

Cezary Rzymkowski

Politechnika Warszawska, Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa

WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI

T11. Biomechanika zderzeń, ocena i symulacja skutków wypadków drogowych

Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
udostępniany nieodpłatnie



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Biomechanika zderzeń (udarowa) /urazów (obrażeń) — (???)

- ❖ Biomechanika zderzeń (udarowa) /urazów (obrażeń) jest nauką stosowaną, której przedmiotem jest badanie zjawisk zachodzących w układzie mięśniowo-szkieletowym i narządach wewnętrznych człowieka (ale nie tylko) w warunkach obciążeń charakteryzujących się krótkimi czasami działania (zwykle rzędu kilku/kilkudziesięciu milisekund) przy bardzo wysokich amplitudach (np. przyspieszenia rzędu 100g).
- ❖ Typowym przykładem są obciążenia udarowe towarzyszące wypadkom komunikacyjnym (nie tylko).

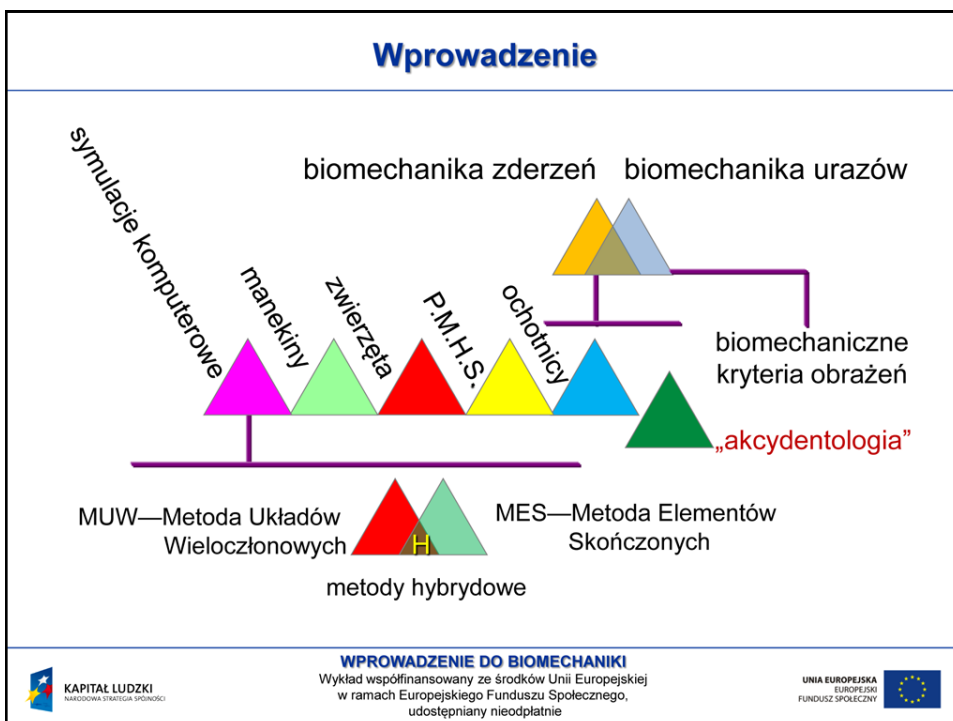
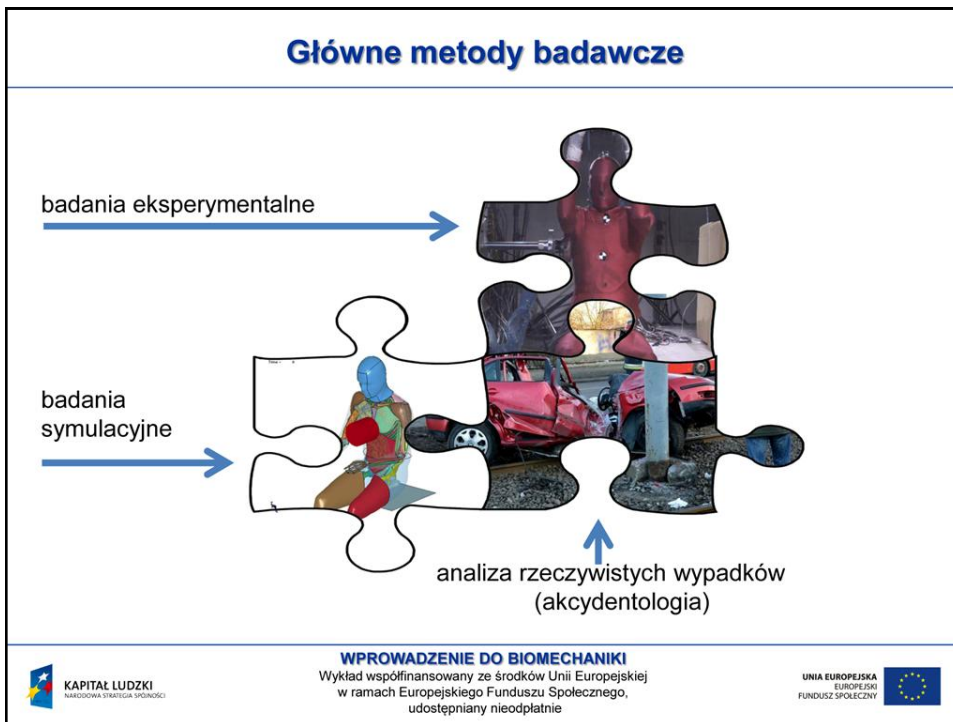


KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
udostępniany nieodpłatnie

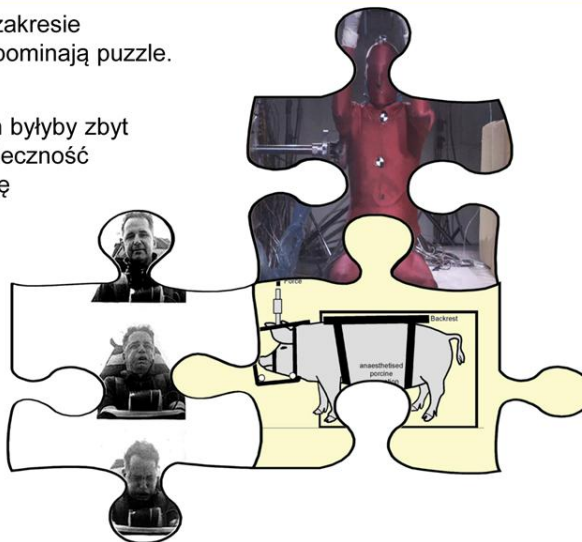
UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY





Badania doświadczalne „obiektów” biologicznych

- ❖ Badania doświadczalne w zakresie biomechaniki zderzeń przypominają puzzle.
- ❖ Ponieważ eksperymenty w warunkach rzeczywistych byłyby zbyt niebezpieczne, istnieje konieczność prowadzenia (wzajemnie się uzupełniających) badań z wykorzystaniem zwierząt, zwłok (PMHS) i ochotników.



WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
udostępniany nieodpłatnie



Testy z udziałem ochotników



the fastest man on earth
and No. 1 hero of the
Air Force”, *Time*,
September 12, 1955).

Pułkownik John Paul Stapp

- ❖ Grudzień 1947 – maj 1948, Edwards AFB, Kalifornia, pustynia Mojave, 16 testów, opóźnienia do 35g
- ❖ Rok 1954, Hollman AFB, Nowy Meksyk, pojazd “Sonic Wind”, hamowanie z prędkości 632 mil/h (1017 km/h) do zera w czasie 1,4 — opóźnienie powyżej 40 g (wartość szczytowa: 46,2 g)



- ❖ Następne lata — testy z udziałem ochotników, na potrzeby programu opracowania pasów bezpieczeństwa — opóźnienia do 28 g



WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
udostępniany nieodpłatnie



Testy z udziałem ochotników



WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
udostępniany nieodpłatnie



Testy z udziałem ochotników

Zalety i ograniczenia

Ze względu na ryzyko poważnych obrażeń lub nawet zagrożenia życia, badania eksperymentalne z udziałem „rzeczywistych obiektów” (ochotników) są bardzo ograniczone.



Badania z udziałem ochotników:
(wymagana zgoda odpowiedniej komisji)



0ms



100ms



200ms



- + Pełna zgodność antropometryczna
- + Aktywna praca mięśni
- Tylko testy dla małych obciążeń
- Ochotnicy (zwykle młodzi i zdrowi, częściej mężczyźni niż kobiety) nie stanowią próbki reprezentatywnej dla całej populacji



WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
udostępniany nieodpłatnie



Testy z wykorzystaniem PMHS

Badania:

- na poziomie tkanek
- na poziomie segmentów
- w pełnej skali

- + Zgodność antropometryczna
- + Zbliżone własności układu szkieletowego jak u żywego człowieka
- + Możliwe prowadzenie testów przy wysokich obciążeniach
- Uwarunkowania religijne i etyczne (zgoda odpowiedniej komisji)
- Zmienione własności tkanek miękkich
- Brak aktywnej pracy mięśni
- Brak reprezentatywności próbki dla całej populacji (zwłoki zwykle ludzi starszych, często schorowanych)



WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
udostępniany nieodpłatnie



Testy z wykorzystaniem PMHS

Zalety i ograniczenia

- + Zgodność antropometryczna
- + Zbliżone własności układu szkieletowego jak u żywego człowieka
- + Możliwe prowadzenie testów przy wysokich obciążeniach



- Uwarunkowania religijne i etyczne (zgoda odpowiedniej komisji)
- Zmienione własności tkanek miękkich
- Brak aktywnej pracy mięśni
- Brak reprezentatywności próbki dla całej populacji (zwłoki zwykle ludzi starszych, często schorowanych)



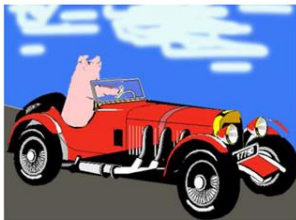
WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
udostępniany nieodpłatnie



Testy z wykorzystaniem zwierząt

Zalety i ograniczenia

- + Możliwość porównań wyników eksperymentów prowadzonych na zwierzętach żywych i uśmierconych
- + Możliwe prowadzenie testów przy wysokich obciążeniach
- Bardzo istotne różnice anatomiczne, brak możliwości bezpośredniego wykorzystywania wyników



- ❖ Zwierzęta wykorzystywane w eksperymentach są wcześniej nieczulane; badania tego typu podlegają ścisłym regulacjom prawnym i wymagają zgody odpowiednich komisji.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
udostępniany nieodpłatnie



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Manekiny zderzeniowe (*crash dummies*)

- ❖ **1949 Sierra Sam (Sierra Engineering for USAF)**
- ❖ 1966 VIP Series (Alderson Research Labs for FORD and GM)
- ❖ 1970 TNO 10 (TNO)
- ❖ 1972 Hybrid II 50% (GM based on VIP Series and Sierra Sam)
- ❖ 1976 Hybrid III 50% (GM)
- ❖ 1989 EuroSID 1 (Europe)
- ❖ 1989 BioSID (SAE)
- ❖ 1996 US SID IIs (GM, FORD, CHRYSLER and FTSS)
- ❖ 2004 Bruksela, WorldSID 50% (international consortium)
- ❖ 2006, Wien, WorldSID 5%
- ❖ 2007, Maastricht, Child Q-series dummies



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
udostępniany nieodpłatnie



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Manekiny zderzeniowe (crash dummies)

- ❖ 1949 Sierra Sam (Sierra Engineering for USAF)
- ❖ 1966 VIP Series (Alderson Research Labs for FORD and GM)
- ❖ 1970 TNO 10 (TNO)
- ❖ 1972 Hybrid II 50% (GM based on VIP Series and Sierra Sam)
- ❖ **1976 Hybrid III 50% (GM)**
- ❖ 1989 EuroSID 1 (Europe)
- ❖ 1989 BioSID (SAE)
- ❖ 1996 US SID IIs (GM,FORD,CHRYSLER and FTSS)
- ❖ 2004 Bruksela, WorldSID 50% (international consortium)
- ❖ 2006, Wien, WorldSID 5%
- ❖ 2007, Maastricht, Child Q-series dummies



WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI
 Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
 w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
 udostępniany nieodpłatnie



Manekiny zderzeniowe (crash dummies)

- ❖ 1949 Sierra Sam (Sierra Engineering for USAF)
- ❖ 1966 VIP Series (Alderson Research Labs for FORD and GM)
- ❖ 1970 TNO 10 (TNO)
- ❖ 1972 Hybrid II 50% (GM based on VIP Series and Sierra Sam)
- ❖ 1976 Hybrid III 50% (GM)
- ❖ 1989 EuroSID 1 (Europe)
- ❖ 1989 BioSID (SAE)
- ❖ 1996 US SID IIs (GM,FORD,CHRYSLER and FTSS)
- ❖ 2004 Bruksela, WorldSID, male, 50% (international consortium)
- ❖ **2006, Wien, WorldSID, female, 5%**
- ❖ 2007, Maastricht, Child Q-series dummies



WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI
 Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
 w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
 udostępniany nieodpłatnie



Manekiny zderzeniowe (crash dummies)

- ❖ 1949 Sierra Sam (Sierra Engineering for USAF)
- ❖ 1966 VIP Series (Alderson Research Labs for FORD and GM)
- ❖ 1970 TNO 10 (TNO)
- ❖ 1972 Hybrid II 50% (GM based on VIP Series and Sierra Sam)
- ❖ 1976 Hybrid III 50% (GM)
- ❖ 1989 EuroSID 1 (Europe)
- ❖ 1989 BioSID (SAE)
- ❖ 1996 US SID IIs (GM,FORD,CHRYSLER and FTSS)
- ❖ 2004 Bruksela, WorldSID, male, 50% (international consortium)
- ❖ 2006, Wien, WorldSID, female, 5%
- ❖ **2007, Maastricht, Child Q-series dummies**



WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
udostępniany nieodpłatnie



Testy z wykorzystaniem manekinów

Badanie możliwości poprawy skuteczności fotelików samochodowych dla dzieci



przed zderzeniem

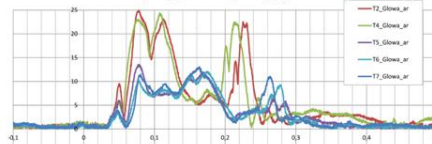


maksymalne wychylenie z fotelikiem nieruchomym

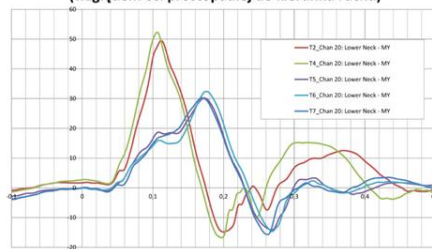


maksymalne wychylenie z fotelikiem z kontrolowanym obrotem

Moduł wektora przyspieszeń głowy [g] w funkcji czasu [s]



Składowa momentu sił [Nm] w szyi na poziomie C7-Th1 (względem osi prostopadłej do kierunku ruchu)



T2, T4 — fotelik nieruchomy, T5, T6 i T7 — fotelik z kontrolowanym obrotem

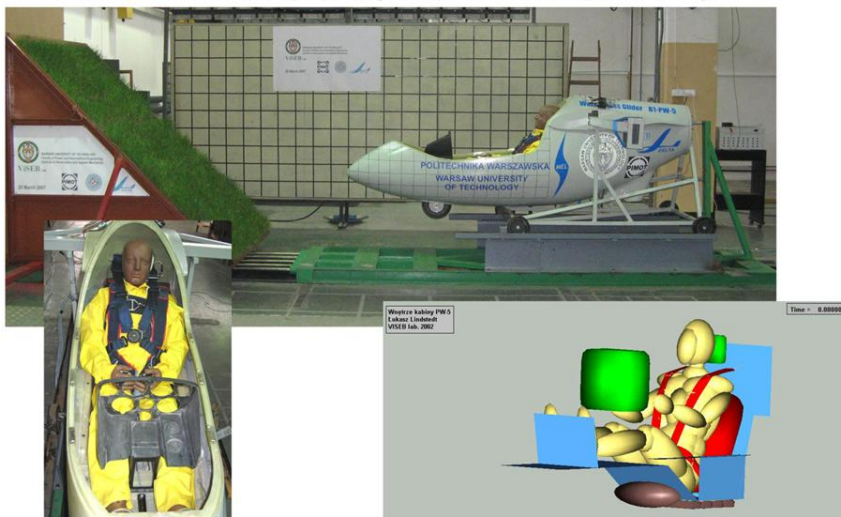


WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
udostępniany nieodpłatnie



Testy z wykorzystaniem manekinów

Badanie możliwości poprawy bezpieczeństwa pilotów szybowca



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

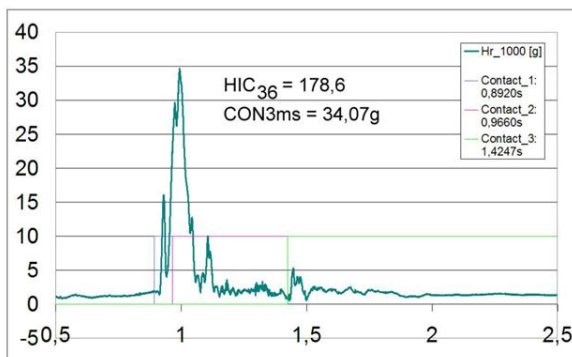
WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
udostępniany nieodpłatnie



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Testy z wykorzystaniem manekinów

Badanie możliwości poprawy bezpieczeństwa pilotów szybowca



Siły w odcinku
łędźwiowym
kręgosłupa [kN]:
- osiowa: 3,22
- tnąca: 1,59

Siła [kN] w pasach
bezpieczeństwa:
- ramiennym: 2,81
- biodrowym: 2,05

CON3ms [g]
dla klatki piersiowej:
29,67



Odształcenia kabiny
- w jednym z punktów
pomiarowych ok. 8‰



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
udostępniany nieodpłatnie



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Testy z wykorzystaniem manekinów

Zalety i ograniczenia

- + Geometria, rozkład masy, kinematyka (istotnych dla danego typu zastosowań) stawów podobne jak u człowieka
- + Bardzo dobra powtarzalność uzyskiwanych wyników — ważne w zastosowaniach np. homologacyjnych
- + Manekiny można wykorzystywać wielokrotnie
- + Duża łatwość montażu czujników pomiarowy rejestrujących istotne parametry w czasie testu



- Generalnie, parametry materiałowe różne od własności żywych tkanek
- Urządzenie mechaniczne zaprojektowane do przetrwania wielu testów — brak możliwości obserwacji „urazów” typowych dla obiektów biologicznych



WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
udostępniany nieodpłatnie



Metody komputerowe biomechaniki zderzeń

Metoda układów wieloczłonowych

- ❖ W zależności od potrzeb i możliwości w biomechanice udarowej wykorzystuje się dwa zasadnicze podejścia do symulacji komputerowej — metodę układów wieloczłonowych (wielomasowych) i metodę elementów skończonych.
- ❖ Dla metody układów wieloczłonowych typowa liczba elementów to od kilkunastu do kilkuset.
- ❖ Poszczególne segmenty modelowane są zwykle jako bryły o kształcie (hyper)elipsoid.
- ❖ W celu właściwej reprezentacji kształtów na potrzeby analizy kontaktów do opisu powierzchni wykorzystuje się również fragmenty płaszczyzn (metoda *facet surface*).



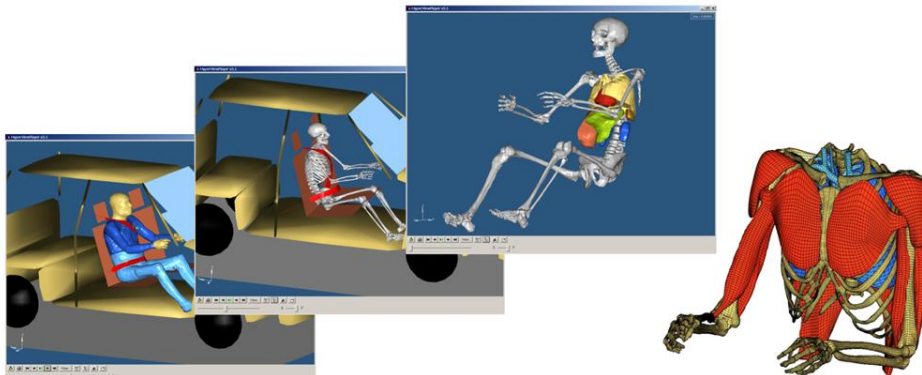
WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
udostępniany nieodpłatnie



Metody komputerowe biomechaniki zderzeń

Metoda elementów skończonych

- ❖ Dla metody elementów skończonych, w zastosowaniach do rozwiązywania zadań z zakresu biomechaniki zderzeń, liczby elementów zaczynają się zwykle od kilkudziesięciu tysięcy, aby — w bardziej zaawansowanych modelach (np. model GHBM) — zdecydowanie przekroczyć milion.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI

Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
udostępniany nieodpłatnie

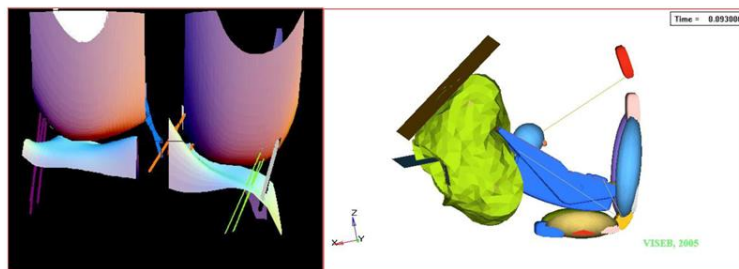


UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Metody komputerowe biomechaniki zderzeń

Metoda hybrydowa

- ❖ Ponieważ zarówno metoda układów wielocząłonowych, jak też MES mają istotne wady i zalety, w praktyce, w pierwszych latach XXI wieku, wykorzystuje się zwykle podejście hybrydowe — pewne segmenty ciała człowieka lub środowiska, w którym jego zachowanie jest analizowane, modelowane są przy wykorzystaniu jednej z metod, pozostałe drugiej.



Dokładniejsza charakterystyka wymienionych metod komputerowych, wraz z przykładami zastosowań, jest przedmiotem modułu T9. *Zarys modelowania i symulacji komputerowej układu ruchu człowieka*



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI

Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
udostępniany nieodpłatnie



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Metody komputerowe biomechaniki zderzeń

Zalety i ograniczenia

Do zalet metod komputerowych należą między innymi:

- + możliwość wykorzystania do uogólnienia i „skalowania” wyników uzyskiwanych z badań doświadczalnych,
- + możliwość oceny nowych rozwiązań konstrukcyjnych systemów bezpieczeństwa na etapie ich projektowania, obniżenie kosztów itp.

Istotne ograniczenia (wady) to:

- konieczność wprowadzania wielu założeń upraszczających na etapie tworzenia modeli,
- wiarygodność uzyskiwanych wyników zależy dodatkowo od zgodności z rzeczywistością wprowadzonych do modeli parametrów.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
udostępniany nieodpłatnie



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Analiza przebiegów i skutków rzeczywistych wypadków

Akcydentologia

❖ Istotną metodą zdobywania wiedzy może być, oparta na danych medycznych i policyjnych, odpowiednia analiza statystyczna skutków wypadków komunikacyjnych połączona z ich kompleksową rekonstrukcją.

- + możliwość analizy rzeczywistych zjawisk towarzyszących obciążeniom człowieka o charakterze udarowym
- + istotny czynnik zapobiegający tzw. „tuningowi” (pod konkretne testy) modeli wirtualnych i konstrukcji
- + możliwość rezygnacji z prowadzenia, przynajmniej części, badań doświadczalnych z wykorzystaniem zwłok
- brak odpowiednich systemów gromadzenia i udostępniania danych



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

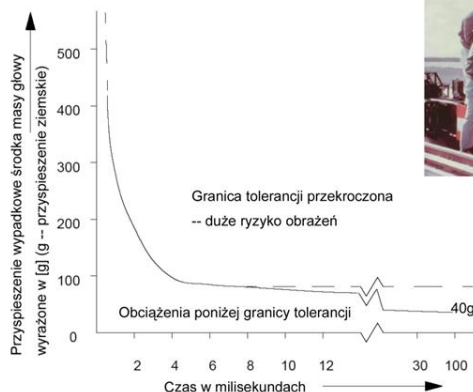
WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
udostępniany nieodpłatnie



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Biomechaniczne kryteria (oceny ryzyka) obrażeń

Tolerancja organizmu człowieka w zależności od czasu działania obciążeń



Kryterium WSTC wyznaczające granice tolerancji głowy na wypadkowe przyspieszenie liniowe środka masy głowy w funkcji czasu działania obciążenia (przyspieszenia)



WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI

Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego, udostępniany nieodpłatnie



Biomechaniczne kryteria (oceny ryzyka) obrażeń

Indeks (wskaźnik) HIC dla głowy

$$HIC = \left\{ (t_2 - t_1) \left[\frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{2,5} \right\}_{\max}$$

gdzie:

t_1 – czas przyjmowany jako początkowy dla analizowanego uderzenia,

t_2 – czas przyjmowany jako końcowy dla analizowanego uderzenia,

(dla testów EuroNCAP obliczany jest wskaźnik HIC_{36} , dla którego: $t_1 - t_2 = 36$ ms, często, szczególnie w USA, wyznacza się również HIC_{16} , dla: $t_1 - t_2 = 16$ ms),

$a(t)$ – moduł wektora przyspieszenia liniowego środka masy głowy.

Jako wartość graniczną dla osób dorosłych w czasie zderzeń czołowych przyjmuje się 1000.



WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI

Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego, udostępniany nieodpłatnie



Biomechaniczne kryteria (oceny ryzyka) obrażeń

Inne kryteria „klasyczne”

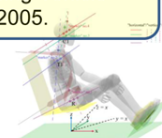
Do powszechnie używanych kryteriów należą:

- ❖ dla głowy — *Gadd Severity Index* (GSI)
- ❖ dla szyi — *Neck Injury Criteria* (FNIC)
i *Biomechanical Neck Injury Predictor* (Nij)
- ❖ dla klatki piersiowej — *3ms Criterion* (*Continuous* lub *Cumulative*),
Thoracic Trauma Index (TTI), *Combined Thoracic Index* (CTI), kryterium
„wiskotyczne” / *Viscous response* (VC)
- ❖ dla kończyn dolnych — *Femur Force Criterion* (FCC)
i *Tibia Index* (TI)

Szczegółowy opis kryteriów znaleźć można, m.in., w dokumencie:
Crash Analysis Criteria Description, version 1.6.2, Workgroup Data Processing Vehicle
Safety in cooperation with the Task Force ISO TS 13499 (ISO-MME), April 2005.

Kryteria „nieoficjalne”

- ❖ np. kryteria „kinematyczne”



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
udostępniany nieodpłatnie



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Biomechaniczne kryteria (oceny ryzyka) obrażeń

Nowe propozycje

- ❖ Obowiązujące kryteria „klasyczne”/„urzędowe” (wykorzystywane na potrzeby homologacji a także testów konsumenckich, np. NCAP, EuroNCAP, ...) spotykają się z coraz większą krytyką ze strony środowisk naukowo-badawczych; w dużym stopniu dotyczy to np. wskaźnika HIC.
- ❖ Dostępne są nowe wyniki badań medycznych, zarówno z testów laboratoryjnych, jak też pomiarów w warunkach naturalnych (np. dzięki czujnikom umieszczonym w kaskach zawodników futbolu amerykańskiego, samochodowym „czarnym skrzynkom” itp.)
- ❖ Zaawansowane modele symulacyjne, w połączeniu z badaniami eksperymentalnymi i analizą wyników rekonstrukcji rzeczywistych wypadków pozwalają na lepsze zrozumienie zjawisk zachodzących w ciele człowieka i w efekcie formułowanie bardziej wiarygodnych kryteriów.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
udostępniany nieodpłatnie



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Biomechaniczne kryteria (oceny ryzyka) obrażeń

Nowe propozycje — kryterium wartości mocy szczytowej PI_{max}

Podstawowy wzór definiujący PI_{max} przybiera postać:

$$PI_{max} = C_1 a_x \int a_x dt + C_2 a_y \int a_y dt + C_3 a_z \int a_z dt + C_4 \varepsilon_x \int \varepsilon_x dt + C_5 \varepsilon_y \int \varepsilon_y dt + C_6 \varepsilon_z \int \varepsilon_z dt$$

gdzie:

$C_i (i=1, \dots, 6)$ — współczynniki będące funkcjami masy i momentów bezwładności głowy, a także różnic tolerancji na przyspieszenia liniowe i kątowe dla różnych kierunków działania,

a_x, a_y, a_z — składowe przyspieszenia liniowego [m/s^2] względem 3 kierunków układu kartezjańskiego umieszczonego w środku masy głowy,

$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ — składowe przyspieszenia kąтового [rad/s^2] względem 3 osi układu kartezjańskiego umieszczonego w środku masy głowy.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
udostępniany nieodpłatnie



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Biomechaniczne kryteria (oceny ryzyka) obrażeń

Nowe propozycje — kryterium wartości mocy szczytowej PI_{max}

- ❖ W założeniu współczynniki C_i , to masa głowy (dla $i = 1, 2, 3$) oraz momenty bezwładności względem odpowiednich osi (dla $i = 4, 5, 6$) pomnożone przez współczynniki wagowe uwzględniające różne poziomy tolerancji na różne składowe przyspieszeń liniowych i kątowych.
- ❖ Ponieważ, wśród uczonych zajmujących się tym zagadnieniem, nie udało się dotychczas uzyskać zgodności, co to wartości tych współczynników wagowych, przyjmuje się tymczasowo wszystkie równe 1, co prowadzi (dla typowej, „50-centylowej” głowy męskiej) do wzoru:

$$PI_{max} = 4,5a_x \int a_x dt + 4,5a_y \int a_y dt + 4,5a_z \int a_z dt + 0,016\varepsilon_x \int \varepsilon_x dt + 0,024\varepsilon_y \int \varepsilon_y dt + 0,022\varepsilon_z \int \varepsilon_z dt$$

- ❖ Na podstawie badań w „warunkach rzeczywistych” (pomiar z wykorzystaniem czujników montowanych w kaskach zawodników futbolu amerykańskiego), za wartość krytyczną, odpowiadającą 50% ryzyku doznania wstrząśnienia mózgu, przyjmuje się zwykle PI_{max} przekraczające 10kW (np. 12,8kW według Autorów [*]).

* Newman J.A., Shewchenko N., Welbourne E.: A Proposed New Biomechanical Head Injury Assessment Function – The Maximum Power Index, *Stapp Car Crash Journal*, Vol. 44, Paper-362, SAE Technical Paper Series 2000-01-SC16, SAE 2000



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
udostępniany nieodpłatnie

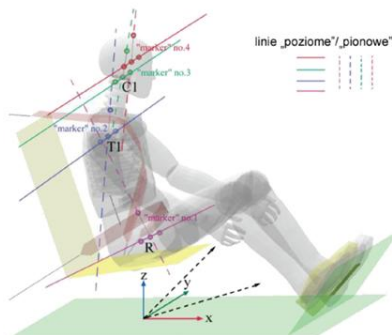
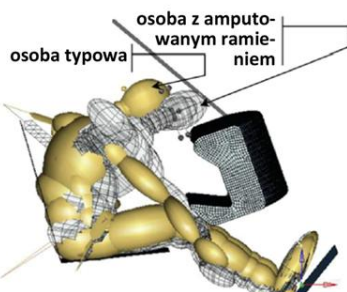


UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Biomechaniczne kryteria (oceny ryzyka) obrażeń

Nowe propozycje — kryterium kinematyczne (rotacyjne)

- ❖ Brak jest powszechnie akceptowanych kryteriów, bazujących na przemieszczeniach względnych poszczególnych segmentów ciała człowieka, które dla pewnych scenariuszy wypadków zdecydowanie przekraczają granice zakresów fizjologicznych, wynikających z budowy anatomicznej i podatności tkanek.



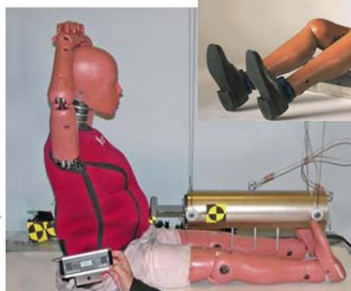
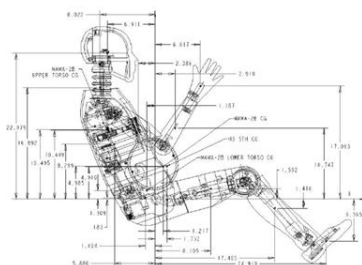
WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
udostępniany nieodpłatnie



Kierunki na przyszłość

Manekiny nowej generacji

- ❖ World-SID
- ❖ MAMA-2B



Źródło: Youmei Zhao, Michiel van Raitingen, Chandler Yoo, George Brill, Steve Goldner, and Renbing Huang. "ENHANCEMENT AND EVALUATION OF A SMALL FEMALE HYBRID III PREGNANT DUMMY." IRCOBI Conference - Madrid (Spain) - September 2005.

- ❖ Manekiny aktywne



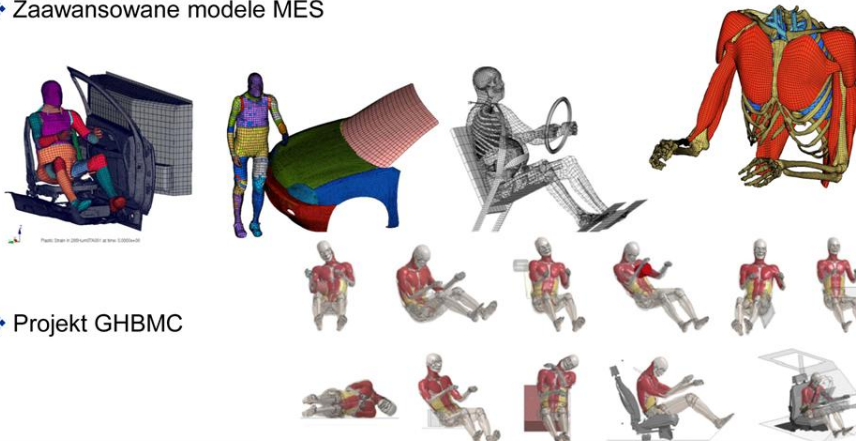
WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
udostępniany nieodpłatnie



Kierunki na przyszłość

Technologie testów wirtualnych — zaawansowane modele symulacyjne

- ❖ VTT for regulation (inicjatywy: EEVC WG22, ISO, projekty „europejskie”, ...)
- ❖ Zaawansowane modele MES



❖ Projekt GHBMC



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI

Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
udostępniany nieodpłatnie

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Kierunki na przyszłość

Rozwiązania techniczne — systemy ochrony pieszych



www.youtube.com/watch?v=NCjVS_-6hYs



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI

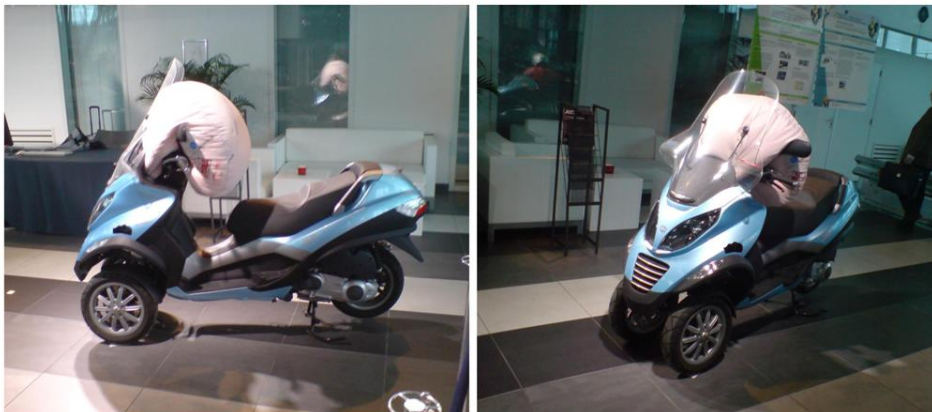
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
udostępniany nieodpłatnie

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Kierunki na przyszłość

Rozwiązania techniczne — systemy ochrony użytkowników jednośladów



WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI

Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
udostępniany nieodpłatnie



Uwagi końcowe, źródła, piśmiennictwo

❖ Dodatkowe materiały/źródła:

- fragment filmu *Understanding Car Crashes When Physics Meets Biology*, IIHS, <http://www.iihs.org/iihs/videos#inline> — ekstremalny test z udziałem ochotnika (płk John Paul Stapp), USAF, 1954, $v_{0,max}=1017\text{km/h}$, $\Delta t=1,4\text{s}$, $a_{max}=46,2\text{g}$ — warto zapoznać się z pełną wersją filmu,
- materiał filmowy firmy Volvo, http://www.youtube.com/watch?v=NCjVS_-6hYs.
- materiały filmowe z prac własnych, m.in. projektu THOMO (*Development of a Finite Element Model of the Human Thorax and Upper Extremities*), 7 PR UE, nr kontraktu: SCP7-GA-2008-218643), 2009–2012

❖ Inne źródła:

- *Wikipedia* — kilka ilustracji,
- Rzymkowski C.: *Modelowanie i symulacja procesów udarowych w biomechanice*, Prace Naukowe – Mechanika, z. 262, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2013.



WPROWADZENIE DO BIOMECHANIKI
Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
udostępniany nieodpłatnie



Dziękuję za uwagę



Wykład współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego,
udostępniany nieodpłatnie



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

