

## OKREŚLENIE GRANICZNYCH PRĘDKOŚCI WIATRU DLA BEZPIECZNEGO POSTOJU KONTENEROWCA ULCV NA KOTWICY

### Streszczenie

W artykule omówiono wpływ warunków hydrometeorologicznych ze szczególnym uwzględnieniem działania wiatru oraz prądu na kontenerowiec ULCV (Ultra Large Container Vessel) podczas postoju na kotwicy. W celu wyznaczenia granicznych wartości wiatru, przeprowadzono badania symulacyjne z wykorzystaniem reprezentatywnego modelu statku, a otrzymane wyniki badań porównano z wykonanymi obliczeniami teoretycznymi.

### WSTĘP

Jednym z typowych manewrów wykonywanych podczas normalnej eksploatacji statku handlowego jest kotwiczenie. Pomimo powszechnego charakteru samego manewru, jak i późniejszego postoju statku na kotwicy, odnotowuje się sytuacje skutkujące nie tylko drobnymi incydentami rzutującymi na sprawność techniczną statku, ale także poważnymi wypadkami i zdarzeniami morskimi.

Analiza wypadków z udziałem statków podczas kotwiczenia przeprowadzona przez jeden z Klubów P&I (Protection and Indemnity Associations) – Standard Club dowiodła, że w przeciągu 36 miesięcy odnotowano łącznie 40 roszczeń ubezpieczeniowych w związku z postojem jednostek morskich na kotwicy. Łączna wartość prowadzonych spraw została oszacowana na poziomie 12 mln USD. Ze względu na rodzaj zdarzenia wyróżniono [1]:

- a) 15 zerwanych kotwic.
- b) 8 kolizji statków wynikających z wleczenia kotwicy przez statek własny lub obcy.
- c) 4 wejścia na mieliznę będące skutkiem postoju na kotwicy.
- d) 5 ataków pirackich podczas postoju na kotwicy.
- e) 6 splątanych łańcuchów kotwicznych w tym 3 z innymi statkami stojącymi na kotwicy.
- f) 1 zdarzenie związane z zanieczyszczeniem środowiska podczas postoju na kotwicy.
- g) 1 strata całkowita jednostki będąca skutkiem wejścia na mieliznę podczas postoju na kotwicy.

Ze względu na znaczną ilość odnotowywanych incydentów, postanowiono przeprowadzić badania symulacyjne pozwalające wyznaczyć graniczne warunki wiatrowe dla bezpiecznego postoju na kotwicy kontenerowca typu ULCV.

### 1. ZAŁOŻENIA PROJEKTOWE BADAŃ

Badania symulacyjne przeprowadzono na symulatorze map elektronicznych NaviTrainer 5000 Professional oraz NaviSailor 4000 firmy TRANSAS. Urządzenie znajduje się w Katedrze Nawigacji Akademii Morskiej w Gdyni i pracuje w oparciu o zaawansowane modele matematyczne, dzięki czemu możliwe jest dokładne odwzorowanie reakcji statku i otaczającego go środowiska.

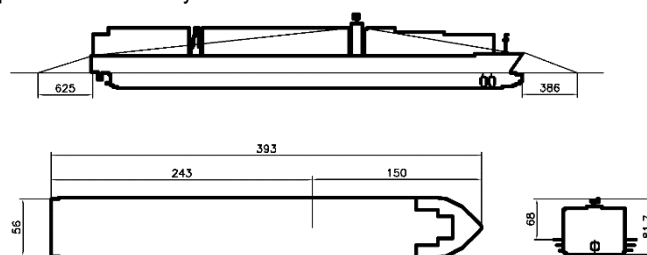
#### 1.1. Charakterystyka wykorzystanego modelu

Zgodnie z założeniami projektowymi badań, zrealizowano trzy serie symulacji postoju statku na kotwicy z wykorzystaniem tego samego modelu – Container ship 22. Wybrana jednostka, to w pełni załadowany kontenerowiec ULCV o wyporności 191 000 ton. Szczegółowe dane eksploatacyjne statku wykorzystanego na potrzeby przeprowadzonych badań przedstawiono w tabeli 1.

**Tab. 1. Parametry eksploatacyjne modelu Container ship 22 [2]**

Nazwa	Container ship 22
Wersja	TRANSAS 2.31.1.0
Stan załadowania	W pełni załadowany
Długość całkowita	393,0 m
Szerokość całkowita	56,0 m
Wysokość nadwodna	68,0 m
Wyporność	191 000 t
Nośność	153 500 t
Zanurzenie na dziobie	13,7 m
Zanurzenie na rufie	13,7 m
Typ kotwicy	Patentowa
Masa kotwicy	27 t
Grubość ogniw łańcucha kotwicznego	102 mm
Masa łańcucha kotwicznego	226,8 kg / m
Prędkość windy kotwicznej	9 m / min
Długość łańcucha kotwicznego LB	14 szakli (385 m)
Długość łańcucha kotwicznego PB	14 szakli (385 m)

Wybrany model kontenerowca, to jednostka o długości całkowitej 393,0 m i szerokości 56,0 m z mostkiem nawigacyjnym usytuowany w pobliżu śródkręcia. Zgodnie z danymi pochodzącymi z karty pilotowej i tabeli charakterystyk manewrowych statku, mostek oddalony jest od dziobu o 150 m, natomiast odległość od mostka do rufy statku wynosi 243 m. Szczegółowe wymiary wykorzystanej jednostki przedstawiono na rysunku 1.



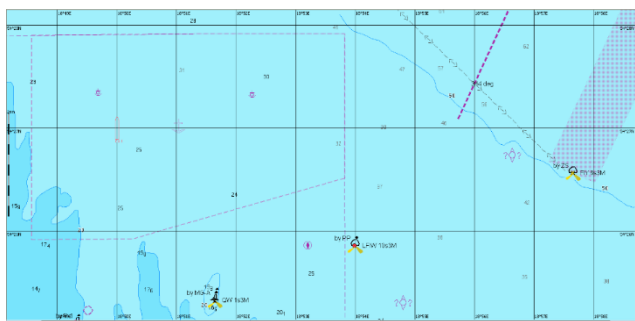
**Rys. 1. Schemat i wymiary modelu Container ship 22 [2]**

#### 1.2. Charakterystyka akwenu symulacyjnego

Ze względu na fakt, iż do Terminala Kontenerowego DCT (Deep Water Container Terminal) w Gdańsku zawijają statki o zbliżonej charakterystyce eksploatacyjnej, na potrzeby przeprowadzanych badań, postanowiono wykorzystać jedno z rzeczywistych kotwicowisk dostępnych dla statków oczekujących na wejście do Portu Północnego w Gdańsku. Publikacje nautyczne wyszczególniają dwa odrębne akwenu kotwiczenia dla wykorzystywanego obszaru, w zależności od typu jednostki [3]:

1. Kotwiczowisko nr 4 dla masowców – położone w północnej części podejścia do Portu Północnego w Gdańsku. Minimalna dostępna głębokość wynosi 16,5 m.
2. Kotwiczowisko nr 5 dla zbiornikowców – położone na wschód od kotwiczowiska nr 4 z dostępnymi głębokościami wynoszącymi od 24,0 do 32,0 m.

Do przeprowadzenia badań wykorzystano kotwiczowisko nr 4, o piaszczystym dnie i mniejszej dostępnej głębokości. Wynika to z przyjęcia najgorszego scenariusza, a więc braku dostępności obszaru o większej głębokości dla statku oczekującego na wejście do portu. Obszar symulacyjny obejmujący kotwiczowisko, tor podejściowy do Portu Północnego w Gdańsku wraz ustawionym modelem statku przedstawiono na rysunku 2.



**Rys. 2.** Obszar symulacyjny przygotowany do przeprowadzenia badań wraz z modelem statku na kotwiczowisku

### 1.3. Warunki hydrometeorologiczne

Ze względu na znaczną boczną powierzchnię nawiewu wybranego modelu i jej wpływ na reakcję statku podczas żeglugi, zdecydowano się na przeprowadzenie symulacji wyłącznie z uwzględnieniem wiatru oraz prądu, pomijając występowanie falowania na akwencie symulacyjnym.

W każdej symulacji wykorzystano jednakowe warunki pogodowe, zmieniające się w zależności od czasu trwania symulacji [hh:mm:ss]. Wyróżnić można trzy zasadnicze etapy badania:

1. 00:00:00 – 00:30:00 - brak zakłóceń zewnętrznych – wiatru, prądu oraz falowania.
2. 00:30:00 – 01:00:00
  - a) prąd morski działający w kierunku południowym (180°): prędkość prądu wzrastała liniowo w zadanym czasie, osiągając maksymalną wartość 1 w.
  - b) wiatr z kierunku północnego (000°), prędkość wzrastała liniowo od 0 w.
3. 01:00:00 – 01:30:00
  - a) prąd morski działający w kierunku południowym (180°) z odchyleniami ±10° w odstępach 5-minutowych. Prędkość prądu nie ulegała zmianie i wynosiła 1 w.
  - b) dalszy, liniowy wzrost prędkości wiatru, aż do osiągnięcia maksymalnej wartości wynoszącej 58,3 w. na końcu symulacji.

### 1.4. Realizacja badań symulacyjnych

Symulacje przeprowadzono trzykrotnie zgodnie z opisanymi założeniami projektowymi. W każdej serii wykorzystano ten sam model statku, jednakowy akwen badawczy oraz identyczne warunki hydrometeorologiczne. Jedynym parametrem, który ulegał zmianie w każdej serii symulacji, była długość wydanego łańcucha kotwicznego.

Jednostka na początku każdej serii badań była ustawiona na kursie północnym (000°) w pozycji geograficznej  $\varphi = 54^{\circ}27,0' N$ ;  $\lambda = 018^{\circ}50,0' E$ . Pierwsze trzydzieści minut symulacji, podczas których zgodnie z przedstawionymi założeniami nie występowały żadne

zakłócenia zewnętrzne, poświęcono rzuceniu kotwicy oraz odpowiedniemu ustawieniu statku na kotwiczowisku. W momencie rozpoczęcia właściwego etapu badań (00:30:00), statek był ustawiony pod wiatr i prąd, a łańcuch rozłożony równomiernie na dnie i napięty.

Dla każdej serii badań przyjęto różną długość łańcucha kotwicznego. W pierwszej symulacji długość wydanego łańcucha została obliczona zgodnie z poniższą formułą [1]:

$$L = 1,5 \cdot \sqrt{D} \quad (1)$$

gdzie:

- $L$  – liczba szakli łańcucha kotwicznego (1 szakla = 27,5 m),
- $D$  – głębokość akwenu [m].

Zgodnie z sondażami umieszczonymi na mapach nawigacyjnych, głębokość na kotwiczowisku w miejscu postoju statku oscylowała w granicach 25 m. W odniesieniu do wzoru 1, obliczona długość łańcucha wyniosła 206,25 m co odpowiada wartości 7,5 szakli. Dla każdej kolejnej serii badań, długość wydanego początkowo łańcucha kotwicznego wzrastała o 2,5 szakli i wynosiła: 10 szakli dla symulacji nr 2 oraz 12,5 szakli dla symulacji nr 3.

Podczas każdej symulacji, w czasie rzeczywistym rejestrowano w interwałach 1-sekundowych wybrane parametry statku i środowiska, do których należały m.in.: pozycja geograficzna dla środka geometrycznego modelu, kurs rzeczywisty, prędkość względem dna, prędkości poprzeczne na dziobie i rufie, wartości sił wzdłużnych, poprzecznych i pionowych na łańcuchu kotwicznym, zapas wody pod stępką na dziobie i rufie, głębokość akwenu, prędkość i kierunek wiatru oraz prądu.

## 2. WYNIKI BADAŃ SYMULACYJNYCH

Przeprowadzone badania wykazały wleczenie kotwicy podczas każdej serii symulacji. Zejście z pozycji kotwiczenia było przesunięte w czasie, w zależności od ilości wydanego łańcucha kotwicznego. Możliwe było zaobserwowanie korelacji pomiędzy długością łańcucha kotwicznego, a momentem dragowania kotwicy.

### 2.1. Wyniki przeprowadzonych symulacji

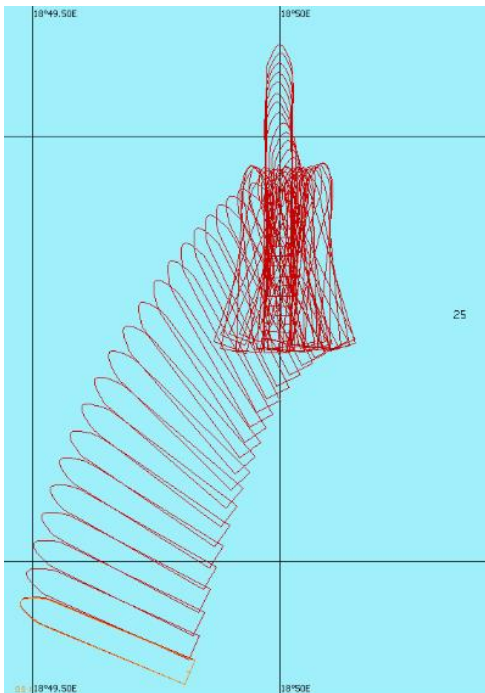
W trakcie symulacji wydano odpowiednio od 7,5 do 12,5 szakli łańcucha kotwicznego. Po początkowym ustawieniu statku na kotwiczowisku, jednostka rozpoczęła łukowanie w związku z pojawieniem się zakłóceń zewnętrznych.

Rozpoczęcie wleczenia kotwicy podczas pierwszej serii badań nastąpiło w czasie 01:05:36. Warunki hydrometeorologiczne odnotowane w chwili zejścia statku z pozycji kotwiczenia przedstawiono w tabeli 2.

**Tab. 2.** Warunki hydrometeorologiczne w momencie zejścia statku z pozycji kotwiczenia dla każdej z przeprowadzonych symulacji.

	7,5 szakli	10,0 szakli	12,5 szakli
Kierunek wiatru rzeczywistego	000°	000°	000°
Prędkość wiatru rzeczywistego	34,6 w.	46,4 w.	58,3 w.
Kierunek wiatru pozornego	345°	008°	019°
Prędkość wiatru pozornego	34,7 w.	46,3 w.	58,1 w.
Kierunek działania prądu	171,2°	184,5°	180°
Prędkość prądu	1,0 w.	1,0 w.	1,0 w.

Po rozpoczęciu wleczenia kotwicy, statek ustawiał się prawą burtą w kierunku działania wiatru oraz prądu, po czym dryfował w kierunku południowym.



**Rys. 3.** Zrzut obrysu kadłuba statku podczas symulacji - łukowanie i rozpoczęcie dragowania kotwicy

### 3. WYMAGANIA WYTRZYMAŁOŚCIOWE DOTYCZĄCE KOTWICY I ŁAŃCUCHA KOTWICZNEGO WG IACS

Do wyznaczenia podstawowych parametrów kotwicy i łańcucha kotwicznego IACS (*International Association of Classification Societies*) wymaga zastosowania parametru *EN* (*Equipment Number*). Poniżej zależność, z której wyznaczono *EN* dla kontenerowca użytego w badaniach symulacyjnych. Na podstawie opisywanego parametru wyznacza się masę kotwicy i pozostałe jej parametry [4].

$$EN = \Delta^{2/3} + 2HB + 0,1A = 9258 \quad (5)$$

gdzie:

- $\Delta$  – wyporność dla letniej linii ładunkowej (191000) [t],
- $H$  – wysokość statku od powierzchni wody (50) [m],
- $B$  – szerokość statku (56) [m],
- $A$  – poprzeczna powierzchnia statku (3800) [m<sup>2</sup>].

Towarzystwa klasyfikacyjne wymagają, aby każdy statek w żegludze nieograniczonej był wyposażony w trzy kotwice - dwie z nich gotowe do natychmiastowego użycia i jedną zapasową składowaną na burcie statku. Dla  $EN = 9258$  otrzymanego z tabeli „*Anchoring equipment*” [4], masa kotwicy wynosi 27500 kg, z kolei wytrzymałość kotwicy określa poniższa zależność [5]:

$$PL = 2,6 \cdot M^{2/3} [kN] = 2370 \text{ kN} \quad (2)$$

gdzie:

$M$  - masa kotwicy [kg].

Wytrzymałość łańcucha kotwicznego zależy od rodzaju materiału z jakiego został on wykonany i powinna być wprost proporcjonalna do kwadratu średnicy ogniwa, zgodnie z poniższą zależnością [5]:

$$MBL = \frac{d^2 (44 - 0,08d)}{102} [kN] = 3655 \text{ kN} \quad (3)$$

gdzie:

- $d$  - średnica ogniwa (102) [mm],
- $MBL$  - minimalna siła zrywająca dla łańcucha kotwicznego [kN].

$$PL = 0,7MBL[kN] = 2560 \text{ kN} \quad (4)$$

gdzie:

$PL$  – wytrzymałość łańcucha kotwicznego [kN].

$$HC = 0,24 \cdot 9,81 \cdot (EN)^{2/3} = 1040 \text{ kN} \quad (6)$$

gdzie:

$HC$  – zdolność trzymania kotwicy [kN],

$EN$  – wskaźnik wyposażenia.

### 4. WARTOŚCI SIŁ ZEWNĘTRZNYCH DZIAŁAJĄCYCH NA KADŁUB STATKU STOJĄCEGO NA KOTWICY

#### 4.1. Napór wiatru na kadłub statku

Wiatr i jego wpływ na zachowanie się statku stojącego na kotwicy, wydaje się być kluczowym czynnikiem powodującym zagrożenie podczas postoju na kotwicy. Długotrwałe oddziaływanie wiatru na akwenie dodatkowo powoduje niekorzystne falowanie, które wraz z podmuchami wiatru generuje ruch pionowy statku i łukowanie jednostki na kotwicy, co można było zaobserwować podczas prowadzonych symulacji.

Wartość siły generowanej na kadłub przez wiatr określa poniższa zależność [5]:

$$Fx(w) \approx \frac{Cx(w)}{6100} \cdot Vw^2 \cdot AT(B) [kN] \quad (7)$$

gdzie:

$Cx(w)$  - współczynnik oddziaływania wiatru,

$Vw$  - prędkość wiatru [w.],

$AT(B)$  - powierzchnia oddziaływania wiatru [m<sup>2</sup>].

#### 4.2. Napór prądu na podwodną część kadłuba

Prądy morskie oddziałują na podwodną część kadłuba, najgorszym wariantem jest więc statek o największym zanurzeniu. Na badanym akwenie powstający prąd jest prądem wiatrowym, którego kierunek zazwyczaj pokrywa się z kierunkiem oddziaływania wiatru. Przy długotrwałym wpływie wiatru powstaje prąd osiągający prędkość nawet 1 węzła. Wartość siły generowanej przez prąd wiatrowy działający na podwodną część kadłuba określa poniższa zależność [5]:

$$Fx(c) \approx \frac{Cx(c)}{7,4} \cdot Vc^2 \cdot (B \cdot d) [kN] \quad (8)$$

gdzie:

$Cx(c)$  - współczynnik oddziaływania prądu,

$Vc$  - prędkość prądu [w.],

$B$  - szerokość statku [m],

$d$  - zanurzenie statku [m].

### 5. ZESTAWIENIE WYNIKÓW

Zgodnie z zaleceniami P&I Standard Club, długość łańcucha kotwicznego przy dobrych warunkach pogodowych wynosiła 7,5 szakli (symulacja 1), wleczenie kotwicy zaobserwowano przy prędkości wiatru wynoszącej 34,6 węzła. Zwiększenie długości łańcucha do 10 szakli (symulacja 2) spowodowało, że wleczenie kotwicy zaobserwowano przy wietrze 46,4 w. Wydanie 12,5 szakli łańcucha do wody, pozwala na utrzymanie statku do prędkości wiatru 58,3 w.

Dla załadowanego kontenerowca obliczono statyczne siły zewnętrzne naporu wiatru na kadłub i kontenery znajdujące się na pokładzie oraz prądu na podwodną część kadłuba.

Wartości siły wzdłużnej działającej na łańcuch kotwiczny w trakcie prowadzenia badań symulacyjnych miały charakter dynamiczny i wykazywały znaczne zmiany wartości w czasie. Wleczenie kotwicy mogło być obserwowane tylko w chwili, gdy odległość od początkowej pozycji kotwiczenia była większa niż długość łańcucha kotwicznego. W tabeli 3 zestawiono wyniki badań symulacyjnych oraz przeprowadzonych obliczeń.

**Tab. 3. Zestawienie wyników teoretycznych i symulacyjnych**

Vw [w.]	Vc [w.]	F <sub>x(w)</sub> [kN]	F <sub>x(c)</sub> [kN]	ΣF <sub>x</sub> [kN] obliczenia	F <sub>x</sub> <sup>∞</sup> [kN] sym. 1	F <sub>x</sub> <sup>∞</sup> [kN] sym. 2	F <sub>x</sub> <sup>∞</sup> [kN] sym. 3
25,0	1,0	206,0	30,5	236,5	657,3	206,0	801,1
30,0	1,0	298,0	30,5	328,5	260,1	461,6	1030,8
<b>34,6</b>	1,0	396,0	30,5	<b>426,5</b>	<b>853,5</b>	674,6	637,7
35,0	1,0	404,0	30,5	434,5	817,2	410,4	323,4
40,0	1,0	529,0	30,5	559,5	231,5	1235,3	1108,3
45,0	1,0	669,0	30,5	699,5	107,0	700,2	943,8
<b>46,4</b>	1,0	712,0	30,5	<b>742,5</b>	127,5	<b>1680,2</b>	972,7
50,0	1,0	826,0	30,5	856,5	130,5	1074,2	848,9
55,0	1,0	1000,0	30,5	1030,5	15,0	17,5	1025,1
<b>58,3</b>	1,0	1123,0	30,5	<b>1153,5</b>	15,7	7,0	<b>58,8</b>

## WNIOSKI

Wydanie większej liczby szakli łańcucha kotwicznego pozwoliło na postój statku przy silniejszym wietrze, ale wraz z wydłużeniem łańcucha, wzrastały jednocześnie wartości siły wzdłużnej działającej na kotwicę. Działanie to spowodowane było dynamicznymi zmianami pozycji statku względem kotwicy – łukowaniem, a także ruchami pionowymi przy wzrastającym falowaniu.

Badania symulacyjne pozwoliły określić maksymalną prędkość wiatru, przy której następowała zmiana pozycji kotwiczenia (wleczenie kotwicy) dla określonej liczby szakli łańcucha, przy danej głębokości akwenu.

Ze względu na fakt, iż obliczenia teoretyczne uwzględniają jedynie statyczne siły zewnętrzne nieobejmujące dodatkowych naprężeń łańcucha kotwicznego wynikających z łukowania jednostki, do pełnej oceny bezpieczeństwa statku na kotwicy należy przeprowadzać badania symulacyjne.

## BIBLIOGRAFIA

1. The Standard Club Ltd, *Standard Safety: Anchoring - Special Edition*. London: Charles Taylor & Co. Limited, 2008.
2. TRANSAS Marine, „Container ship 22 (Dis.191000t) TRANSAS 2.31.1.0 : Pilot Card and Wheelhouse poster”.
3. United Kingdom Hydrographic Office, *NP19 - Admiralty Sailing Directions : Baltic Pilot Volume 2 : South part of Baltic Sea and Gulf of Riga*, Fifteenth Edition. United Kingdom Hydrographic Office, 2011.
4. International Association of Classification Societies (IACS), „Requirements concerning MOORING, ANCHORING AND TOWING”. International Association of Classification Societies (IACS).
5. I. B. Clark, *Mooring and Anchoring Ships Vol 1 : Principles and Practice*. London: The Nautical Institute, 2009.
6. International Maritime Organization (IMO), *MSC/Circ.1175 : GUIDANCE ON SHIPBOARD TOWING AND MOORING EQUIPMENT*. London: International Maritime Organization (IMO), 2005.
7. Oil Companies International Marine Forum (OCIMF), *Mooring Equipment Guidelines (MEG3)*, 3rd Ed. Bermuda: Oil Companies International Marine Forum (OCIMF), 2008.

## DETERMINATION OF WIND SPEED LIMITS FOR SAFE ANCHORING OF ULCV CONTAINER SHIP

### Abstract

*Paper presents influence of hydro-meteorological conditions, especially wind and current on the ULCV (Ultra Large Container Vessel) container ship during anchoring. Wind speed limits, were determined by simulation study, based on representative ship model. Results of simulations were compared with theoretical calculations.*

Autorzy:

inż. Mateusz Gil – Akademia Morska w Gdyni, Wydział Nawigacyjny - Katedra Nawigacji, e-mail: m.gil@wn.am.gdynia.pl  
dr inż. kpt. ż. w. Przemysław Wilczyński – Akademia Morska w Gdyni, Wydział Nawigacyjny - Katedra Eksploatacji Statku, e-mail: p.wilczynski@wn.am.gdynia.pl