy

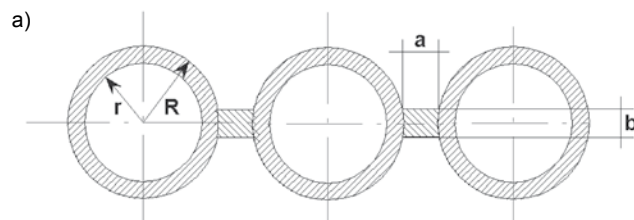


**Rys. 1.** Ściana kotła energetycznego BP-1150 w Opolu, podczas remontu

**Fig. 1.** The wall of high power boiler – BP-1150 in Opole, during the renovation

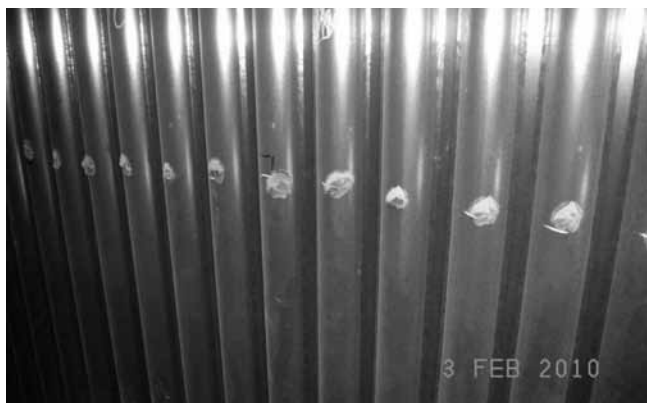
**Mgr inż. Maciej Cader, mgr inż. Grzegorz Kowalski** – Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów, Warszawa.

użyciu ręcznych przyrządów pomiarowych. Praca, podczas której trzeba wykonać nawet do 20 tys. pomiarów w wyznaczonych punktach pomiarowych, jest bardzo wyczerpująca i naraża ludzi prowadzących badania techniczne nie tylko na niebezpieczeństwo, ale również szereg błędów wynikających z jej specyfiki. Przestrzeń paleniska w kotle jest otwarta i dostępna. Jego ściany zaprezentowane na rysunku 1 są zbudowane z pionowych rur, połączonych ze sobą za pomocą separatorów (rys. 2).



**Rys. 2.** Sposób łączenia rur palenisk kotłów energetycznych dużej mocy: a) szkic, b) wycinek ściany

**Fig. 2.** The way of connections of high power boilers pipes: a) draft, b) section of the wall



**Rys. 3.** Przykłady oznaczenia punktów pomiarowych na ścianie paleniska kotła

**Fig. 3.** Examples of marking of the measuring points on the boiler furnace wall

Tradycyjnie diagnostyka ścian paleniska kotłów energetycznych polega na dokonaniu serii pomiarów zużycia rur paleniska (zmniejszenia wartości promienia  $R$  w stosunku do wartości początkowej) w wyznaczonych punktach pomiarowych (rys. 3). W przypadku wykrycia niedopuszczalnej grubości rury w danym punkcie pomiarowym wycina się fragment ściany (jest to z reguły wycięcie powierzchni nawet kilkudziesięciu metrów kwadratowych) i dokonuje wymiany. Obecnie diagnostyka jest prowadzona za pomocą grubościomierzy ultradźwiękowych. Dokonywane są również oględziny, które mają na celu zgrubną ocenę zużycia i ocenę stanu technicznego ścian. Od precyzji i rzetelności badań diagnostycznych zależy zakres remontu kotła, a w rezultacie często międzyremontowy czas pracy. Warto zauważyć, że ze względu na zapewnienie sprawnego przeznaczenia ciepła ze strefy paleniska kotła do wnętrza rur naściennych prowadzących wodę i parę, grubość ścianek rur musi być niewielka – ok. 5 mm. Uwzględniając fakt, że wewnętrzne ciśnienie jest wysokie i może nawet 200 razy przekraczać ciśnienie atmosferyczne, okazuje się, że dopuszczalny zakres strat grubości ścianki wynosi niewiele ponad 2 mm. To z kolei pokazuje, jak dokładne i przy tym odpowiednio lokalizowane powinny być punkty pomiarowe, aby ostateczna ekspertyza odzwierciedlała faktyczny stan techniczny kotła. Ogólnie przyjęto dopuszczalną precyzję urządzeń pomiarowych na poziomie nie gorszym niż 0,1 mm. Badanie grubości ścianek rur ekranowych jest oczywiście tylko jedną z wielu ocen, jakim poddaje się konstrukcję kotła podczas badań przed remontem. Inne to np.: badanie spoin, obserwacje wżerów na powierzchni rur, badania metalograficzne [1].

## Nowy system do diagnostyki ścian paleniska kotłów energetycznych

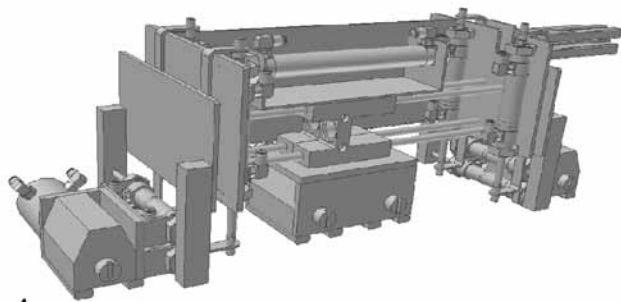
W odpowiedzi na obecną metodę diagnostyki kotłów energetycznych w Przemysłowym Instytucie

Automatyki i Pomiarów w Warszawie podjęto prace mające na celu opracowanie prototypu systemu do diagnostyki quasi-ciągłej ścian paleniska kotłów energetycznych dużej mocy. W skład systemu wchodzi wspinający się robot mobilny oraz specjalnie wzmacniany laptop przemysłowy, będący konsolą sterującą robota [2].

Oprogramowanie sterujące i diagnostyczne zostało opracowane w PIAP specjalnie do celów obsługi robota i wykonywania pomiarów. Operator, sterując robotem, uruchamia odpowiednie bloki programowe zapisane we wbudowanym w robota sterowniku. Bloki zawierają procedury bazowe, dzięki którym robot może realizować ruchy w charakterystycznych kierunkach (góra, dół, prawo, lewo oraz obroty w prawo i w lewo w płaszczyźnie ściany). Do stworzenia interfejsu pomiędzy robotem i laptopem sterującym użyto systemu SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), który umożliwia nadzorowanie przebiegu procesów i sterowanie nimi oraz daje możliwość stworzenia własnego interfejsu graficznego. Dzięki stworzonemu systemowi komunikacji operator może w łatwy, szybki i intuicyjny sposób sterować robotem, ale również może w równie prosty sposób modyfikować procedury sterowania i oprogramowanie.

Konstrukcja robota wynika z założeń, jakie powinien spełniać: przenoszenie dwóch kamer, elektroniki sterującej wraz z czujnikami stanu robota, akumulatorów, czujnika/czujników pomiaru zużycia wierzchniej warstwy rur paleniska i oświetlenia. Do ww. wymagań należy dodać, że robot w założeniach otrzymanych od przedstawicieli elektrowni powinien wykonać pełną diagnostykę wybranych obszarów paleniska – czterech ścian od podstawy do założonej wysokości sięgającej nawet 50 m, w czasie nie dłuższym niż 96 godzin, z dokładnością szacowania zużycia rury ok. 0,1 mm. Ważne jest również zagęszczenie rozstawu punktów pomiarowych (odstępu pomiędzy punktami pomiarowymi) do 200 mm, co wyznacza dokładność pozycjonowania robota. W związku ze specyfiką budowy paleniska zdecydowano, że robot będzie poruszał się liniowo w pionie i poziomie, natomiast ścian będzie się chwytał za pomocą chwytaków magnetycznych. Zarówno ruchy napędów głównych robota, jak i przełączanie pola magnesów realizowane są za pomocą pneumatycznych napędów liniowych i obrotowych. Dzięki zastosowaniu układu ruchowego opartego na pneumatyce zwiększono czas pracy robota, który wykorzystując przemysłową instalację sprężonego powietrza, oszczędza energię akumulatorową, potrzebną do zasilania układów komunikacyjnych i diagnostycznych [2].

W zależności od wersji prototypu robota opracowano różne wersje układu napędowego do testów [3]. Pierwszy prototyp robota był wyposażony w układ trzech bloków po dwa chwytaki magnetyczne każdy (rys. 4). W obecnie wykonanym prototypie dokonano przełomowych zmian, od miniaturyzacji elektroniki, konstrukcji nośnej, redukcji liczby chwytaków do dwóch, aż po nowy ergonomiczny *design*, który oprócz nowoczesnego wyglądu ułatwia przenoszenie



**Rys. 4.** Model CAD pierwszego prototypu robota  
**Fig. 4.** The CAD model of the first climbing robots prototype

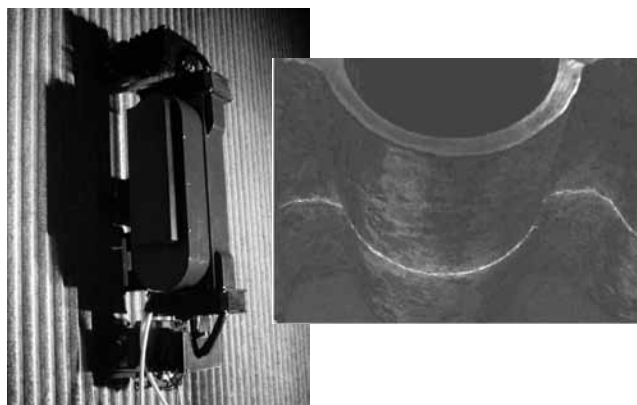


**Rys. 5.** Najnowszy prototyp robota czwartej generacji podczas testów w EC Turów w Bogatyni  
**Fig. 5.** The latest fourth-generation robot prototype during testing in EC Turów in Bogatynia

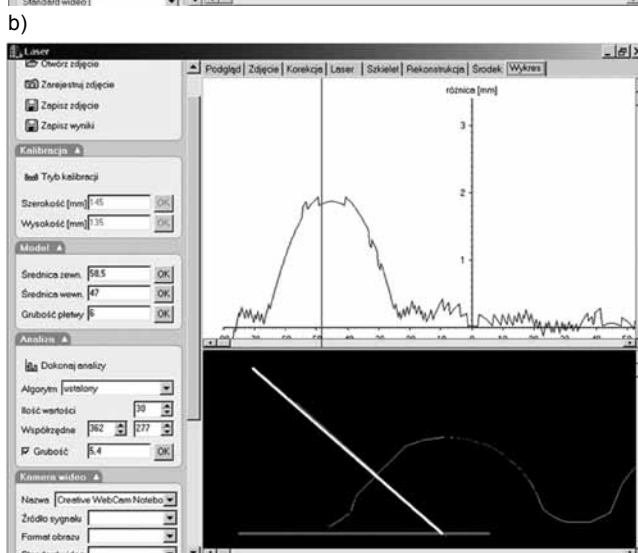
i mocowanie robota na ścianie (rys. 5). Aktualnie trwają prace nad całkowitym wyeliminowaniem chwytaków magnetycznych na rzecz innego rozwiązania konstrukcyjnego układu napędowego robota. Aktualna wersja prototypu bez chwytaków nie może zostać zaprezentowana w niniejszym artykule ze względu na trwające procedury patentowe.

## Sposób wykonywania pomiarów przez system

Badanie całego półprofilu rury, narażonego na wysoką temperaturę oraz oddziaływania erozyjne i korozyjne podczas spalania węgla, daje możliwość bardziej precyzyjnego opisu stanu zużycia rur, co podnosi jakość ekspertyzy. Podczas prac nad prototypem systemu przetestowano i/lub wykonano różnego rodzaju czujniki – skanery (laserowe), umożliwiające wykonanie diagnostyki. Głównym założeniem pomiaru jest analiza obrysu powierzchni rur i prognozowanie ich zużycia na podstawie porównania z obrysem wzorcowym. Pomiar jest dokonywany przez naświetlenie rury wiązką laserową (rys. 6), po czym wykonywane są operacje matematyczne obróbki profilu wyznaczonego przez wiązkę i porównanie jej ze wzorcem. Ostatecznie do operatora trafia informacja o ubytku w grubości rury i kącie pomiaru oraz lokalizacji tego ubytku (rys. 7). Operator, oglądając wyniki



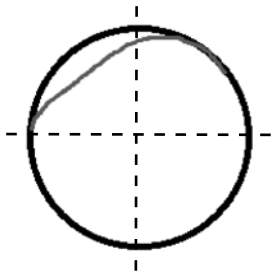
**Rys. 6.** Wiązka skanera laserowego zamontowanego do robota mierzącego zużycie powierzchni rur  
**Fig. 6.** Beam laser scanner mounted to the robot measuring pipe surface wear



**Rys. 7.** Oprogramowanie diagnostyczne współpracujące z modulem pomiarowym znajdującym się w robocie: a) zmierzony profil rury przed obróbką, b) profil po obróbkach wraz z wynikami pomiaru zużycia grubości rury

**Fig. 7.** Diagnostic software interfacing: a) the measured profile of the pipe before treatment, b) the profile after treatments and the results of measuring wear pipe thickness



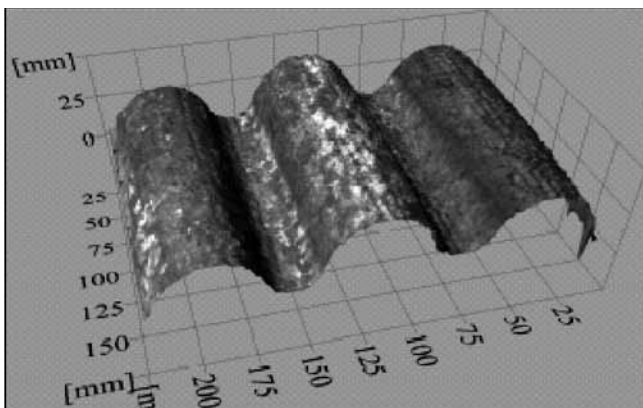


**Rys. 8.** Przekrój poprzeczny przez rurę – niesymetryczne zużycie rur w kotle pyłowym, spowodowane przez cyrkulację wkładu kotła.  
**Fig. 8.** The cross-section through a pipe - unbalanced wear pipe in the pulverized coal boiler, the contribution caused by the circulation of the boiler

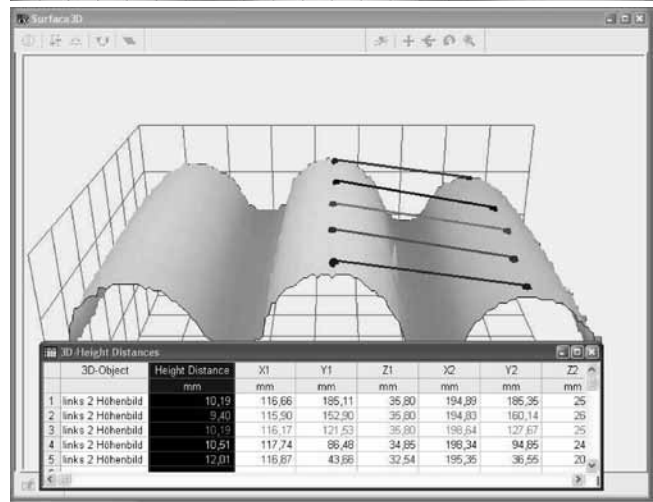
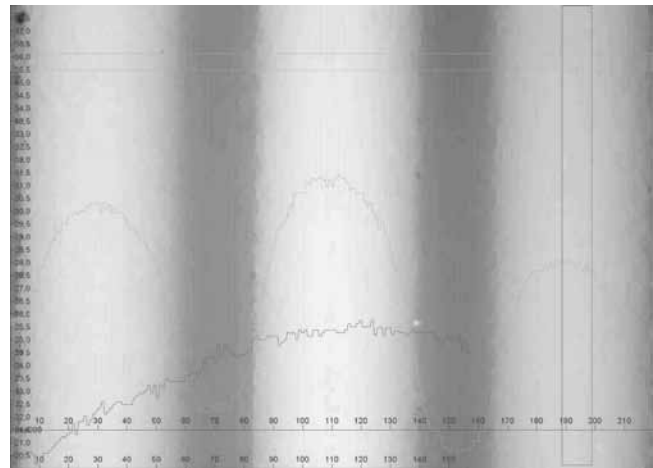
sam może sterować kątem pomiaru ubytku, dzięki czemu możliwe jest pozyskanie informacji o zużyciu rury w każdym punkcie jej profilu. Robot może zmierzyć zużycie rur w kotłach fluidalnych i pyłowych. W kotłach pyłowych, w przeciwieństwie do fluidalnych, rury są niejako omiatane przez cyrkulujące w kotle spaliny, co sprawia, że ich zużycie nie jest równomierne względem osi, więc znajomość kąta pomiaru zużycia jest bardzo istotna (rys. 8).

Na obecnym etapie testów urządzeń pomiarowych nie ustalono jeszcze, z jaką rozdzielczością robot w wersji komercyjnej będzie mógł mierzyć zużycie ścian paleniska.

Zaletą proponowanego przez PIAP podejścia do diagnostyki jest, oprócz quasi-ciągłego, bezdotykowego pomiaru, także możliwość tworzenia dokładniejszych baz danych zawierających opis stanu kotła i wykorzystanie tej możliwości do tworzenia wirtualnych modeli komputerowych odwzorowujących stan faktyczny kotła. Przykładowe dane ze skanera poddane dalszej obróbce zaprezentowano poniżej. Na rysunku 9 pokazano wyniki testów komputerowych wirtualnego obiektu przedstawiającego wycinek powierzchni ściany kotła, pozyskanego za pomocą dwóch kadrów kamery stereoskopowej. Na rysunku 10 pokazano inny sposób wizualizacji danych ze skanera laserowego.



**Rys. 9.** Komputerowa obróbka danych z dwóch kamer – obraz stereoskopowy wycinka ściany kotła  
**Fig. 9.** Computer processing of data from the two cameras – a stereoscopic image slice boiler wall



**Rys. 10.** Wizualizacja pomiarów wykonywanych na wirtualnym obiekcie, powstałym przez obróbkę skanów laserowych  
**Fig. 10.** Visualization of measurements on a virtual object created by processing the laser scanner scans

Wirtualny obiekt można poddawać badaniom niezależnie od innych badań (bieżących badań kotła), co jest cennym uzupełnieniem możliwym do wykorzystania już po zakończeniu remontu kotła.

## Testy systemu

Prace nad konstrukcją robota są wspomagane symulacjami komputerowymi wykonywanymi m.in. w środowiskach MATLAB (testy układu sterującego), ANSYS (testy dynamiki) i ADAMS (testy wytrzymałościowe). W symulacjach układu ruchowego wykorzystywane jest również firmowe oprogramowanie producenta stosowanych w robocie napędów pneumatycznych – firmy FESTO. Oprogramowanie ProPneu pozwala badać dynamikę zastosowanych w robocie siłowników, natomiast program FluidSim rozszerza symulację na układy pneumatyczne sterowane bezpośrednio lub za pomocą sterowników PLC [4]. Równoległe z podstawowymi pracami nad zrobotyzowanym systemem są prowadzone prace studialne nad funkcjonalnością

i ergonomią robota. Dotychczas prototypy robota testowano podczas prób obiektowych w EC Siersza, EC Opole, EC Katowice oraz EC Turów w Bogatyni. Celem prób obiektowych są przede wszystkim badania dynamiki konstrukcji robota w docelowym środowisku jego pracy. Analizowane są wielkości i przyczyny ew. poślizgów, wpływ szybkości przemieszczania się robota na jakość sterowania i wykonywanie pomiarów oraz tarcie pomiędzy stopami robota i powierzchnią ścian rur. W 2010 roku w Bogatyni w EC Turów dokonano

pierwszego pomiaru zużycia niewielkiego kawałka ściany paleniska. Wyniki pomiarów były obiecujące, wyciągnięto także wiele wniosków dotyczących wprowadzenia modyfikacji konstrukcji robota pod kątem zwiększenia dokładności pomiarów i zmniejszenia jego dynamiki. Obecnie trwają prace nad wytypowaniem i/lub opracowaniem docelowego modułu pomiarowego oraz opracowaniem konstrukcji robota, w której chwytaki magnetyczne zostaną zastąpione przez inne moduły układu ruchu.

## Literatura

- [1] Borkowicz Z., Będkowski J., Cader M., Kowalski G.: Spider – a mobile robot for industry, in Proceedings of the 5th Workshop on European Scientific and Industrial Collaboration on promoting Advanced Technologies in Manufacturing (WESIC'2007), Warsaw, Poland, 2007.
- [2] Borkowicz Z., Cader M.: Zrobotyzowany system do badania zużycia energetycznych kotłów dużej mocy, Energetyka, 2008, nr 10.
- [3] Kowalski G., Borkowicz Z., Cader M.: Evolution of the Industrial Mobile Inspection.
- [4] Robot Spider: Tehnomus XV, Suceava, Romania, 2009.
- [5] Kowalski G., Cader M., Borkowicz Z.: Wykorzystanie symulacji komputerowych w procesie projektowania mobilnych robotów inspekcyjnych, Pomiar, Automatyka, Robotyka, 2010, nr 2.

## Nowości techniczne

### Urządzenie chroniące drogi oddechowe Kemppli FreshAir

Fiński producent urządzeń spawalniczych Kemppli Oy wprowadził na rynek rodzinę nowych urządzeń chroniących drogi oddechowe spawacza. Zostały one zaprojektowane w taki sposób, aby chronić zdrowie i zapewnić komfort użytkowania.

Wybór obejmuje dwa modele kasków: Beta 90 FreshAir i Delta 90 FreshAir oraz dwa systemy dostarczania powietrza – pierwszy zestaw FreshAir zasilany bateryjnie zapewnia spawaczowi pełną mobilność, a drugi, zawierający zawór regulacyjny, uzdatnia powietrze z lokalnego źródła.

Chłodne i czyste powietrze jest filtrowane i kierowane na twarz spawacza, a regulowane, materiałowe uszczelnienie twarzy sprawia, że spawacz może przez cały dzień bezpiecznie i łatwo oddychać. Ponieważ wewnątrz przyłbicy panuje nadciśnienie, wszelkie szkodliwe opary spawalnicze lub pyły unoszące się w powietrzu pozostają na zewnątrz. Obieg powietrza zapobiega osadzaniu się pary na filtrze.

Beta 90 FreshAir to lekki kask chroniący spawacza przed oparami i kurzem, które powstają podczas spawania i szlifowania. Zaprojektowana dla spawaczy pracujących w różnych pozycjach Beta FreshAir zapewnia jeszcze lepszą ochronę oczu, twarzy i płuc.

Wielopunktowe nagłowie gwarantuje idealne dopasowanie i wygodę, a podnoszony filtry ochronnego o trzystopniowym zaciemnieniu sprawia, że spawanie, szlifowanie i szlifowanie są łatwe i bezpieczne. Dodatkowo przyłbica jest wyposażona w deflektor,



chroniący użytkownika podczas spawania pułapowego. Na komfort i bezpieczeństwo wpływa również dwuwarstwowa konstrukcja wizjera, która ogranicza przenikanie ciepła do twarzy spawacza.

Delta 90 FreshAir to wytrzymała przyłbica zapewniająca wszechstronną ochronę podczas spawania w skrajnych warunkach, np. w stoczniach, kopalniach czy na budowach. Oprócz ochrony twarzy, głowy i dróg oddechowych, przyłbicę Delta 90 Fresh Air można dodatkowo wyposażać w wysokiej jakości nauszniki.

Aby uzyskać więcej informacji dotyczących produktów Kemppli FreshAir, prosimy skontaktować się z przedstawicielem lub dealerem Kemppli.

Pełna lista dealerów Kemppli znajduje się na stronie [www.kemppli.pl](http://www.kemppli.pl).