

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΠΤΕΡΥΓΙΟ ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

Δ. Μισσηλής¹, Ζ. Βλαχοστεργίος², Χ. Σαλπυγίδου³ και Κ. Υάκινθος³

¹Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ, ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας, Σέρρες

²Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Εργαστήριο Ρευστομηχανικής και Υδροδυναμικών
Μηχανών, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Ξάνθη

³Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Εργαστήριο Μηχανικής Ρευστών και Στροβιλομηχανών,
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη
email: dmissirlis@teiser.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η διερεύνηση της μετάδοσης θερμότητας και του πεδίου ροής γύρω από ένα πτερύγιο στροβίλου χαμηλής πίεσης. Ως πτερύγιο αναφοράς επιλέχθηκε το T106 πτερύγιο στροβίλου χαμηλής πίεσης. Η διερεύνηση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση εργαλείων υπολογιστικής ρευστομηχανικής ελεύθερου λογισμικού. Η δημιουργία της γεωμετρίας και του υπολογιστικού πλέγματος πραγματοποιήθηκε με το ελεύθερο λογισμικό SALOME ενώ η επίλυση του πεδίου ροής με το λογισμικό ανοιχτού κώδικα OpenFoam. Για τη μοντελοποίηση της τύρβης χρησιμοποιήθηκε το low-Reynolds μοντέλο τύρβης Shear Stress Transport (SST) με τον επιλυτή rhoSimpleFoam. Η μετεπεξεργασία των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε με το ελεύθερα διαθέσιμο λογισμικό Paraview. Στην παρούσα εργασία υπολογιστική διερεύνηση πραγματοποιήθηκε και με το εμπορικό λογισμικό Ansys CFX. Τα αποτελέσματα αξιολογήθηκαν σε σχέση με διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα του Εργαστηρίου Μηχανικής Ρευστών και Στροβιλομηχανών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

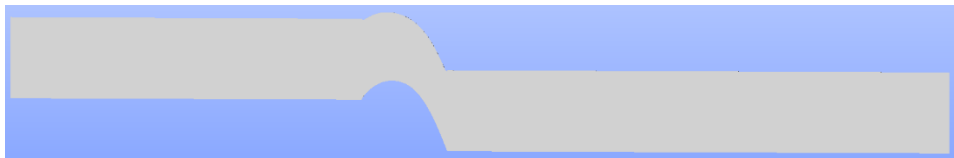
Λέξεις Κλειδιά: Υπολογιστική ρευστομηχανική, πτερύγιο στροβίλου, μετάδοση θερμότητας

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

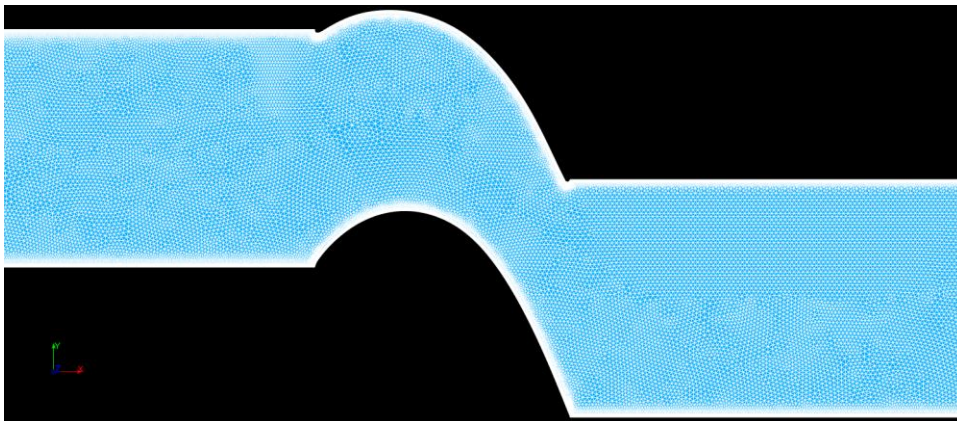
Στα πλαίσια της προσπάθειας βελτιστοποίησης της απόδοσης των βασικών διατάξεων των αεριοστροβίλων η χρησιμοποίηση μεθόδων υπολογιστικής ρευστομηχανικής αποτελεί αναπόσπαστο μέρος. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια τέτοια προσπάθεια η οποία επικεντρώνεται στην υπολογιστική μοντελοποίηση της ροής γύρω από ένα πτερύγιο στροβίλου χαμηλής πίεσης. Ως πτερύγιο αναφοράς χρησιμοποιήθηκε το T106 πτερύγιο στροβίλου χαμηλής πίεσης για το οποίο υπήρχαν διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα από προγενέστερες μετρήσεις στις εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Μηχανικής Ρευστών και Στροβιλομηχανών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, (Sideridis et al. (2011)). Η υπολογιστική προσπάθεια βασίστηκε κυρίως στη χρήση ελεύθερου λογισμικού ενώ υπολογιστικές προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν και με το λογισμικό Ansys CFX.

2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η υπό εξέταση γεωμετρία καθώς και το υπολογιστικό πλέγμα δημιουργήθηκαν με το ελεύθερο λογισμικό SALOME (SALOME, 2016) σύμφωνα με τη γεωμετρία που χρησιμοποιήθηκε στις πειραματικές μετρήσεις των Sideridis et al. (2011). Η υπολογιστική ανάλυση έλαβε χώρα σε δύο διαστάσεις σε ένα υπολογιστικό πλέγμα το οποίο αποτελείται από ~280K υπολογιστικά σημεία και επιλέχθηκε μετά από grid independency studies, Misirlis et al. (2018). Τυπικές εικόνες της γεωμετρίας και του υπολογιστικού πλέγματος παρουσιάζονται στα σχήματα 1 και 2.

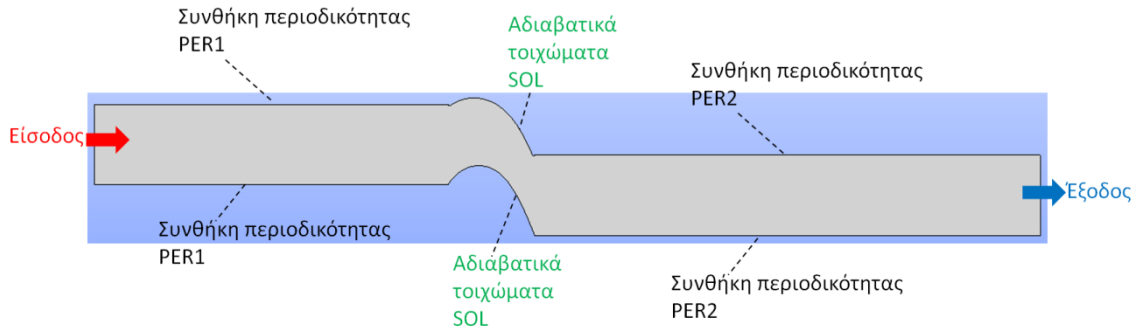


Σχήμα 1. 2-D Υπολογιστική γεωμετρία



Σχήμα 2. 2-D Υπολογιστικό πλέγμα

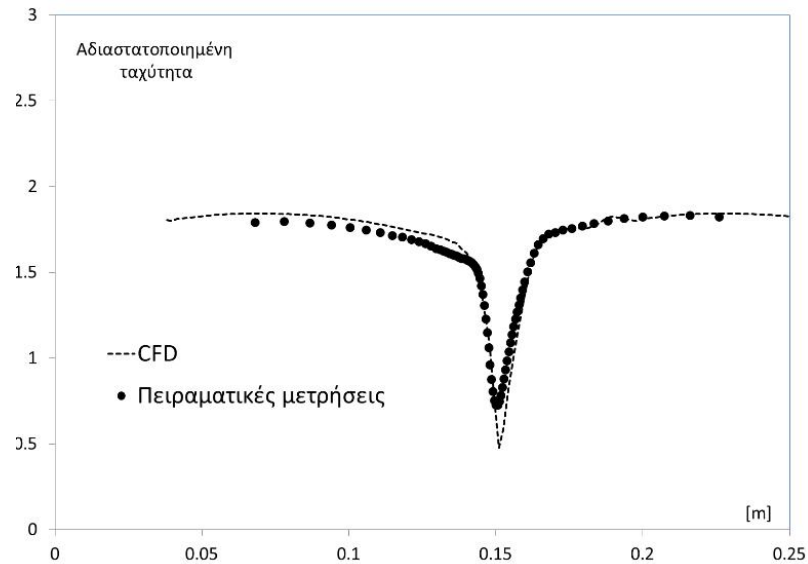
Η υπολογιστική μοντελοποίηση του πεδίου ροής πραγματοποιήθηκε με το ελεύθερο λογισμικό OpenFoam (OpenFoam, 2016). Για τη μοντελοποίηση της τύρβης χρησιμοποιήθηκε το low-Reynolds μοντέλο τύρβης Shear Stress Transport (SST) όπως ενσωματώνεται στον επιλυτή rhoSimpleFoam. Οι οριακές συνθήκες που χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς παρουσιάζονται στο σχήμα 3 και στον Πίνακα 1. Η μετεπεξεργασία των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε με το ελεύθερα διαθέσιμο λογισμικό Paraview (Paraview, 2018). Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με τις ισόθερμες πειραματικές μετρήσεις της εργασίας των Sideridis et al. (2011) όπως φαίνεται στο σχήμα 4. Τυπικές εικόνες του πεδίου ροής παρουσιάζονται στα σχήματα 5 και 6. Επιπρόσθετες λεπτομέρειες για την υπολογιστική διαδικασία παρουσιάζονται στην εργασία των Misirlis et al. (2018).



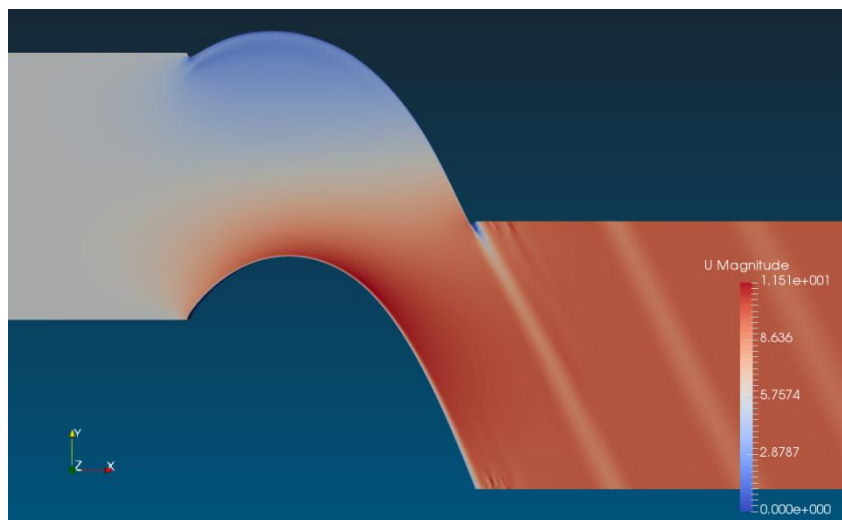
Σχήμα 3. Τύποι οριακών συνθηκών επίλυσης

Τύπος	Τιμή
Είσοδος	$U_x=4.31\text{m/s}$, $U_y=3.33\text{m/s}$, $T_u=1.8\%$, length scale=0.025m, $T=293\text{K}$
Έξοδος	Στατική πίεση ίση με 100000Pa
SOL	Αδιαβατικά τοιχώματα
PER1, PER2	Συνθήκη περιοδικότητας

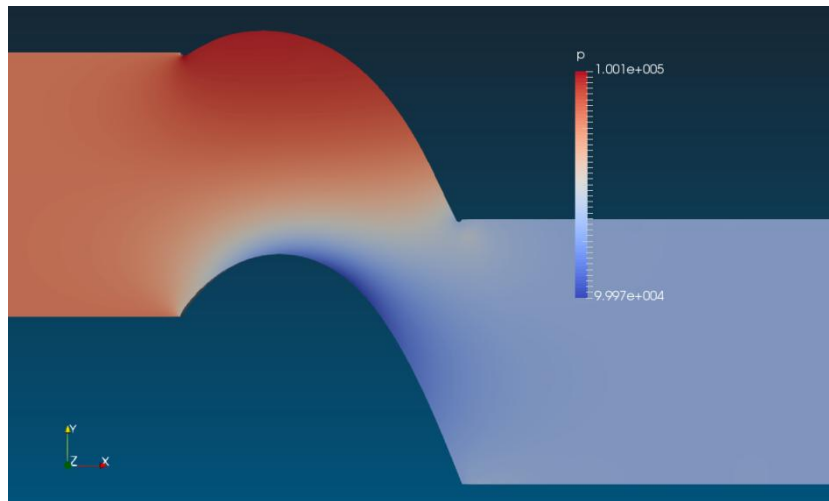
Πίνακας 1. Οριακές συνθήκες επίλυσης



Σχήμα 4. Σύγκριση υπολογιστικών αποτελεσμάτων και ισόθερμων πειραματικών μετρήσεων



Σχήμα 5. Κατανομή ταχύτητας

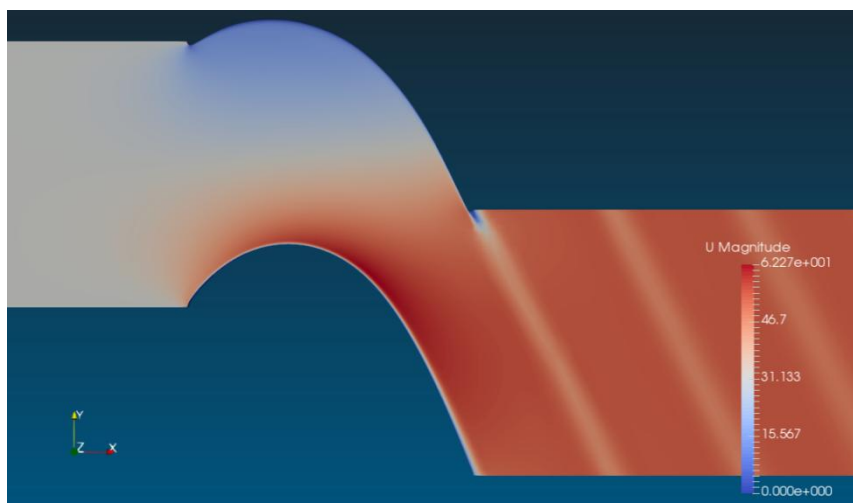


Σχήμα 6. Κατανομή πίεσης

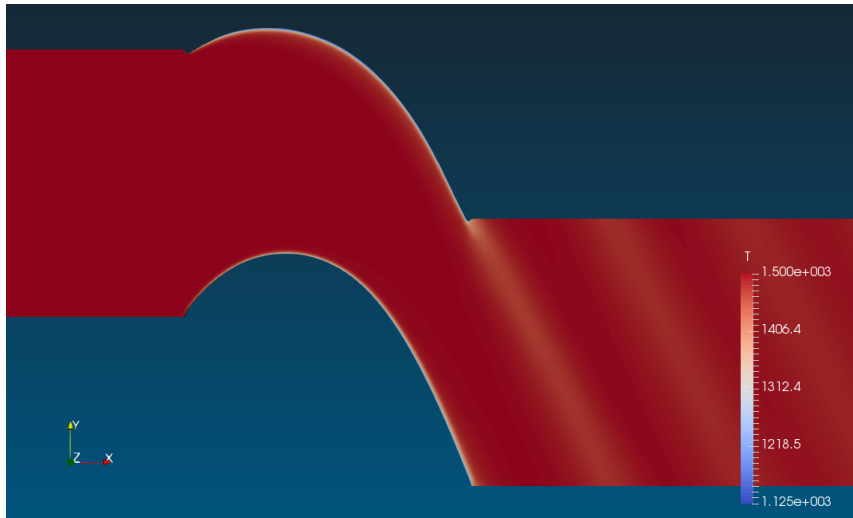
Στο τελευταίο τμήμα της εργασίας, μετά την πιστοποίηση του υπολογιστικού μοντέλου, πραγματοποιήθηκαν υπολογιστικές προσομοιώσεις με μετάδοση θερμότητας μεταξύ τοιχώματος και ρευστού. Οι οριακές συνθήκες που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 2 και τροποποιήθηκαν κατάλληλα σε σχέση με τις ισόθερμες πειραματικές μετρήσεις έτσι ώστε να είναι πιο αντιπροσωπευτικές σε σχέση με τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του στροβίλου χαμηλής πίεσης T106. Υπολογιστικά αποτελέσματα εξήχθησαν και με τη χρήση του λογισμικού Ansys CFX (Ansys, 2009). Για τη μοντελοποίηση της τύρβης χρησιμοποιήθηκε το low-Reynolds μοντέλο τύρβης Shear Stress Transport (SST). Τυπικές εικόνες των πεδίων ροής και θερμοκρασίας παρουσιάζονται στα σχήματα 7 έως 10 όπου φαίνεται ότι τόσο το OpenFoam όσο και το Ansys CFX δίνουν αντίστοιχα αποτελέσματα τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά.

Τύπος	Τιμή
Είσοδος	$U_x=23.74\text{m/s}$, $U_y=18.35\text{m/s}$, $T_u=10\%$, $\text{length scale}=0.025\text{m}$, $T=1500\text{K}$
Έξοδος	Στατική πίεση ίση με 100000Pa
SOL	Συνθήκες σταθερής ροής θερμότητας
PER1, PER2	Συνθήκη περιοδικότητας

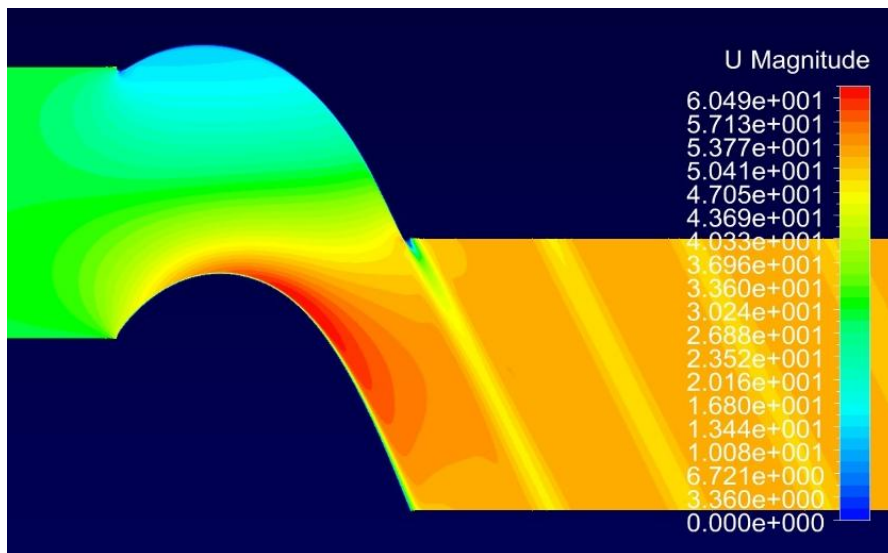
Πίνακας 2. Οριακές συνθήκες επίλυσης με μετάδοση θερμότητας



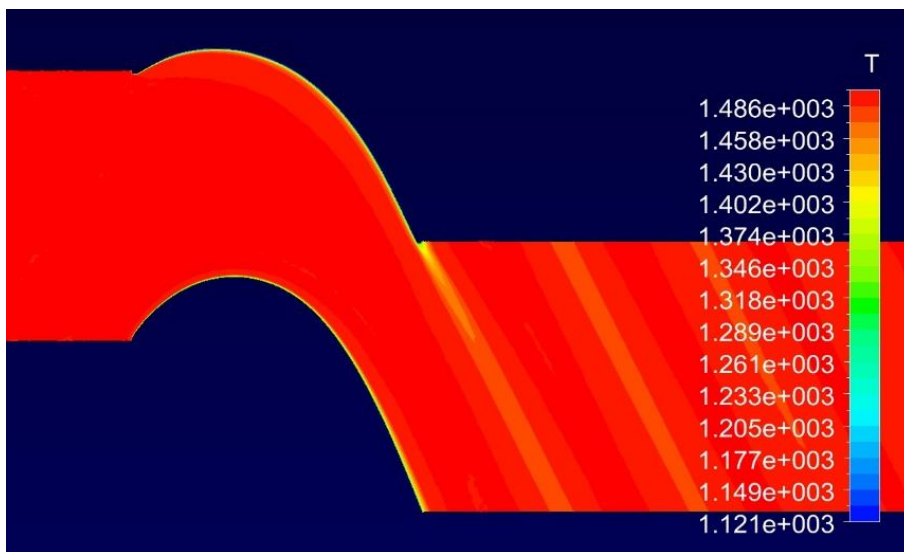
Σχήμα 7. Κατανομή ταχύτητας με χρήση του OpenFoam



Σχήμα 8. Κατανομή θερμοκρασίας με χρήση του OpenFoam



Σχήμα 9. Κατανομή ταχύτητας με χρήση του Ansys CFX



Σχήμα 10. Κατανομή θερμοκρασίας με χρήση του Ansys CFX

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκε η υπολογιστική διερεύνηση της μετάδοσης θερμότητας και του πεδίου ροής γύρω από το T106 πτερύγιο στροβίλου χαμηλής πίεσης με τη χρήση κυρίως, εργαλείων υπολογιστικής ρευστομηχανικής ελεύθερου λογισμικού ενώ υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν και με το λογισμικό Ansys CFX. Τα αποτελέσματα αξιολογήθηκαν σε σχέση με διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα από προγενέστερες πειραματικές μετρήσεις που έλαβαν χώρα στις εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Μηχανικής Ρευστών και Στροβιλομηχανών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Από τα αποτελέσματα έγινε φανερό ότι η χρήση υπολογιστικών εργαλείων ελεύθερου λογισμικού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίτευξη αντίστοιχης ακρίβειας αποτελεσμάτων, γεγονός το οποίο σε συνδυασμό με τον ικανοποιητικό χρόνο που απαιτείται για τη σύγκλιση και το πρακτικά μηδενικό κόστος των εργαλείων αυτών παρέχει σημαντικό πλεονέκτημα για τη χρήση ελεύθερου λογισμικού σε αντίστοιχες επιστημονικές προσπάθειες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ANSYS CFX-Solver Theory Guide; Release 12.1; ANSYS Inc.: Canonsburg, PA, USA, 2009.

Misirlis D., Vlachostergios Z., Salpingidou C., Yakinthos K., "Investigation of heat transfer and flow field development around a low-pressure turbine blade with the use of open source cfd tools" , Chemical Engineering Transactions, 70, p.757-762, 2018, DOI:10.3303/CET1870127

Open source field operation and manipulation-openfoam version 4.0, User Guide, 24th June 2016, <openfoam.org>, accessed 02.04.2018.

PARAVIEW open-source, multi-platform data analysis and visualization application, version 5.3, The ParaView Guide, <www.paraview.org/> accessed 02.04.2018

SALOME, open source integration platform for numerical simulation, version 7.8.0, 2016, <www.salomeplatform.org> accessed 02.04.2018.

Sideridis A., Yakinthos K., Goulas A., "Turbulent kinetic energy balance measurements in the wake of a low-pressure turbine blade", International Journal of Heat and Fluid Flow 32, p. 212–225, 2011.