

# Stanowisko do rehabilitacji stawu kolanowego

## Artykuł recenzowany

### Streszczenie

*W artykule przedstawiono stanowisko do wykonywania ćwiczeń rehabilitacyjnych stawów kolanowych. Ćwiczenia polegają na prostowaniu i zginaniu nogi w stawie kolanowym, co pozwala na samodzielną rehabilitację pacjenta prowadzoną pod opieką rehabilitanta, fizjoterapeuty lub magistra fizjoterapii. Opracowane stanowisko pozwala na odzyskanie utraconej sprawności ruchowej zgodnie z metodyką rehabilitacji opracowaną i stosowaną przez Carolina Medical Center [10]. Należy zaznaczyć, że akwizycja danych co do przebiegów wykonywanych ćwiczeń może być wykorzystana do śledzenia i analizy postępów procesu rehabilitacji. Urządzenie pozwala również na wykonywanie ćwiczeń stawu biodrowego.*

### Abstract

*This article presents a medical device for performing rehabilitation exercises for knee joints. Exercises consist in straightening and bending the legs in the knee joint, which are allowing for self-rehabilitation of the patient under the care of a physiotherapist, physiotherapist or physiotherapist. Developed medical device allows recovery of lost motor skills according to the rehabilitation method developed and used by Carolina Medical Center [10]. It should be noted that data acquisition on the course of exercise can be used to track and analyze the progress of the rehabilitation process. The device also allows you to perform hip joint exercises.*

**TOMASZ  
GOŁASZEWSKI,  
GRZEGORZ  
KAMIŃSKI,  
MATEUSZ KRYSIAK,  
KRZYSZTOF  
MIANOWSKI**

Instytut Techniki Lotniczej  
i Mechaniki Stosowanej,  
Politechnika Warszawska

*Słowa kluczowe:*  
rehabilitacja stawu kolanowego,  
stanowisko do rehabilitacji,  
leczenie urazów ACL

*Key words:*  
rehabilitation of knee joints,  
medical device for rehabilitation,  
ACL injury treatment

## WPROWADZENIE

Staw kolanowy jest jednym z największych oraz jednym z najbardziej istotnych stawów w organizmie człowieka. Tworzą go kości: udowa, piszczelowa oraz kość heterotopowa – rzepka, które są otoczone wspólną torebką stawową. Powierzchnie stawowe (kłykcie) kości udowej i piszczelowej oddzielone są od siebie łątką przysródkową i boczną, które zapewniają odpowiednie dopasowanie tych powierzchni oraz umożliwiają wykonywanie ruchów w stawie. Pod względem funkcjonalnym staw kolanowy zaliczany jest do stawów zawiasowych zmodyfikowanych – umożliwia prostowanie i zginanie oraz w niewielkim zakresie ruchy rotacyjne w zgięciu.

Prawidłową kinematykę stawu gwarantują więzadła boczne i torebki stawowej (w. poboczne strzałkowe – LCL, w. poboczne piszczelowy – MCL, w. podkolanowe skośne – OPL, w. podkolanowe łukowate – APL), oraz dodatkowe wewnętrzne (w. przednie krzyżowe – ACL, w. tylne krzyżowe – PLC) [1].

Skomplikowana budowa anatomiczna oraz złożona motoryczność sprawiają, że staw ten jest narażony na uszkodzenia wynikające m.in. z przeciążeń. Szczególnie wrażliwe na uszkodzenia są więzadła wewnętrzne, których niesprawność skutkuje zniszczeniem czuciowych zakończeń nerwowych oraz mechanoreceptorów, prowadząc do powstania upośledzeń zwrotnych reakcji nerwowo-mięśniowych.

Konsekwencją tego jest wystąpienie niestabilności funkcjonalnej stawu kolanowego i pojawienie się u danej osoby problemów w poruszaniu się.

Biomechanika stawu kolanowego jest częstym tematem prac naukowych [2-4]. Mimo prowadzonych badań nie wszystkie aspekty pracy tego stawu zostały w pełni poznane. Brak jest metod i modeli, które umożliwiłyby wyjaśnienie powstawania przeciążeń i niestabilności mechanicznych struktur składowych oraz wspomogły metody profilaktyczne i rehabilitacyjne. Wynika to zarówno z budowy anatomicznej stawu (wąski i mały stop międzykłykciowego dołu kości udowej, osobnicze i urazowe osłabienie struktur więzadłowych, gospodarka hormonalna) jak też i z czynników środowiskowych (pogoda, rodzaj obuwia, interakcja podłoże-obuwie) [5-7].

Do zrozumienia zjawisk zachodzących w stawie kolanowym można wykorzystać modelowanie numeryczne pozwalające wykonać analizy dynamiczne i kinematyczne, które mogą pomóc w rozpoznaniu zjawisk zachodzących w tej strukturze. Jest to szczególnie istotne w procesie konstruowania urządzeń mechanicznych wspomagających proces rehabilitacji, dających możliwość monitorowania jej postępów na bieżąco i rejestracji przebiegów wykonywanych ćwiczeń. Takie interdyscyplinarne podejście stwarza warunki do efektywniejszego odzyskiwania utraconej sprawności ruchowej przy jednoczesnym zwiększeniu komfortu i samodzielności użytkownika [8-9].

### ZAŁOŻENIA TRADYCYJNYCH TECHNIK REHABILITACJI

Celem rehabilitacji stawu kolanowego jest przywrócenie funkcji ruchowych stawu (zakresu ruchu, siły mięśniowej oraz koordynacji) bez utraty jego stabilności. W czasie rehabilitacji stosuje się zachowawcze leczenie farmakologiczne przeciwbólowe oraz pod okiem fizjoterapeuty lub magistra rehabilitacji pacjent wykonuje zestaw ćwiczeń kinezyterapeutycznych mobilizujących tkanki miękkie oraz wzmacniających wybrane partie mięśniowe [10].

Ośrodki zajmujące się rehabilitacją stawu kolanowego po urazach wewnętrznych więzadeł opracowują własne metody rekonwalescencji, które najczęściej opierają się na tych samych zasadach. Niestety nie ma jednolitych procedur określających przebieg takiego procesu. Ćwiczenia stosowane podczas rehabilitacji można podzielić na dwa rodzaje:

- z zastosowaniem łańcucha kinematycznego o strukturze otwartej,
- z zastosowaniem łańcucha kinematycznego o strukturze zamkniętej.

Ćwiczenia z wykorzystaniem metody łańcucha otwartego charakteryzują się brakiem kontaktu kończyny z podłożem, w przeciwieństwie do ćwiczeń w drugiej metodzie [3, 10, 12].

Niestety brakuje jednoznacznych badań, które wskazywałyby, który typ ćwiczeń jest bardziej efektywny dla rehabilitacji pacjentów po przeprowadzanych zabiegach rekonstrukcji więzadeł. Brak również badań stwierdzających optymalny poziom przeciążenia więzadeł wewnętrznych, dlatego też zalecane jest stosowanie jak najmniejszych obciążeń. Ćwiczenia z zastosowaniem łańcucha kinematycznego o strukturze zamkniętej wywierają na staw kolanowy większą siłę uciskową oraz wywołują współskurcze mięśnia czworogłowego i mięśni kulszowo-goleniowych, co przekłada się na zmniejszenie sił ścinających w stawie kolanowym, które działałyby niekorzystnie na świeżo zrekonstruowane więzadło. Dlatego też wielu specjalistów upatruje wyższości ćwiczeń z wykorzystaniem metody łańcucha zamkniętego, nad tymi wykonywanymi z drugiej metody. Okazuje się jednak, że małe kąty zgięcia w stawie kolanowym w zamkniętym łańcuchu kinematycznym mogą być tak samo niebezpieczne, jak ćwiczenia z wykorzystaniem metody łańcucha otwartego [11, 12].

Oprócz wymienionych wyżej przeciwwskazań dotyczących ćwiczeń z zastosowaniem łańcucha kinematycznego o strukturze zamkniętej oraz otwartej należy:

- unikać ćwiczeń powodujących obciążanie stawu w bieżących pozycjach krańcowych,
- stosować w czasie ćwiczeń dodatkowe napięcie tylnej grupy mięśni uda, aby zmniejszyć przednią siłę ścinającą,
- unikać wewnętrznej rotacji podudzia, która powoduje zwiększone napięcie podudzia i dodatkowo obciąża więzadła.

Model rehabilitacji opracowany i stosowany przez Carolina Medical Center zakłada stopniowe odzyskiwanie utraconego zakresu ruchu w stawie kolanowym po urazie więzadła ACL. W ciągu pierwszych sześciu tygodni pacjent powinien wykonywać ćwiczenia, które umożliwią odzyskanie zakresu ruchu w zakresie od 0-90°, a w okresie od szóstego do dziewiątego tygodnia zakres ten powinien być zwiększony do 120°. W końcowej fazie rehabilitacji powinno dojść do odzyskania pełnego zakresu ruchu (tj. do około 130°). Natomiast po urazach PCL należy ograniczyć zginanie kolana do około 45°, by uniknąć generowania nadmiernych sił w tym stawie i jego więzadle. Wyprost kolana powinien być realizowany w bezpiecznych granicach od 0 do 60°, jednak w tym przypadku nacisk na staw rzepkowo-udowy może osiągać wartość zbliżoną do maksimum, co może stać się przyczyną dolegliwości bólowych [11-13].

### ZAŁOŻENIA METODYKI WŁASNego STANOWISKA DO REHABILITACJI

Na podstawie przedstawionej tradycyjnej metody rehabilitacji zdecydowano się na stworzenie uniwer-

salnego stanowiska pozwalającego na kontrolowane i automatyczne wykonywanie ćwiczeń zginania i prostowania kończyny w stawie kolanowym. Jednak w odróżnieniu od istniejących na rynku rozwiązań pacjent w trakcie rehabilitacji z wykorzystaniem projektowanego urządzenia będzie znajdował się w pozycji leżącej bocznej – w przypadku rehabilitacji lewej nogi pacjent leży na prawym boku, a w przypadku rehabilitacji prawej nogi – na lewym. W stosunku do klasycznego podejścia (pacjent w trakcie ćwiczeń zajmuje pozycję siedzącą, lub leżącą na plecach), pozycja leżąca boczna niesie ze sobą ważne zalety. Po pierwsze, siła grawitacji nie działa w płaszczyźnie ruchu, co zmniejsza wymagane siły napędowe. Po drugie, ewentualne niestabilności kolana w płaszczyźnie czołowej są wyeliminowane w skutek podwieszenia kończyny dolnej oraz naturalnej podpory, jaką tworzy ścięgno przekazujące napęd do rehabilitowanej kończyny. Ponadto pozycja izolowana boczna utrzymuje staw kolanowy w małym zwarciu, czyli minimalizuje tarcie powierzchni stawowych. Jest to tym bardziej ważny aspekt, że po długim unieruchomieniu kończyny powierzchnie stawowe ulegają przerostowi i zwłóknieniu.

Ponadto opracowane urządzenie może aktywnie wspomagać proces rehabilitacji poprzez wymuszanie ruchu rehabilitacyjnego za pomocą napędów elektrycznych (dostępna byłaby również opcja biernego wspomaganie ćwiczeń – wykorzystująca tylko elementy urządzenia odciażające kończynę). Przy tym założeniu koniecznym jest, aby urządzenie zapewniało jedynie asystę taką, jaka jest konieczna do wykonania ćwiczenia w pożądanym zakresie kątowym, co zostanie osiągnięte za pomocą zestawu czujników gwarantujących sprzężenie zwrotne oraz blokadę ograniczającą ruch. Zaletą takiego podejścia jest ciągła mobilizacja pacjenta do wykonywania ćwiczeń, tj. gdy przykładana siła wspomagająca ruch jest zbyt mała, pacjent nie jest w stanie wykonać ćwiczenia, natomiast gdy jest za duża – pacjent przestaje aktywnie uczestniczyć w ćwiczeniu. Nieodpowiednia wielkość siły może nawet skutkować pogorszeniem się stanu pacjenta [14].

Zaletą zaprojektowanego urządzenia jest możliwość takiego jego rozszerzenia, by można było wykonywać ćwiczenia rehabilitacyjne stawu biodrowego.

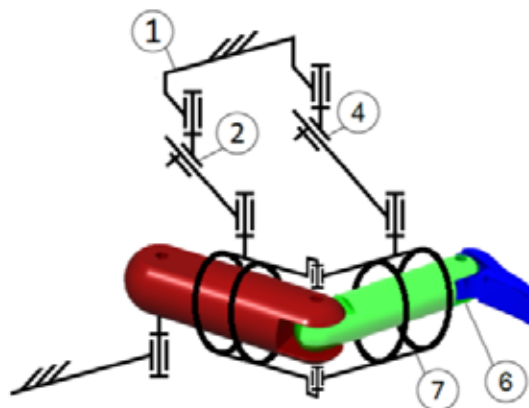
#### PROPOZYCJA REALIZACJI URZĄDZENIA

Na podstawie założeń, przedstawionych w poprzednim rozdziale, zaprojektowano stanowisko do rehabilitacji stawu kolanowego. Na rys. 1 przedstawiono jego schemat kinematyczny a na rys. 2 projekt 3D tego urządzenia. Koncepcja działania jest bardzo prosta i polega na poruszaniu kończyną dolną pacjenta (6) umocowaną w specjalnej ortezie (7) z zastosowaniem dwóch siłowników roboczych ruchu

liniowego (2, 4) przymocowanych do ramy (1). Sama orteza jest połączona parą obrotową V klasy na wysokości stawu biodrowego z nieruchomą ramą (1) lub mechanizmem nastawczym (3) umożliwiającym dobranie wymiarów urządzenia do konkretnego pacjenta. Końcówka tłoczyska siłownika (2) jest przymocowana za pomocą identycznej pary V klasy do części udowej ortezy – na wysokości środka ciężkości uda, natomiast końcówka siłownika (4) do części goleniowej na wysokości środka ciężkości podudzia.

Warto w tym miejscu zaznaczyć, że zaprojektowane w ten sposób stanowisko pozwala na kontrolowane ćwiczenia zginania i prostowania zarówno w stawie kolanowym, jak i biodrowym. Przy rehabilitacji stawu kolanowego można skorzystać z siłownika roboczego (4) podczas gdy drugi siłownik (2) byłby unieruchomiony. Przy wykonywaniu ćwiczeń rehabilitacyjnych stawu biodrowego wykorzystywane są oba siłowniki – konieczny jest takie programowe sprzężenie wysuwu tłoczków, aby staw kolanowy pozostawał nieruchomy.

Poprzez odpowiednią rozbudowę programu sterującego siłownikami można także wspomagać pacjenta wykonującego bardziej zaawansowane ćwiczenia rehabilitacyjne kończyny dolnej.



Rysunek 1. Schemat kinematyczny stanowiska do rehabilitacji stawu kolanowego (1 – rama, 2,4 – siłowniki, 6 – kończyna dolna pacjenta, 7 – orteza)

Ruchliwość tego mechanizmu można wyliczyć ze wzoru strukturalnego Grublera dla mechanizmów płaskich

$$w=3 \cdot n - p_4 - 2 \cdot p_5 = 3 \cdot 6 - 2 \cdot 8 = 2$$

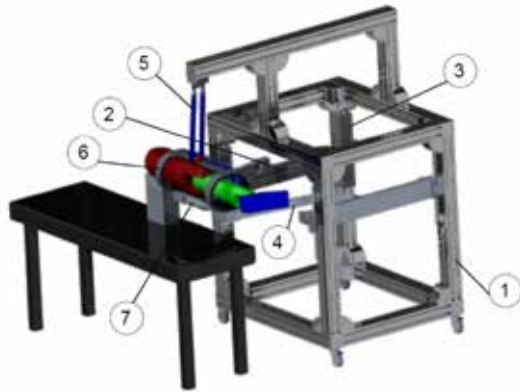
gdzie:

$n$  – liczba członów mechanizmu,

$p_4$  – liczba par kinematycznych klasy IV,

$p_5$  – liczba par kinematycznych klasy V.

Z przeprowadzonej analizy ruchliwości wynika, że mechanizm ma dwa stopnie swobody i potrzebne są dwa napędy liniowe do jego funkcjonowania.



*Rysunek 2. Wizualizacja stanowiska do rehabilitacji stawu kolanowego (1 – rama, 2 – siłownik wspomagający ruch uda, 3 – mechanizm nastawczy, 4 – siłownik wspomagający ruch голени, 5 – cięgno elastyczne, 6 – kończyna dolna pacjenta, 7 – orteza).*

Dokładniejsze szczegóły konstrukcji urządzenia przedstawia rysunek 2. W odróżnieniu od istniejących na rynku rozwiązań pacjent w trakcie rehabilitacji z wykorzystaniem projektowanego urządzenia będzie zajmował pozycję leżącą boczną, tak aby ćwicząca kończyna znajdowała się u góry. Rozwiązanie to dodatkowo eliminuje niestabilności kolana w płaszczyźnie czołowej poprzez podwieszenie kończyny rehabilitowanej na specjalnym cięgnie elastycznym (5).

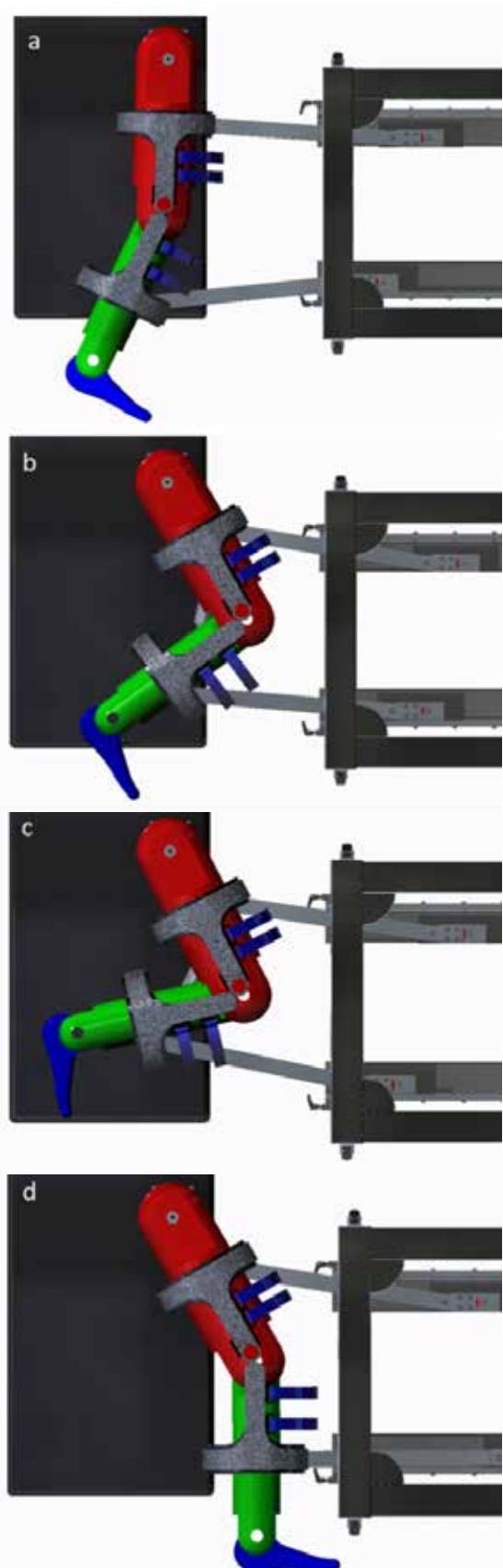
Na rys. 3 pokazano kolejne fazy ćwiczenia polegającego na prostowaniu i zginaniu kończyny w stawie kolanowym.

### ■ PODSUMOWANIE

W pracy zaprezentowano stan prac nad oryginalnym, własnym stanowiskiem do rehabilitacji stawu kolanowego. Proponowane rozwiązanie jest innowacyjne, nie opracowano dotychczas podobnych urządzeń. Może ono być wykorzystane do wspomagania pacjentów cierpiących na uszkodzenia więzadeł wewnętrznych (głównie ACL) w procesie dochodzenia do zdrowia tak, aby było ono bardziej efektywne.

Zaprezentowane urządzenie daje możliwość samodzielnej realizacji ćwiczeń rehabilitacyjnych redukując zaangażowanie personelu w tym procesie. W skali globalnej może to znacząco zredukować koszty leczenia i przyczynić się do popularyzacji urządzeń o tym przeznaczeniu. Dla określonych przypadków bólowych i dolegliwości chorobowych istnieje również możliwość aktywnego wymuszenia ruchu z wykorzystaniem dodatkowych napędów zewnętrznych.

Urządzenie przeznaczone jest do stosowania w poradniach, oddziałach i centrach rehabilitacyjnych oraz innych ośrodkach medycznych zajmują-



*Rysunek 3. Kolejne fazy ćwiczenia z wykorzystaniem urządzenia (a – zgięcie kolana 30°, b – zgięcie kolana 90°, c – zgięcie kolana 120°, d – faza wyprostowana)*

cych się rehabilitacją przez wykwalifikowany personel medyczny (lekarze, rehabilitanci, fizjoterapeuci) i specjalistów medycyny manualnej. Zbierane w trakcie ćwiczeń dane pomiarowe mogą przyczynić się do lepszej oceny stanu pacjenta, oraz postępów rehabilitacji.

#### ■ BIBLIOGRAFIA:

- [1] Pasierbiński A. Rehabilitacja po rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego, „Acta Clinica” 2002, nr 1, Tom 1, s. 86-100.
- [2] Kakarlapudi T. K., Bickerstaff D. R. Knee instability: isolated and complex. „British Journal of Sports Medicine” 2000 nr 34, s. 394-400.
- [3] Wardak M. Ocena funkcji stawu kolanowego po jednoczasowej rekonstrukcji wielowięzadłowej i rehabilitacji pooperacyjnej. praca doktorska, 2012.
- [4] Achimowicz A. Wybrane modele rehabilitacji po pierwotnej rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego. praca magisterska, 2011.
- [5] Alentorn-Geli E., Prevention of noncontact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: mechanisms of injury and underlying risk factors, „The Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy” Springer 2009, nr 17, s. 705-729.
- [6] Andrzejewski T. Leczenie uszkodzeń więzadeł krzyżowych stawu kolanowego. „Fizjoterapia Polska” 2004, nr 4 (4), s. 331-336.
- [7] Koga H. Mechanisms for noncontact anterior cruciate ligament injuries, Knee joint kinematics in 10 injury situations from female team handball and basketball. The American Journal of Sports Medicine, 2010, nr 11 (38), s. 2218-2225
- [8] Tejszerska D., M. Gzik M., Waloński W., Gąsiorek D., Gzik-Zroska B. Interaktywne urządzenia do rehabilitacji kończyn dolnych, „Modelowanie Inżynierskie”, 2009, nr 38, s. 243-250.
- [9] Mianowski K., Kaczmarek W., Kamiński G., Rosolek R., Stańczuk M. Stanowisko do rehabilitacji kręgosłupa metodą dynamiczną. „Pomiary Automatyka Robotyka”, R. 19, Nr 4/2015, 55-62, DOI: 10.14313/PAR\_218/55.
- [10] Kosińska A. Metody odbudowy pełnego zakresu ruchu stawu kolanowego u pacjentów po rekonstrukcji ACL. „Rehabilitacja w Praktyce”, 2012, Nr 6, s. 32-35.
- [11] Krysiak M. Projekt konstrukcyjny urządzenia do rehabilitacji stawu kolanowego, praca inżynierska, 2015
- [12] Brotzman S., Wilk K. Rehabilitacja ortopedyczna. Pod red. A. Dziaka. T. 2. Wrocław: Urban & Partner, 2011
- [13] Brown D. E., Neumann R. D. Sekrety ortopedii. Pod red. A. Dziaka. Wyd. 1. Wrocław: Urban & Partner, 2006
- [14] Danek K. A. Lower Limb Motor Coordination and Rehabilitation Facilitated through Self-Assist, praca doktorska, 2008

# Roboty w służbie medycyny



## RobinHeart

polski produkt, współpraca  
FRK - Meden-Inmed

## Vertimo Hi-Lo Step

polski produkt, współpraca  
PIAP - Meden-Inmed



Więcej informacji na:

[www.meden.com.pl](http://www.meden.com.pl) 