

Mgr inż. Anna GRZYMKOWSKA  
Politechnika Gdańska  
Wydział Oceanotechniki i Okrętownictwa

DOI: 10.17814/mechanik.2015.7.236

## DETEKCJA FAL UDERZENIOWYCH W UKŁADACH ŁOPATKOWYCH CZĘŚCI NISKOPRĘŻNYCH TURBIN PAROWYCH

*Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki numerycznych symulacji okołodźwiękowego przepływu pary przez ostatnie stopnie części niskoprężnej turbiny o mocy 50 MW. Celem przeprowadzonych symulacji była detekcja oraz lokalizacja fali uderzeniowej, występującej dla przyjętej geometrii układu łopatkowego. Przeanalizowano również wpływ zmiany wartości ciśnienia na wlocie do rozpatrywanych stopni turbiny na maksymalną wartość prędkości przepływu pary oraz wielkość obszaru kanału przepływowego zajmowanego przez przepływ okołodźwiękowy.*

## SHOCK WAVES DETECTION IN THE BLADING OF THE STEAM TURBINES' LOW-PRESSURE SECTIONS

*Abstract: In this article the results of the numerical simulations of the transonic steam flow through the last stages of the low-pressure section of the 50 MW turbine has been presented. The aim of the simulation was to detect and localise the shock wave, which occurs for the chosen blading geometry. The influence of the changes of the pressure at the inlet of the examined turbine stages on the flow velocity maximum value and the flow channel area occupied by the transient flow has also been analysed.*

*Słowa kluczowe: fala uderzeniowa, model numeryczny, turbina parowa*  
*Keywords: shock wave, numerical model, steam turbine*

### 1. WPROWADZENIE

Zjawisko powstawania fali uderzeniowej jest charakterystyczne dla ostatnich stopni części niskoprężnych turbin parowych. Jest ono ściśle związane ze znacznymi wymiarami kanału przepływowego części niskoprężnej oraz złożonością konstrukcji jej ostatnich stopni, które charakteryzują się zmiennością przekrojów profili poszczególnych łopatek wzdłuż ich wysokości [1, 2].

Jednym z narzędzi umożliwiających analizę rozkładu parametrów w kanałach przepływowych turbin parowych – takich jak ciśnienie, temperatura, prędkość – są obliczenia numeryczne CFD. Pozwalają one „zajrzeć do wnętrza kanału przepływowego” i przeanalizować zjawiska niemożliwe do zaobserwowania w warunkach rzeczywistych. Do takich zjawisk należy właśnie powstawanie fali uderzeniowej w ostatnich stopniach części niskoprężnych turbin parowych [3].

## 2. GEOMETRIA

Dla potrzeb obliczeń numerycznych, mających na celu detekcję oraz lokalizację fali uderzeniowej w kanale przepływowym turbiny parowej, wykorzystano dane geometryczne oraz termodynamiczne turbiny parowej o mocy 50 MW. Podczas budowy modelu numerycznego, wzięto pod uwagę jedynie dwa ostatnie stopnie części niskoprężnej, gdyż – jak wspomniano wcześniej – właśnie tam należało się spodziewać fali uderzeniowej.

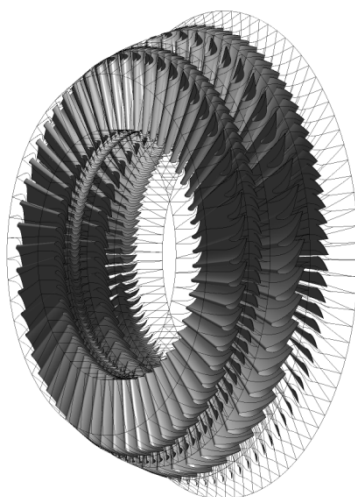
Trójwymiarowy model analizowanego układu łopatkowego, zilustrowany na rys. 1, utworzono z wykorzystaniem programu TurboGrid 16.0. Dla każdego z wieńców łopatkowych wprowadzono następujące dane:

- liczbę łopatek tworzących wieńiec,
- współrzędne geometryczne punktów górnej i dolnej linii kanału przepływowego,
- współrzędne geometryczne punktów poszczególnych przekrojów profili łopatkowych,
- wartości promieni determinujące położenie poszczególnych przekrojów profili łopatkowych.

Liczbę łopatek każdego z wieńców oraz liczbę przekrojów wykorzystanych w celu odtworzenia geometrii profili poszczególnych łopatek zestawiono w tablicy 1.

Tablica 1. Liczba łopatek oraz liczba przekrojów profili łopatkowych dla poszczególnych wieńców

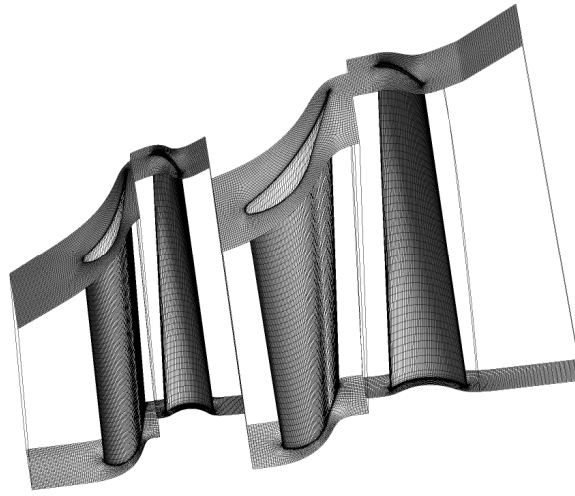
Numer wieńca	1	2	3	4
Liczba łopatek	54	105	50	90
Liczba profili	8	11	11	13



Rys. 1. Widok trójwymiarowego modelu analizowanego układu łopatkowego

Numeryczną siatkę kanału przepływowego utworzono tak, aby liczba elementów siatki przypadająca na każdy wieńiec wynosiła ok. 250 000. Dla tak przyjętych założeń, sumaryczna

liczba elementów siatki kanału przepływowego wyniosła ok. 1 000 000. Widok siatki górnej i dolnej linii kanału przepływowego oraz siatki na krawędziach łopatek poszczególnych wieńców przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Widok siatki górnej i dolnej linii kanału przepływowego oraz siatki na krawędziach łopatek poszczególnych wieńców

### 3. SYMULACJA NUMERYCZNA

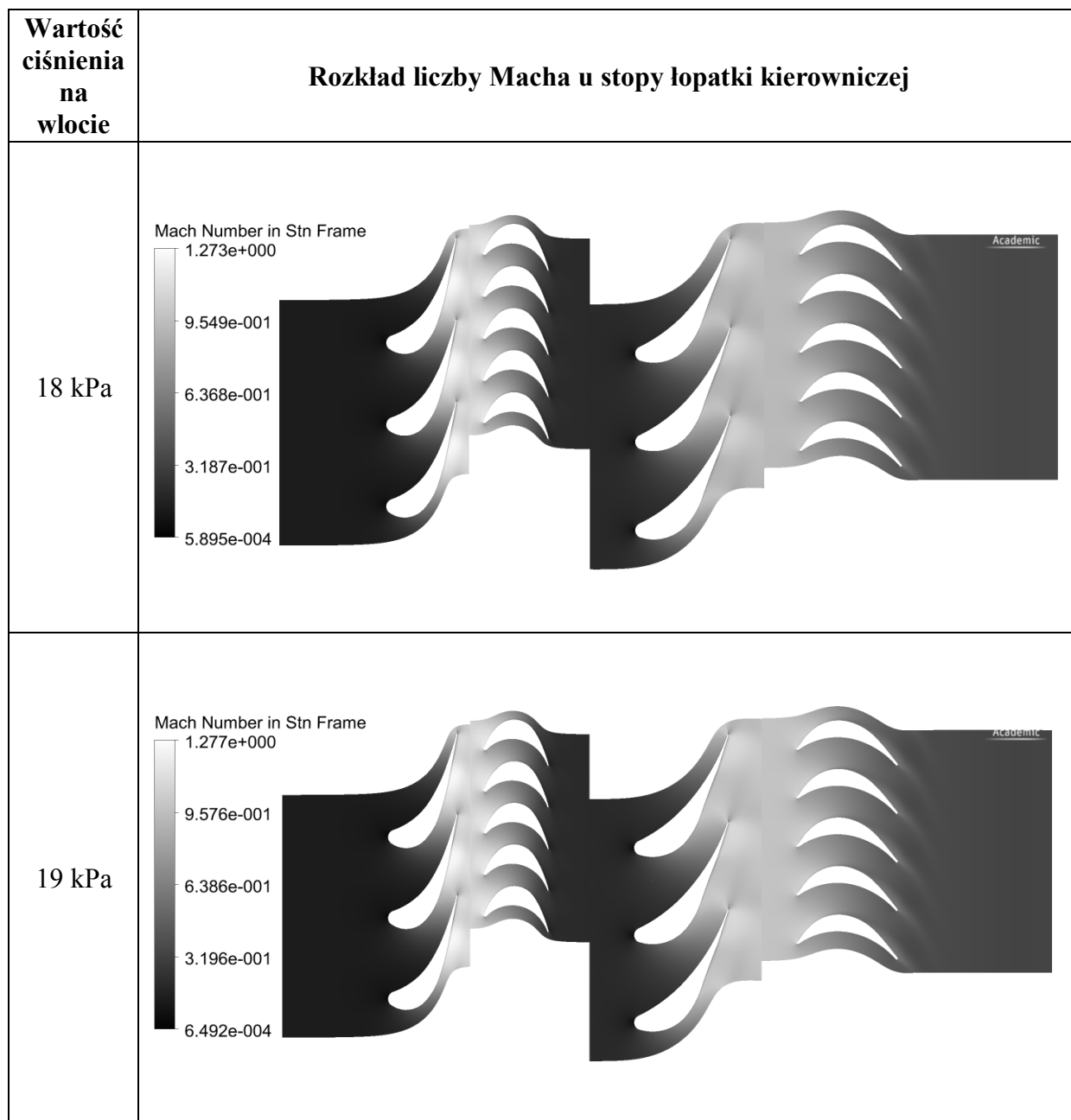
Numeryczne symulacje przepływu pary przez analizowane stopnie turbiny parowej przeprowadzono w programie CFX 16.0. W celu określenia wpływu zmiany parametrów czynnika roboczego na zjawisko powstawania fali uderzeniowej, dokonano wielu symulacji, zmieniając wartość ciśnienia pary na wlocie do przedostatniego stopnia turbiny. Podczas symulacji zadano następujące warunki brzegowe:

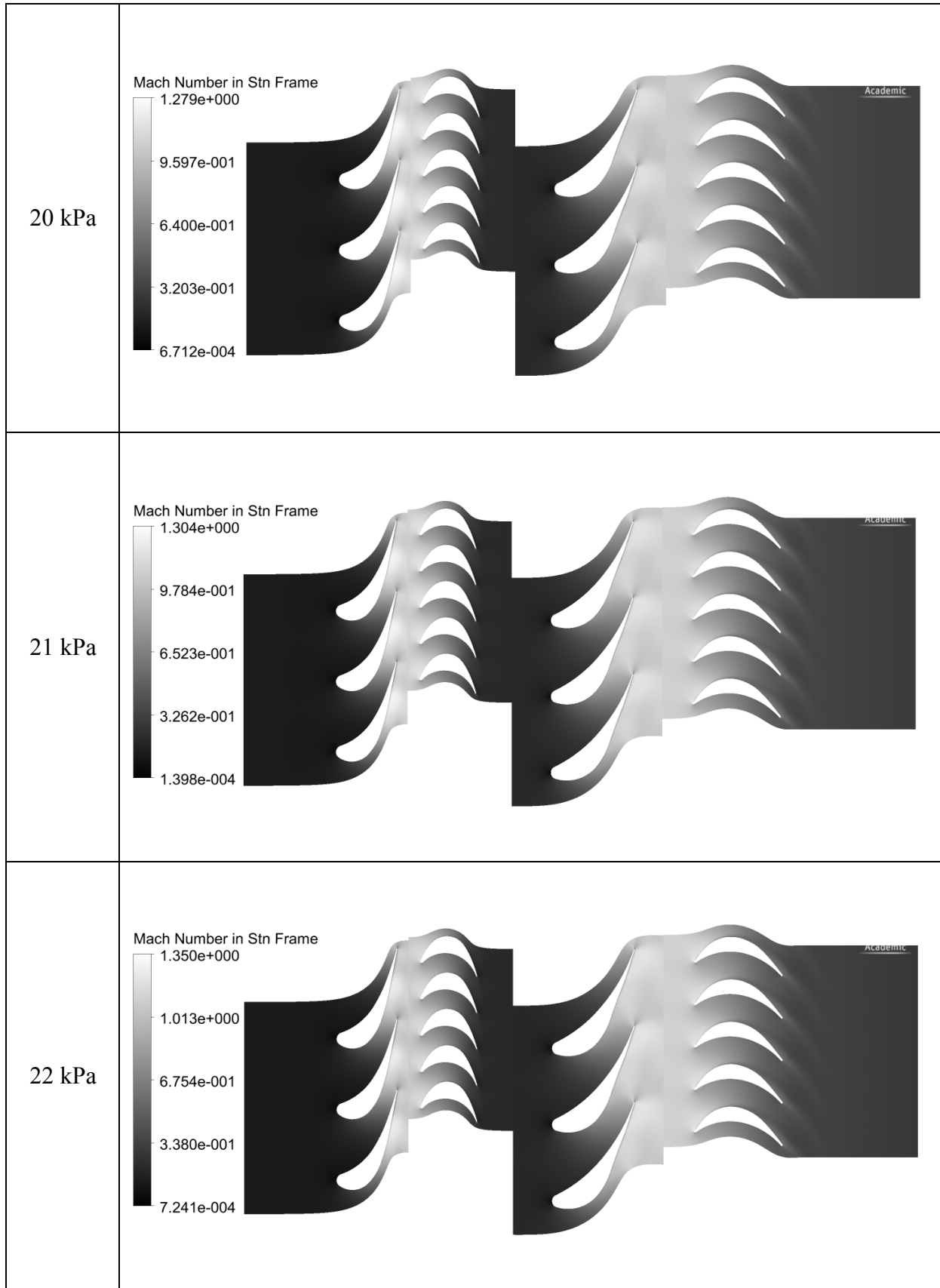
- wlot: ciśnienie całkowite: 18–22 kPa  
temperatura całkowita: 332,85 K
- wylot: ciśnienie statyczne: 5 kPa.

Uwzględniono również ruch obrotowy palisad wirnikowych z prędkością 3000 obr/min.

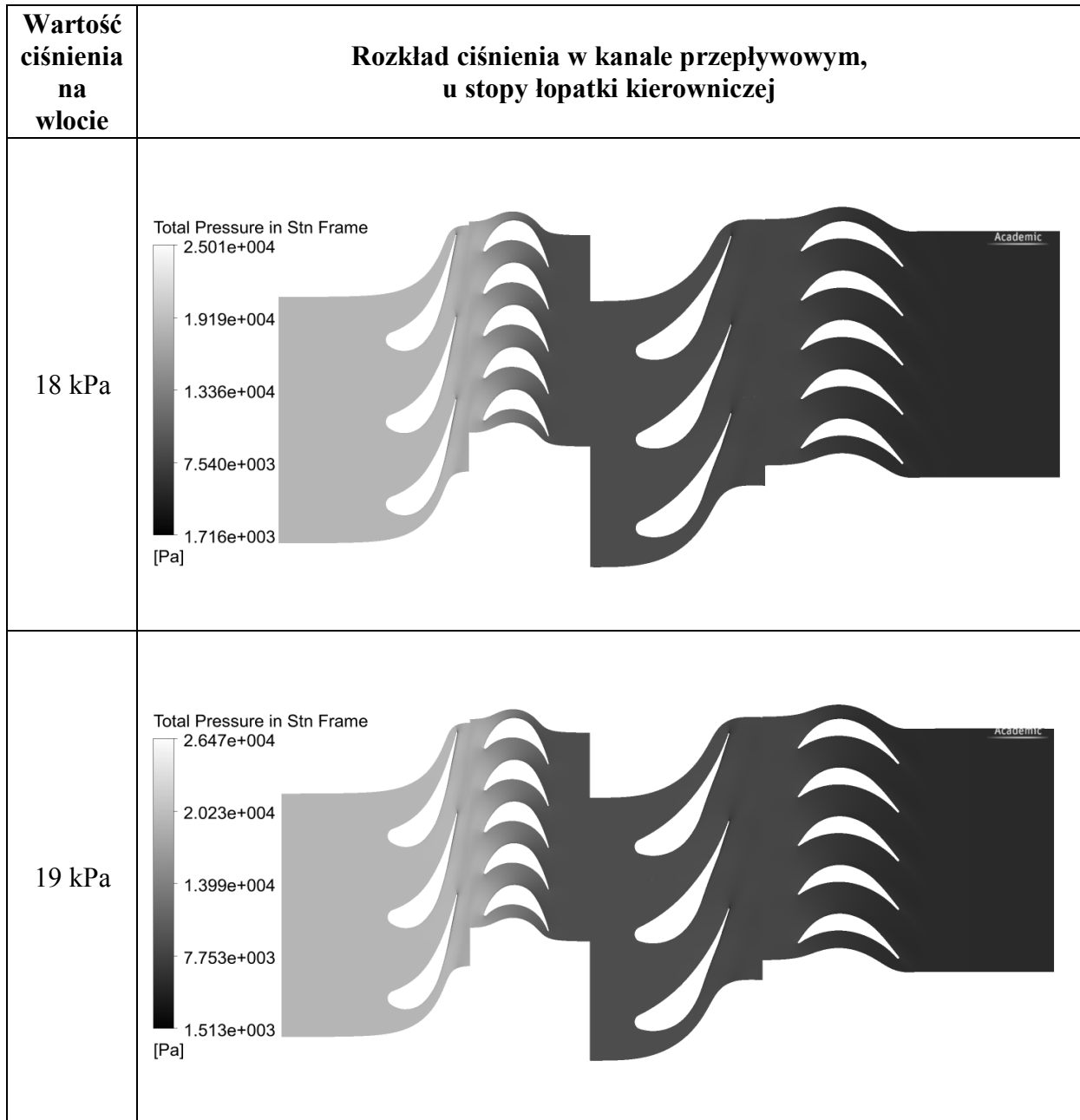
Uzyskane rozkłady liczby Macha oraz ciśnienia w kanale przepływowym, u stopy łopatki kierowniczej, zestawiono w tablicach 2 i 3.

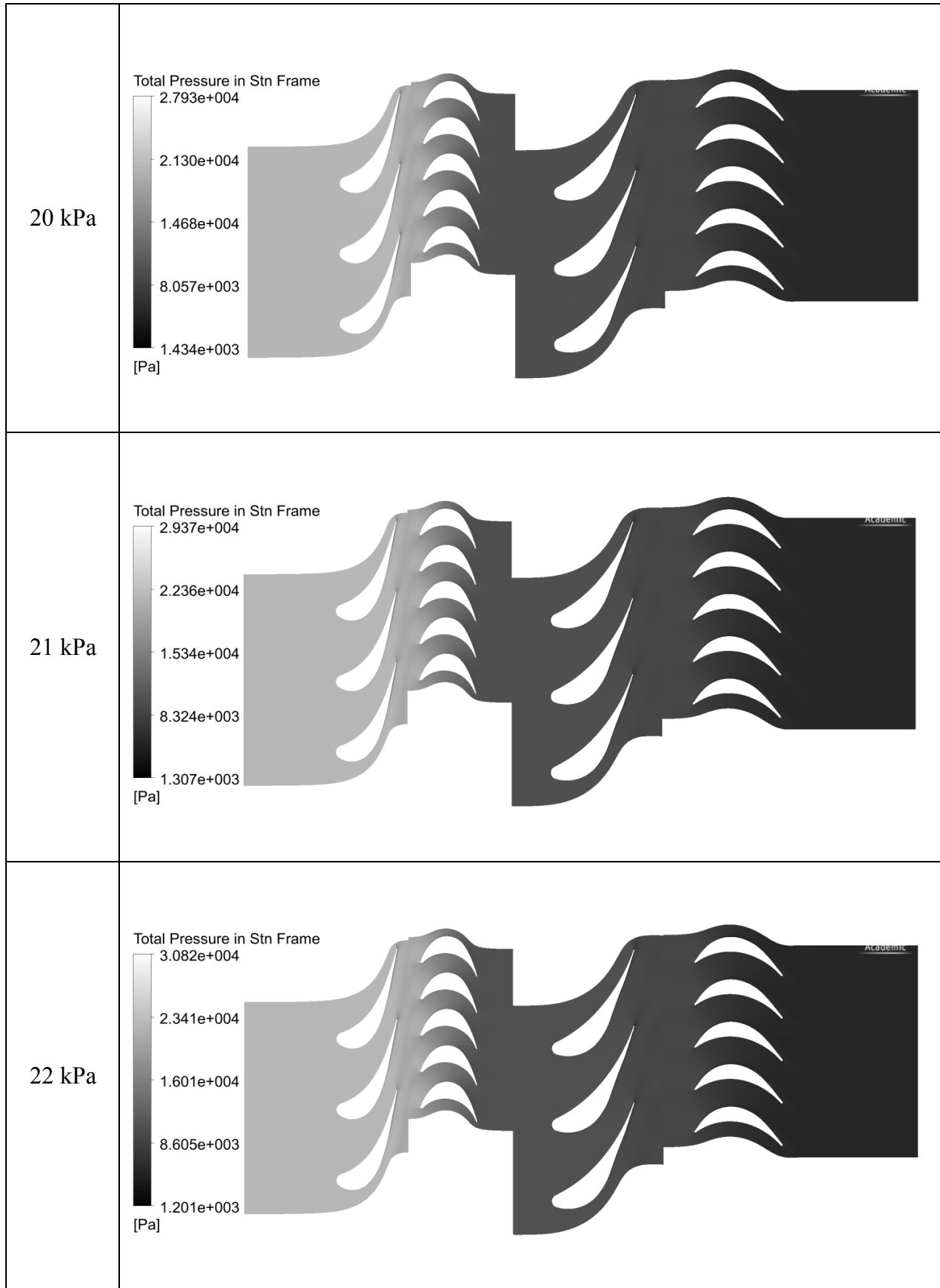
Tablica 2. Rozkłady liczby Macha u stopy łopatki kierowniczej, dla rozważanych wartości ciśnienia pary na wlocie do przedostatniego stopnia analizowanej turbiny





Tablica 3. Rozkłady ciśnienia u stopy łopatki kierowniczej, dla rozważanych wartości ciśnienia pary na wlocie do przedostatniego stopnia analizowanej turbiny





#### 4. WNIOSKI

Przeprowadzone symulacje przepływu pary przez analizowany układ łopatkowy umożliwiły detekcję oraz lokalizację skośnej fali uderzeniowej, występującej u stopy łopatek kierowniczych zarówno przedostatniego, jak i ostatniego stopnia badanej turbiny parowej.

Uzyskane rozkłady liczby Macha oraz ciśnienia wykazały, że wraz ze wzrostem wartości ciśnienia pary na wlocie do przedostatniego stopnia wzrasta maksymalna wartość liczby Macha w kanale przepływowym. Zwiększenie wartości ciśnienia wlotowego nie wpływa jednak w istotny sposób na charakter rozkładu rozpatrywanych parametrów. W przyjętym zakresie zmian ciśnienia na wlocie, wielkość obszaru zajmowanego przez przepływ okołodźwiękowy oraz charakter rozkładu ciśnienia w kanale przepływowym są zbliżone we wszystkich rozważanych przypadkach.

Obliczenia numeryczne CFD umożliwiły analizę zjawisk zachodzących w kanale przepływowym rozpatrywanego układu łopatkowego. Uzyskane wyniki są zgodne z założeniami teoretycznymi i świadczą o możliwościach diagnostycznych, jakie oferuje numeryczna mechanika płynów.

#### LITERATURA

- [1] *O zastosowaniu neuronowych symulatorów przepływu przez kanały łopatkowe turbin do wyznaczania stanu referencyjnego w diagnostyce cieplno-przepływowej*, praca zbiorowa pod red. J. Głucha, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2014.
- [2] Głuch J., Szymaniak M., Świryczuk J.: *Analiza profili kierowniczych wieńców turbinowych ze skośną falą uderzeniową w aspekcie zastosowania w obliczeniach sieci neuronowych*, OW WOiO 26/12/PB, Gdańsk 2012.
- [3] Grzymkowska A.: *Model neuronowy jako alternatywa dla numerycznego modelu okołodźwiękowego przepływu pary przez palisadę turbinową*, *Mechanik*, nr 7/2014, s. 217-224.
- [4] TurboGrid, CFX Help and Tutorials.