

ZESZYTY NAUKOWE NR 9(81)
AKADEMII MORSKIEJ
W SZCZECINIE

INLAND SHIPPING 2005

Jakub Montewka

**Weryfikacja metod analitycznych oraz symulacyjnych
określania akwenu manewrowego statku,
na przykładzie prostoliniowego odcinka toru wodnego**

Słowa kluczowe: bezpieczny akwen manewrowy, metoda kształtowania dróg wodnych, pomiary laserowe, inżynieria ruchu morskiego

Przedstawiono porównanie rozmiaru akwenu manewrowego statku wyznaczonego za pomocą metod analitycznych oraz symulacyjnej z wynikami uzyskanymi metodą rzeczywistą. Metoda rzeczywista polega na wykonaniu pomiaru odległości od stanowiska pomiarowego ustawionego na nabrzeżu do burty przepływającego statku za pomocą dalmierza laserowego. Przeprowadzona analiza dotyczy jednostek pasażerskich żeglugi śródlądowej, manewrujących na torze wodnym, przebiegającym pomiędzy przęsłami Mostu Długiego w Szczecinie.

**Verification of the Analytical and Simulation Methods of
Determining the Safety Waterway's Parameters
by the Real Method, on Example of a Straight Waterway**

Keywords: safety maneuvering area, method of determination the waterways parameters, laser rangefinder measurement, marine traffic engineering

The article presents the verification of the commonly used analytical method of determining the safety waterways' parameters. The verification is conducted by means of the method based on the real time experiment using the landborne laser range finder. The analysis concerns the inland passenger crafts navigating on the straight waterway lying under the Długi Bridge in Szczecin.

Wstęp

Do określenia bezpiecznej szerokości dróg wodnych można wykorzystać metody symulacyjne lub analityczne. Pierwsze z nich to metody droższe lecz bardziej dokładne. Metody analityczne projektowania dróg wodnych wykorzystywane są w przypadkach, gdy względy ekonomiczne wykluczają użycie metod symulacyjnych. Metody te są mniej dokładne i mają pewne ograniczenia, co do ich zastosowania [1,2,6]. Błędy metod zarówno symulacyjnych, jak i analitycznych wynikają przede wszystkim ze złożoności procesu, jakim jest ruch statku na akwencie ograniczonym, a także z braku wiedzy o systemie symulowanym.

W referacie przedstawiono wyniki uzyskane dzięki zastosowaniu autorskiej metody wyznaczania bezpiecznego akwenu manewrowego statku, opartej na badaniach rzeczywistych. Metodą tą posłużono się jako narzędziem do weryfikacji istniejących metod analitycznych, analityczno-deterministycznych oraz symulacyjnych, wyznaczania parametrów dróg wodnych na akwenach ograniczonych. W artykule oszacowano błędy poszczególnych metod, przyjmując za wzorcowe wyniki otrzymane metodą rzeczywistą.

Rozpatrywany akwen jest specyficzny, gdyż jest to osłonięty śródlądowy tor wodny, ograniczony filarami mostu. Analizowanymi jednostkami są statki pasażerskie żeglugi śródlądowej.

Eksperyment badawczy

Przeprowadzony eksperyment obejmował opracowanie następujących badań:

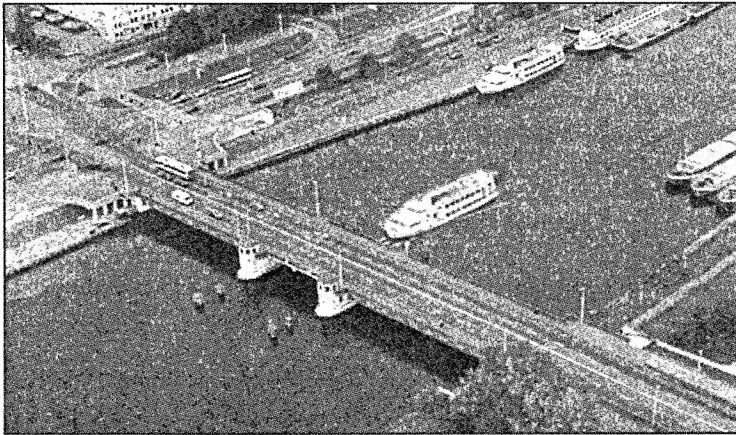
- wykonanie serii pomiarów rzeczywistych, przeprowadzonych na przełomie kwietnia oraz maja 2002 roku;
- wykonanie serii przejazdów symulacyjnych na matematycznym modelu ruchu statku;
- obliczenie bezpiecznych parametrów dróg wodnych za pomocą dostępnych metod analitycznych i analityczno-deterministycznych.

Analizowanymi jednostkami były statki pasażerskie żeglugi śródlądowej typu Adler. Pomiaru rzeczywiste wykonywano dla trzech statków: m/s „Adler Steamer”, m/s „Adler River”, m/s „Mecklenburg”. Parametry jednostek zestawiono w tabeli 1.

Parametry badanych jednostek
The dimensions of the inland passenger ships

Typ	„Adler Steamer”	„Adler River”	„Mecklenburg”
długość [m]	52,78	53,00	53,00
szerokość [m]	8,09	8,08	8,08
zanurzenie [m]	1,26	1,26	1,26

Analizowany odcinek drogi wodnej to osłonięty tor wodny, przebiegający pomiędzy przęsłami Mostu Długiego w Szczecinie. Szerokość pomiędzy filarami mostu, na poziomie wody, wynosi 18m. Układ opisywanej drogi wodnej przedstawiono na rysunku 1.



Rys.1. Układ osłoniętego toru wodnego ograniczonego filarami Mostu Długiego w Szczecinie [9]
Fig.1. The layout of the sheltered inland waterway between Długi Bridge spans in Szczecin [9]

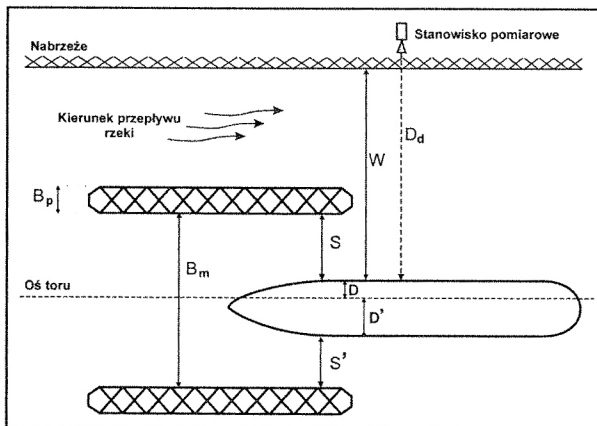
Szczegółowy opis metody badawczej oraz procedury analizy wyników przedstawiono w pracy [8]. Metodyka wyznaczania bezpiecznego akwenu manewrowego na podstawie danych uzyskanych dzięki eksperymentowi rzeczywistemu oraz symulacyjnemu wymaga podziału odcinka toru wodnego na sektory, prostopadłe do osi toru wodnego, według przyjętego poziomu dyskretyzacji. Analizy statystycznej zmiennych losowych opisujących odległość burt jednostki od osi toru (zmiennie D , D') oraz od filaru mostu (zmiennie S , S'), dokonywano dla poszczególnych sektorów toru wodnego. Szerokość bezpiecznego akwenu manewrowego przyjęto jako średnią szerokość ze wszystkich sektorów. W przypadku metod analitycznych nie występuje podział na sektory, otrzymana w drodze obliczeń wartość szerokości drogi wodnej odnosi się do każdego akwenu oraz statku spełniającego przyjęte do obliczeń kryteria początkowe.

Eksperyment rzeczywisty

Eksperyment rzeczywisty polegał na wykonaniu serii pomiarów odległości burt przepływających statków do stanowiska pomiarowego. Pomiarów dokonano z użyciem bezpryzmatowego impulsowego dalmierza laserowego. Pozycję dalmierza wyznaczono przez nawiązanie do znanej pozycji repera umieszczonego w przęśle mostu. Kierunek celowania dalmierza wyznaczono względem filarów oraz linii mostu. Na rysunku 2 przedstawiono zasadę wykonywania pomiarów. Metodyka analizy matematycznej wyników badań, celem której jest wyznaczenie wymiarów bezpiecznego akwenu manewrowego statku, została zaprezentowana przez autora w pracy [8]. Miejsce ustawienia urządzenia pomiarowego oraz kierunek wykonywanych pomiarów oznaczono jako „stanowisko pomiarowe”.

Odległość mierzona bezpośrednio, pomiędzy stanowiskiem a burtą przepływającego statku, oznaczono jako D_d . Na podstawie znajomości położenia stanowiska pomiarowego względem nabrzeża oraz linii mostu wyznaczono parametr W . Znając wielkość parametru W , szerokość filaru mostu (B_p) oraz szerokość toru wodnego pomiędzy filarami (B_m) wyznaczono parametry S i S' , opisujące odległość burt statku od filarów mostu. Na podstawie szerokości statku (B), wyliczonych parametrów S , S' obliczono odległości burty statku od osi toru wodnego, D oraz D' . Znajomość rozkładu zmiennych losowych D i D' pozwala na obliczenie szerokości akwenu manewrowego statku na zadanym poziomie istotności.

Badania prowadzone były w warunkach dobrej widzialności – warunki hydrometeorologiczne (siła wiatru oraz prędkość prądu rzeki) oceniano na podstawie obserwacji i pomiarów własnych, a następnie archiwizowano. Rejestrowane przejazdy dotyczą ruchu statków w górę rzeki, pod prąd.



Rys.2. Zasada wykonywania pomiaru – eksperyment rzeczywisty.
Fig.2. The principle of the measurement – real time experiment.

Eksperyment symulacyjny

Eksperyment symulacyjny wykonano na uproszczonym modelu matematycznym statku, uwzględniającym wpływ akwenu oraz warunków hydrometeorologicznych na ruch jednostki. Eksperyment polegał na wykonaniu istotnej statystycznie liczby przejazdów, wykonywanych przez ekspertów, czyli osoby posiadające odpowiednie kwalifikacje i uprawnienia do manewrowania jednostkami żeglugi śródlądowej.

Parametry symulowanego statku zgodnie były z parametrami statków rzeczywistych, zawartymi w tabeli 1. Nastawy silników głównych dobierano tak, aby uzyskane prędkości statku były zgodne z prędkościami rzeczywistymi, obserwowanymi wcześniej w trakcie wykonywania pomiarów.

Symulowane warunki meteorologiczne były zbliżone do średnich warunków zarejestrowanych w trakcie wykonywania pomiarów rzeczywistych. Średnia obserwowana prędkość prądu rzecznoego wynosiła 0,25 m/s, natomiast prędkość wiatru nie przekraczała 2 m/s. Wartości przyjęte w modelu symulacyjnym to: prędkość prądu rzecznoego 0,25m/s, prędkość wiatru 2 m/s.

Metody analityczne

Do projektowania dróg wodnych wykorzystywanych jest pięć metod analitycznych (jedna teoretyczna i cztery empiryczne) [1 ,2, 6]:

- metoda Trzech Składowych (metoda teoretyczna ze wskaźnikami empirycznymi),
- metoda Kanału Panamskiego (metoda empiryczna),
- metoda Gucmy (metoda empiryczna),
- metoda PIANC (metoda empiryczna),
- metoda Kanadyjska I oraz Kanadyjska II (metoda empiryczna).

Metody Trzech Składowych i Gucmy pozwalają na określenie obszaru manewrowego podczas ruchu statku na odcinku prostoliniowym oraz na zakolu, na podstawie szeregu zależności matematycznych. Metody te bezpośrednio przekładają parametry statku, warunki hydrometeorologiczne i nawigacyjne na wielkość obszaru manewrowego.

Metody: Kanadyjska, PIANC oraz Kanału Panamskiego są metodami empirycznymi, pozwalają na projektowanie dróg wodnych tak na odcinkach prostoliniowych, jak i na zakolach. Metody te określają wielkość bezpiecznego akwenu manewrowego w funkcji szerokości jednostki z wykorzystaniem odpowiednich współczynników [5].

Wyniki

W wyniku przeprowadzonych eksperymentów uzyskano trzy zbiory danych, przedstawione odpowiednio w tabelach 2 oraz 3. Tabela 2 zawiera zestawienie szerokości akwenu manewrowego obliczonego na poziomie średnim oraz na założonym poziomie ufności 95%, uzyskane dzięki eksperymentowi rzeczywistemu oraz symulacyjnemu. Wielkość akwenu wyrażono w metrach oraz w funkcji szerokości statku B . W tabeli zestawiono szerokości akwenu dla poszczególnych sektorów toru wodnego, jednak dla dalszej analizy porównawczej postanowiono uśrednić uzyskane dane. Jako szerokość bezpiecznego akwenu manewrowego do celów porównawczych zastosowano wartość średnią z szerokości obliczonych na poziomie ufności 95%. Poziom ufności 95% stosowany jest powszechnie w badaniach inżynierskich dotyczących bezpieczeństwa nawigacji na akwenach ograniczonych oraz w literaturze przedmiotu [4, 6, 7]. Parametry akwenu wyznaczonego z tym poziomem ufności traktowane są jako parametry bezpiecznego akwenu manewrowego.

Tabela 2

Szerokość drogi wodnej uzyskana z badań rzeczywistych oraz prób symulacyjnych
The dimensions of the waterways obtained by means of the real method and simulation

Numer sektora	Pomiary rzeczywiste	Symulacja	Pomiary rzeczywiste	Symulacja
	szerokość drogi wodnej [m]			
	średnia		95%	
1	10,24	9,32	13,11	18,09
2	9,39	8,95	11,02	16,46
3	9,33	8,98	11,33	15,01
4	8,82	9,15	10,61	14,42
5	9,25	8,94	11,42	14,23
6	8,43	9,03	10,33	14,36
7	8,59	8,92	10,71	14,24
8	8,87	8,92	10,43	14,19
9	8,42	9,02	10,15	14,74
10	8,53	9,02	10,56	15,16
11	8,42	8,88	10,14	15,32
12	8,36	8,99	9,91	15,55
Szerokość uśredniona [m]	8,89	9,01	10,81	15,15
Szerokość uśredniona jako funkcja szerokości statku [B]	1,10 B	1,11 B	1,34 B	1,87 B

W tabeli 3 zestawiono szerokości drogi wodnej wyznaczone z zastosowaniem metod analitycznych, wyrażone w metrach oraz w funkcji szerokości statku B . Wytyczne odnoszące się do stosowania metod analitycznych, zawarte między innymi w [1] oraz [2], stwierdzają, iż wyliczona za pomocą tych metod szerokość jest „nie mniejsza niż minimalna bezpieczna szerokość drogi wodnej”. Metody: Kanadyjska, PIANC oraz Kanału Panamskiego określają wielkość bezpiecznego akwenu manewrowego w funkcji szerokości jednostki z wykorzystaniem odpowiednich współczynników empirycznych, wobec tego zaprojektowane parametry drogi wodnej pozbawione są informacji o poziomie bezpieczeństwa, reprezentowanym przez poziom ufności. Jedynie metody Trzech Składowych oraz Gucmy umożliwiają wyznaczenie parametrów drogi wodnej na założonym poziomie ufności, stosując obok współczynników empirycznych także pewne zależności analityczne. Aby pozostać w zgodzie z metodą rzeczywistą oraz symulacyjną, do dalszej analizy przyjęto szerokości akwenów manewrowych obliczone na poziomie ufności równym 95%.

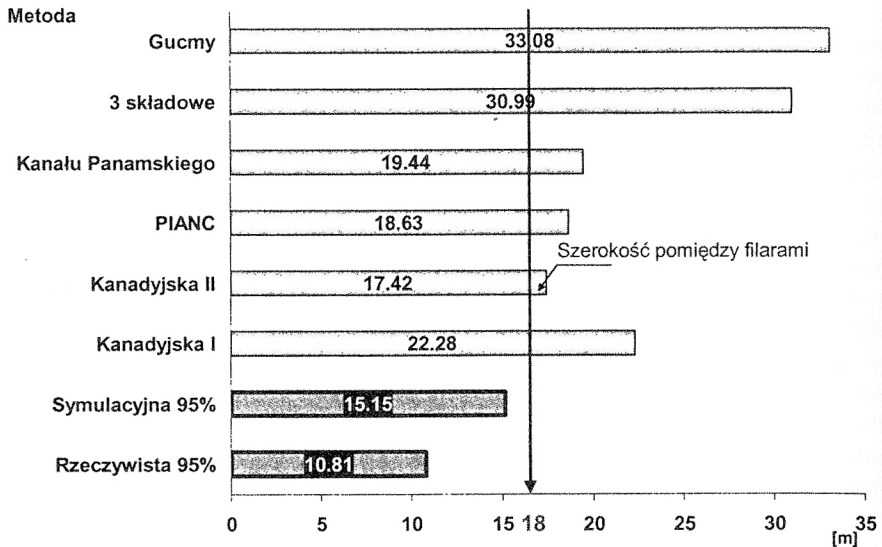
Tabela 3

Bezpieczne szerokości drogi wodnej uzyskane drogą obliczeń analitycznych
The dimensions of the safety waterways obtained by means of the analytical method

Metoda	Bezpieczna szerokość drogi wodnej [m]	Bezpieczna szerokość drogi wodnej w funkcji szerokości statku[B]
Kanadyjska I	17,50	2,2B
Kanadyjska II	15,39	1,9B
PIANC	10,53	1,3B
Kanału Panamskiego	19,44	2,4B
Trzech składowych – 95%	35,53	4,4B
Gucmy – 95%	33,08	4,1B

Na rysunku 3 przedstawiono w postaci graficznej szerokości akwenów manewrowych obliczone za pomocą opisanych metod. Zaznaczono również dostępną szerokość żeglowną na omawianym odcinku toru wodnego, która wynosi 18 m. Szerokość ta limitowana jest filarami mostu.

Na rysunku 4 przedstawiono błędy względne poszczególnych metod analitycznych oraz symulacyjnej, wynikami odniesienia były wyniki uzyskane z zastosowaniem metody rzeczywistej. Błędy wyrażono w procentach oraz w funkcji szerokości statku (B). Wartości błędów wyliczono stosując następujące zależności:



Rys.3. Zestawienie wielkości obszarów manewrowych wyrażonych w metrach, obliczonych metodami: rzeczywistą, symulacyjną oraz metodami analitycznymi.

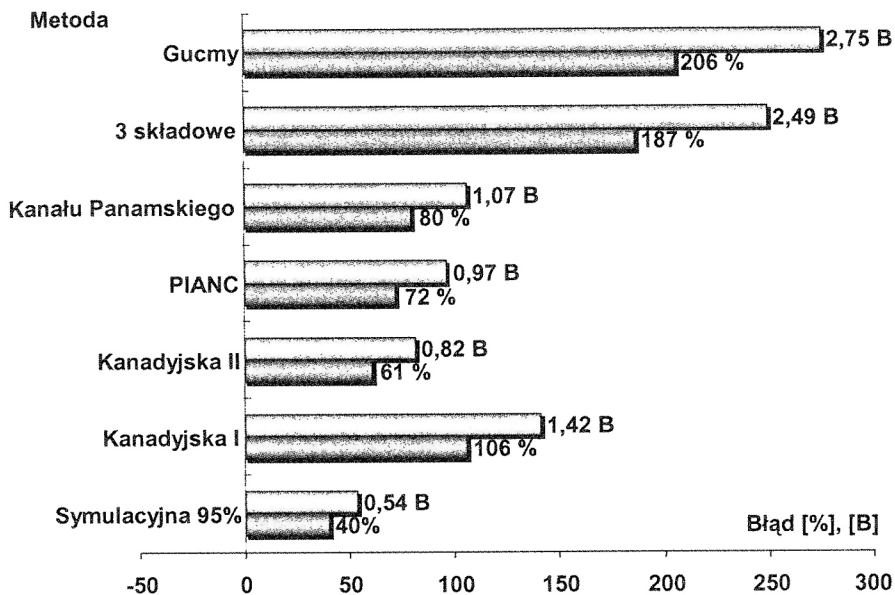
Fig.3. The dimensions of the waterways expressed in meters, obtained by analytical computation, simulation method and real experiment.

$$\Delta = \frac{(w_M - w_R)}{w_R} \cdot 100\% \quad [\%] \quad (1)$$

$$\Delta = \frac{(w_M - w_R)}{B} \quad (2)$$

gdzie:

- Δ – błąd względny metody,
- w_M – szerokość drogi wodnej wyznaczona z zastosowaniem rozpatrywanej metody analitycznej lub symulacyjnej,
- w_R – szerokość drogi wodnej wyznaczona z zastosowaniem metody rzeczywistej,
- B – szerokość statku.



Rys.4. Zestawienie błędów poszczególnych metod wyrażone w procentach oraz jako funkcja szerokości jednostki, w stosunku do metody rzeczywistej.

Fig.4. The methods' errors expressed in % of real measurements and as a function of ship's breadth B .

Wskazania metody symulacyjnej, w stosunku do metody rzeczywistej są zawyżone o 40%, w przełożeniu na wymiar liniowy jest to 0,5B.

Spośród metod analitycznych, największą dokładnością charakteryzują się metody: Kanadyjska II oraz PIANC, których błąd wynosi odpowiednio 61% oraz 72%.

Obliczenia dokonane przy zastosowaniu metody Kanału Panamskiego dały wyniki większe o 80%, w wymiarze liniowym jest to 1,1B.

Wyniki uzyskane za pomocą metod analityczno empirycznych: 3 składowych oraz Gucmy są zawyżone o odpowiednio 2,5B oraz 2,7B.

Wnioski

W referacie dokonano weryfikacji metod analitycznych oraz symulacyjnej wyznaczania dróg wodnych na akwenu ograniczonym. Wskazania metod zweryfikowano danymi pochodzącymi z pomiarów rzeczywistych. Sprawdzenia dokonano dla specyficznego rodzaju drogi wodnej, jaką jest śródlądowy osłonięty tor wodny, przebiegający pomiędzy filarami mostu, dla wąskiego przedziału warunków hydrometeorologicznych oraz dla jednego typu statku.

Uwzględniając przedstawione ograniczenia, można na podstawie otrzymanych w wyniku eksperymentu danych wnioskować, iż:

- szerokość akwenu manewrowego obliczona na poziomie średnim z zastosowaniem metody symulacyjnej jest niemal równa szerokości wyznaczonej w trakcie badań rzeczywistych. Natomiast akwen manewrowy wyznaczony na poziomie ufności 95%, w przypadku metody symulacyjnej jest szerszy o 0,5B od odpowiadającego mu akwenu wyznaczonego metodą rzeczywistą;
- spośród metod analitycznych, na uzyskanie wyników najbliższych rzeczywistości pozwalają metody: Kanadyjska II oraz PIANC, potwierdzają to wcześniej prowadzone badania [5];
- błąd metody Kanadyjskiej I, w stosunku do pomiarów rzeczywistych, wynosi 106%, zawiąza ona wskazania o 1,4B.
- metoda Kanału Panamskiego zawiąza wskazania o 80%, co w mierze liniowej daje 1,1B.
- pozostałe dwie metody analityczno-empiryczne charakteryzują się znacznymi błędami, na poziomie 2,5 B.

Literatura

1. *Approach Channels a Guide for Design, Final Report of The Joint PIANC – IAPH Group II 30 in Cooperation with IMPA and IALA.* Supplement to Bulletin No. 87, Brusseles 1995.
2. *Canadian Waterways National Maneuvering Guidelines, Channel Design Parameters,* Marine Navigation Services, Canadian Coast Guard, Ontario 1999.
3. Dobosz M.: *Wspomagana komputerowo statystyczna analiza wyników badań,* Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2004.
4. Gluver H., Olsen D. (pod red.): *Ship Collision Analysis (Bridges),* Balkema, Rotterdam 1998.
5. Gucma L. Montewka J. *Porównanie metod analitycznych określania parametrów dróg wodnych z metodą symulacyjną,* Konferencja N-T EXPLO-SHIP, Szczecin 2002.
6. Gucma S.: *Inżynieria ruchu morskiego,* Wydawnictwo Okrętownictwo i żegluga, Gdańsk 2001.
7. Iribarren I.: *Determining the horizontal dimensions of ship manoeuvring areas,* PIANC Bulletin No. 100, 1999.
8. Montewka J.: *Ocena bezpieczeństwa manewrowania statku na akwencie ograniczonym, w oparciu o eksperyment rzeczywisty,* VI Sympozjum Nawigacyjne, AM Gdynia, 2005.
9. Serwis internetowy: <http://www.cezaryskorka.pl>

Wpłynęło do redakcji w grudniu 2005 r.

Recenzent

prof. dr hab. inż. Bolesław Mazurkiewicz

Adres autora

mgr inż. Jakub Montewka
Instytut Inżynierii Ruchu Morskiego
Akademia Morska w Szczecinie
Wały Chrobrego 1-2
70-506 Szczecin
tel. (091) 4 809 458
e-mail: jakub@am.szczecin.pl