

## WSPÓŁCZESNE BADANIA RUCHU

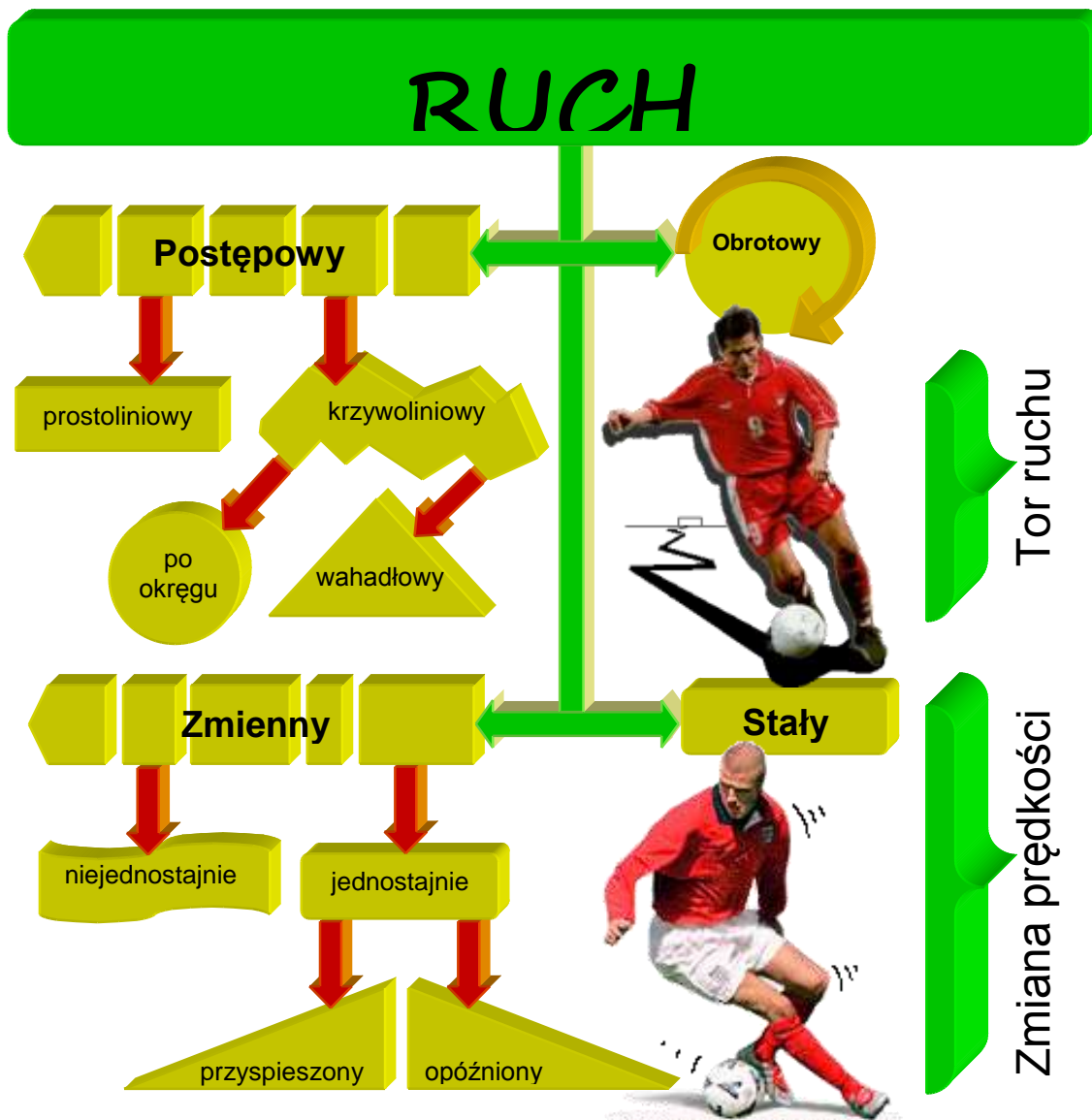
Biomechaniczna ocena układu ruchu człowieka może dotyczyć całego ciała lub jego części (Fidelus 1977). Pomiary mogą być prowadzone w warunkach statycznych lub dynamicznych. Powyższe warunki stwarzają możliwości oceny jednorodnych cech układu ruchu, np. siły, szybkości (Bober 1982, Zaciorski 1982).

Przyjmując częstotliwość dokonywania badań jako kryterium oceny, możemy wyróżnić badania jednorazowe (przekrojowe), których celem jest określenie stanu układu ruchu w danym czasie oraz badania ciągłe, prowadzone w celu określenia zmian wartości badanych parametrów w funkcji czasu. Ten drugi rodzaj badań umożliwia również poszukiwanie właściwości dynamicznych rejestrowanych zmian i współzależności między ocenianymi parametrami. (Wit 1980)

Ze względu na zakres prowadzonych pomiarów możemy wyróżnić ocenę kompleksową polegającą na rejestrowaniu dużej liczby różnych parametrów lub ocenę selektywną (wybiórczą), w której koncentrujemy się na rejestracji wybranych, ściśle określonych parametrów charakteryzujących stan danego układu. (Wit 1980)

Bezpośrednie badania ruchu są wykonywane przy wykorzystaniu przyrządów mierzących określone wielkości fizyczne, pośrednie natomiast wtedy, gdy wyniki pomiaru wymagają przeliczenia poprzez różniczkowanie, bądź całkowanie. Ma to miejsce wówczas, kiedy wielkości podstawowe służą do uzyskania wielkości pochodnych i odwrotnie. Podczas badań, w których za podstawę czasu bierze się względnie długi jego przedział uzyskujemy wartości średnie, natomiast gdy bierze się coraz krótsze przedziały czasu zbliżamy się do wartości chwilowych.

Zagadnienia kinematyki dotyczą formy ruchu, tj. drogi po jakiej przemieszcza się obserwowany obiekt względem przyjętego układu odniesienia, czasu jaki upłynął od chwili początkowej do chwili końcowej obserwacji, oraz pochodnych powyższych wielkości, czyli prędkości i przyspieszenia. Podział ruchu przedstawiono na rycinie 1.



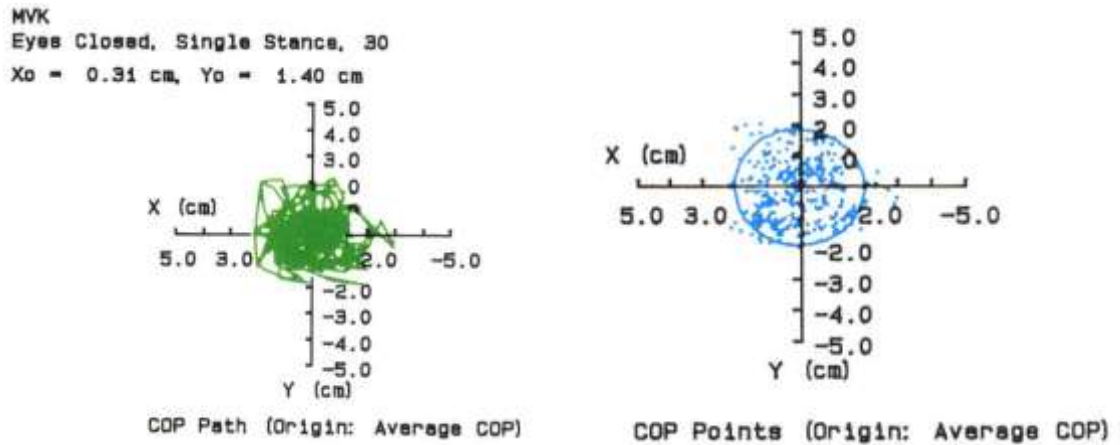
Ryc. 1. Podział ruchu

**Ruch postępowy** - wszystkie punkty obiektu zakreślają te same trajektorie w ruchu prostoliniowym lub krzywoliniowym.

**Ruch obrotowy** - odbywa się wokół trzech głównych osi (strzałkowej, czołowej, podłużnej) lub wokół osi pośrednich.

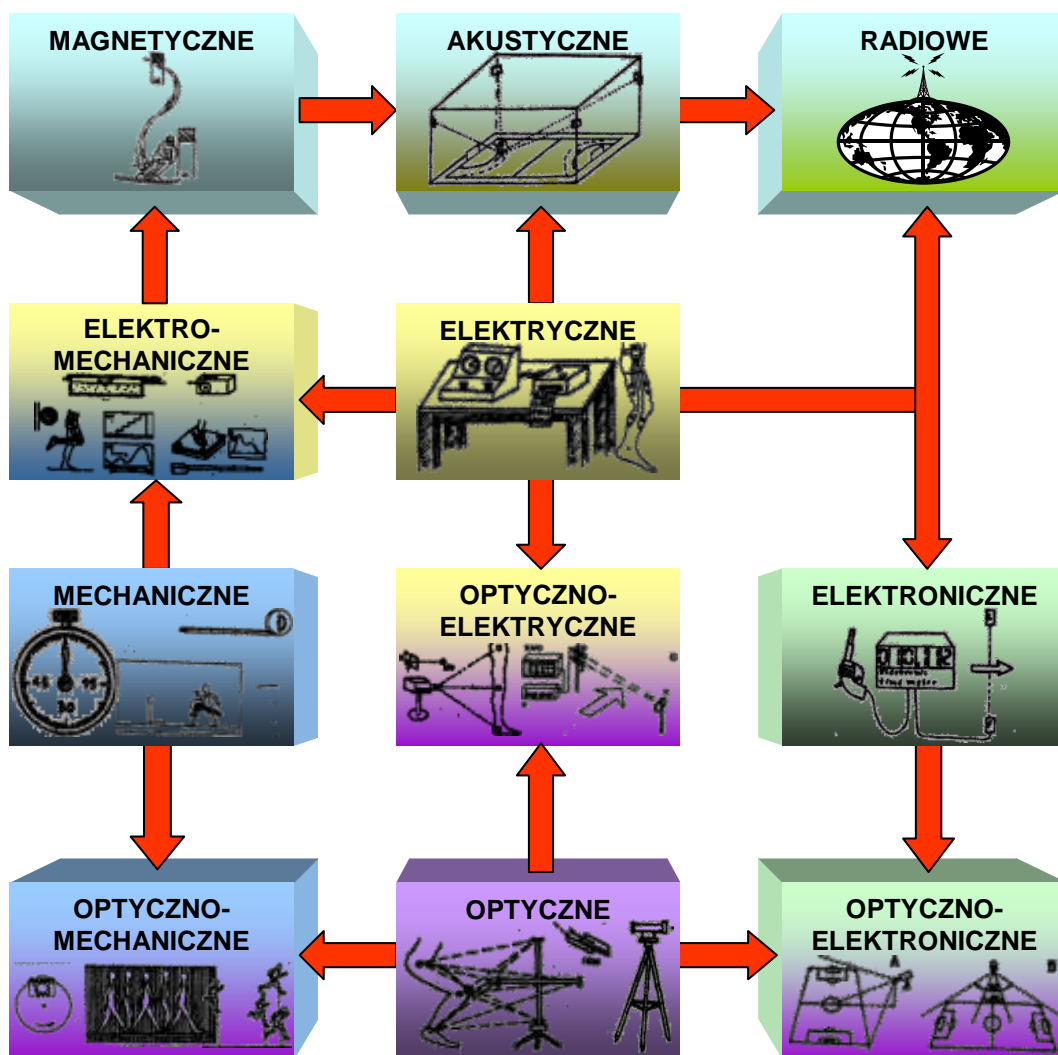
**Ruch harmoniczny (wahadłowy)** - naprzemianstronne zajmowanie przez obiekt miejsc w przestrzeni względem przyjętego układu odniesienia - płaszczyzny równowagi. Największe wychylenie od płaszczyzny równowagi nazywa się amplitudą.

**Ruch Browna (bezladne, zmienne)** - ruchy losowe, odbywające się w różnych kierunkach względem określonego układu odniesienia, gdzie średnie położenie obiektu pokrywa się ze środkiem przyjętego układu odniesienia lub jest przesunięte względem niego o stałą wartość. Przykładem takiego ruchu jest ruch rzutu środka ciężkości ciała (COG) człowieka stojącego na podłożu, czy też ruch punktu przyłożenia wypadkowej siły reakcji podłoża podczas tego samego stania (COP). Przedstawia to rycina 2.



Ryc. 2. Zarejestrowana reakcja podłoża na zachowanie równowagi środka ciężkości ciała.

Badania dotyczące ruchu wykorzystują poznane zjawiska fizyczne dotyczące: mechaniki i przewodnictwa elektrycznego ciał oraz towarzyszącemu im przejawowi do emisji lub tłumienia fal akustycznych i elektromagnetycznych (Ryc.3).



Ryc. 3. Podział metod badawczych stosowanych w biomechanice<sup>1</sup> - zmodyfikowano.

Badanie drogi może się odbywać w różnoraki sposób: mechaniczny, elektro-mechaniczny, optyczny, mechano-optyczny, elektro-optyczny. Podstawową mierzoną jednostką odległości w systemie metrycznym jest metr. W systemie anglosaskim jest nim jard, który stanowi 0,9144 metra. Przykładowo w golfie odległości są wyrażane właśnie w yard-ach. Dawniej używało się jednostki przyjęte z ciała człowieka, jak łokieć, stopa. W XIX wieku Francuzi przyjęli odległość będącą częścią południka ziemskiego i nazwali go metrem. Ta jednostka miary używana jest w systemie dziesiętnym, np. 1000 metrów wynosi 1 kilometr, lub 0,01 metra wynosi 1 centymetr. System metryczny jest podstawą jednostki długości przyjętej w Międzynarodowym Systemie Miar SI. Dzisiaj prawie wszystkie kraje świata przyjęły ten system jako prawnie obowiązujący.

<sup>1</sup> Dargiewicz R. : Informatyka w badaniach ruchu. Praca magisterska. AWF Gdańsk 1995.

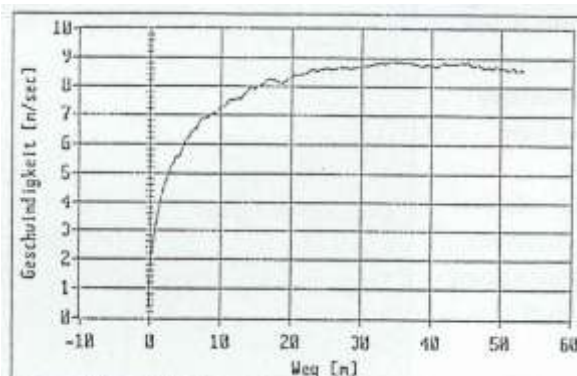
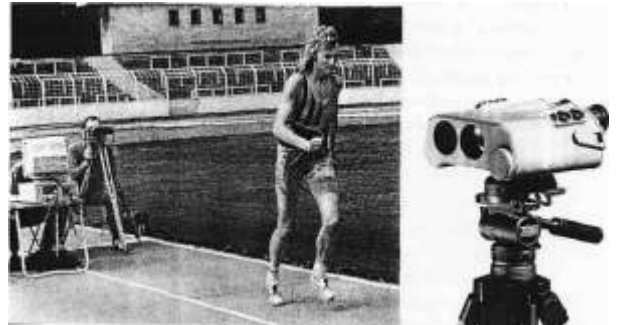
Najbardziej rozpowszechnionym przyrządem do pomiaru długości odcinka prostego jest *przymiar liniowy*, lub *przymiar taśmowy*. Innym urządzeniem może być przyrząd oparty o zliczanie obrotów koła o znanym promieniu toczącego się po badanej drodze, tak jak ma to miejsce w sporządzaniu protokołów z wypadków drogowych.

Odległości bada się też w oparciu o urządzenia optyczne, np. *dalmierze*, czy *niwelatory*, oparte o pomiary kąta. Przykładem takiego urządzenia może być tachimetr Nikon NPL-350 – ryc. 4. Jako pierwszy na świecie jest wyposażony w funkcję pomiaru odległości bez lustra, przy zastosowaniu technologii współosiowego systemu ogniskowania (coaxial focusing system). Pomiar bez lustra może być wykonany tylko do obiektu, na którym instrument jest zogniskowany.



Ryc. 4. Tachimetr Nikon NPL-350.

Najnowsze urządzenia do badania odległości w ruchu prostoliniowym to *dalmierze laserowe* – Ryc.5. Dalmierz laserowy działa na zasadzie wysyłania skupionego światła lasera z początkowego punktu pomiarowego w kierunku punktu końcowego, w którym ustawiony jest ekran umożliwiający odbicie promienia świetlnego. System laserowy LAVEG (laser velocity guard) firmy Jenoptik GmbH Jena otwiera nowe możliwości kinematycznej analizy faz przyspieszania w różnych dyscyplinach i konkurencjach sportowych (Schmaltz/Turk-Noack 1993, Perli 1991).



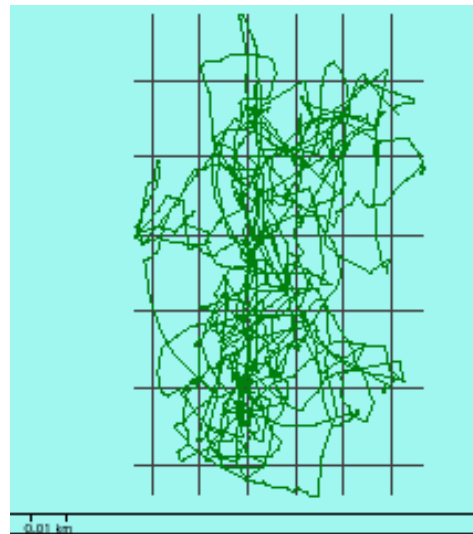
Marken-Werte	
Weg [m]	Ges [m/s]
1.00	3.306
5.00	6.161
10.00	7.204
20.00	8.313
30.00	8.692
40.00	8.709
50.00	8.657

Ryc.5.. Przykład wykorzystania laserowego systemu pomiaru odległości firmy Laveg Sport.

Najnowsze metody badania drogi wykorzystują również system pozycjonowania ziemskiego (ang. - ground positioning system, *GPS*), który działa na zasadzie przyjmowania z krążących wokół Ziemi geostacjonarnych satelitów wiązki promieniowania (z im więcej satelitów jest odbierana informacja tym bardziej dokładne wskazania). Najlepsze urządzenia (produkcji firm Trimble, Topcon, DSNP) mierzą z dokładnością mniejszą niż 1 cm na odległości do 15 km, a z dokładnością 3 cm na odległości do 50 km. Są to bardzo kosztowne instrumenty, a ich cena rośnie wraz ze wzrostem dokładności dokonywanego pomiaru. Na rycinie 6 i 7 zaprezentowano przykład takiego urządzenia wykorzystywanego w sporcie do określenia trajektorii poruszania się piłkarza nożnego.



Ryc.6.: Garmin 12XL – Odbiornik GPS.



Ryc. 7.: Trajektoria poruszania się pomocnika po upływie 45 minut meczu na podstawie telemetrii z GPS-u.(Hennig & Briele, 2000)<sup>2</sup>

Istnieje także i inny sposób badania drogi polegający na wykorzystaniu foto-urządzeń opartych o rejestrację światła odbitego od badanych obiektów. Wykorzystuje się tu *kamery fotograficzne, filmowe, telewizyjne*. W kadrze kamery wraz z badanym obiektem należy widzieć przyjęty układ odniesienia oraz element skalowania (Ryc. 8). Przy pomocy elementu skalowania można stwierdzić na ile obiekt widziany przy odtwarzaniu obrazu na ekranie został pomniejszony w stosunku do wymiarów rzeczywistych.

---

<sup>2</sup> Hennig, E. M. and R. Briele. Game analysis by GPS satellite tracking of soccer players. In CSB/SCB XI and SB XXV- Canadian Society for Biomechanics Conference. Montréal, Canada: Département de kinésiologie, Université de Montréal, p. 44, 2000.



*Ryc.8. Badania fotokinometryczne skoku w dal z miejsca.*

Wszystko, co jest poddane badaniom odbywa się w czasie. Badanie odcinków drogi wiąże się często z pomiarem czasu ruchu obiektu, szczególnie gdy obiektem jest człowiek. Pokonana droga ciała, lub jego części może dotyczyć różnych przedziałów czasu. Ruch części ciała może trwać poniżej 1 sekundy. Podobnie podczas wykonywania skoków, obrotów, czy zmian kierunku ruchów całego ciała. Są to elementy krótkotrwałe, często umykające ludzkiemu oku obserwatora. W sukurs przychodzi nam technika filmowa. Rozróżniamy wówczas składowe ruchu, fazy ruchu.

Bezlądność postrzegania oka ludzkiego polega na sekwencyjnym – po klatkowym widzeniu poruszających się obiektów. Przyjmuje się, że umysł ludzki jest w stanie rozróżnić widziany obraz co 0,05 sekundy. Daje to nam częstotliwość 24 klatek na sekundę w rozpoznawaniu tego, co widzimy. Pozostałe brakujące w sekwencji obrazy, umysł ludzki na swój sposób interpoluje w ciągłość postrzegania. Jesteśmy w stanie na podstawie dwóch obrazów obok opowiedzieć dużo o tym pomiędzy nimi, którego faktycznie nie dostrzegliśmy.

W przeważającej ilości sytuacji w sporcie zawodnik jest poddany presji czasu. W sprincie i biegach lekkoatletycznych będzie to uzyskanie jak najkrótszego czasu od momentu startu do pokonania mety. W grach zespołowych utrzymanie jak najwyższej sprawności przez określony czas trwania widowiska. Tutaj dodatkowo należy liczyć się z możliwością wystąpienia dogrywek. Dlatego też rozróżniamy ruchy kilkunasto- i kilkudziesięciosekundowe

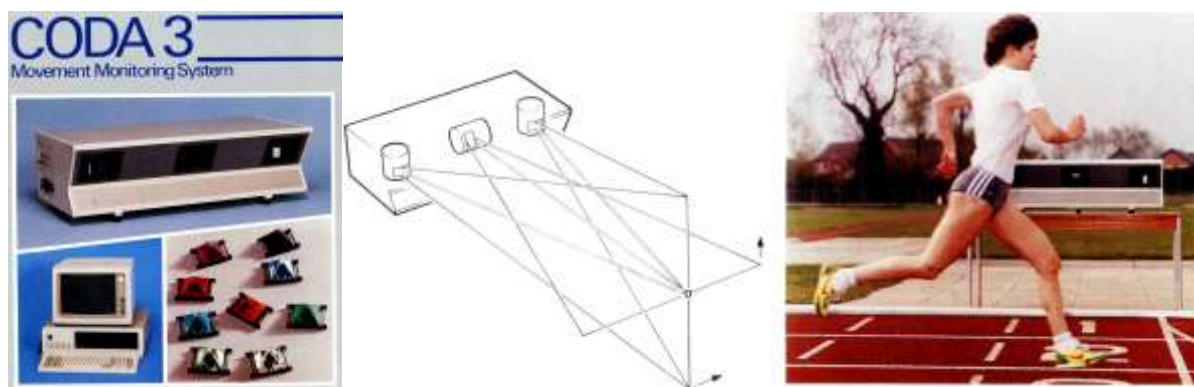
Do badania trwania czasu ruchów używa się zróżnicowanych przyrządów pomiarowych. Przykładowo do pomiaru czasu trwania doby dawniej wykorzystywano zegary słoneczne, wodne, czy znane powszechnie klepsydry z przesypującym się piaskiem.



Spuścizną takiego pomiaru czasu i niezajomość wówczas systemu dziesiętnego jest to, że do dzisiaj używamy systemu podziału doby na 24 części (godziny), a później każdej z tych części na 60 mniejszych (minuty). W epoce Odrodzenia wprowadzono pierwsze zegary mechaniczne. Dzisiaj powszechnie wykorzystuje się zegarki naręczne, kieszonkowe, a także zegary specjalne jak stopery mechaniczne. Dzięki stoperom mechanicznym można mierzyć czas z dokładnością do 0.1 sekundy. Dążenie do zwiększenia precyzji pomiaru czasu przyczyniło się w XX wieku do powstania zegarów elektrycznych i elektronicznych. Podają one czas z dokładnością do miliardowych części sekundy. Obecnie najbardziej precyzyjne są zegary atomowe podające czas z dokładnością ponad 50-ciu miejsc po przecinku.

Ruchy cykliczne analizujemy względem bieżącego czasu. Czas trwania jednego pełnego ruchu (cyklu) nazywamy okresem ( $T$ ). Następnie, stwierdzamy ile pełnych ruchów wykonano w przyjętym przedziale czasu. Przedziały czasu mogą dotyczyć: sekundy, minuty, godziny, doby. W Międzynarodowym Układzie Miar SI za przedział czasu przyjęto sekundę (s). Na niej jest oparta jednostka częstotliwości: herc (Hz). Tak więc przykładowy zapis „10 Hz” oznacza wykonanie 10 pełnych ruchów w ciągu 1 sekundy, a zapis „0.5 Hz” oznacza wykonanie połowy pełnego ruchu w ciągu sekundy, czyli jednego pełnego ruchu w przeciągu 2 sekund.

Precyzyjne pomiary czasu oparte są o wiele różnorodnych urządzeń pomiarowych. W biegach sportowych są to najczęściej zestawy fotokomórkowe złożone z oświetlacza, fotokomórki i elektronicznego miernika czasu (EMC) – Ryc. 9.



Ryc. 9. Fotokomórkowy system pomiaru czasu CODA 3

Pomiar czasu można załączyć poprzez styk elektryczny w pistolecie startowym, lub przez przerwanie strumienia światła biegnącego do fotokomórki.

Czas trwania meczu i konkretnych zdarzeń w grach zespołowych można rejestrować również przy pomocy licznika (counter) wbudowanego w kamerę wideo, jednocześnie rejestrując obraz na nośniku magnetycznym. Znając skalę pomniejszenia obrazu wyznaczoną z przyjętego układu odniesienia oraz zarejestrowany czas możemy określić prędkość ruchu

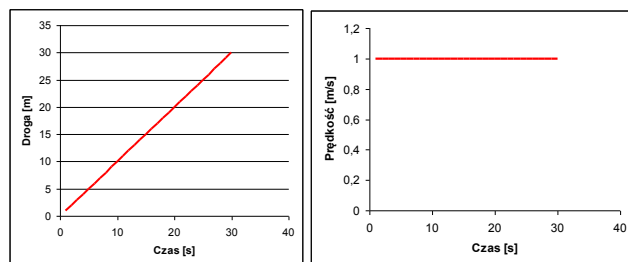


obserwowanego obiektu. Prędkość jest pierwszą pochodną drogi względem czasu. Dane o różnicy w położeniu obiektu względem przyjętego układu odniesienia oraz różnica w czasie w jakim ta zmiana nastąpiła umożliwia obliczenie prędkości średniej lub chwilowej:

- ruchu postępowego  $v_{\text{śr}} = \Delta s / \Delta t$  [m/s] gdzie:  $v_{\text{śr}}$  - prędkość średnia ruchu postępowego,  $\Delta s$  - różnica położenia (droga),  $\Delta t$  - różnica czasu (czas).
- ruchu obrotowego  $\omega_{\text{śr}} = \Delta \varphi / \Delta t$  gdzie:  $v_{\text{śr}}$  - prędkość średnia ruchu obrotowego,  $\Delta \varphi$  różnica położenia (droga),  $\Delta t$  - różnica czasu (czas).

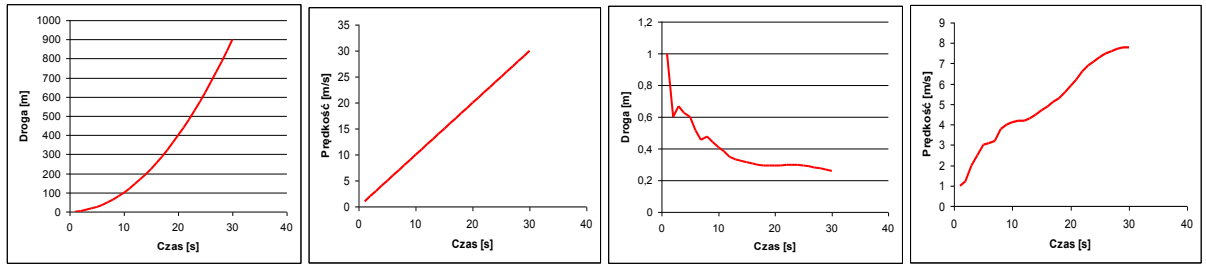
Podział wartości  $\Delta t$  na mniejsze składowe części czasu trwania całego ruchu umożliwia uzyskanie większej dokładności w pomiarze prędkości, a to z kolei zbliża nas do określenia prędkości chwilowej. Przykładowo dla obiektów poruszających się w miarę stałą prędkością przyjęcie przedziału czasu 0.001 do 0.01 s (1 do 10 ms) z dostateczną dokładnością przybliży nas do takiej prędkości chwilowej, która nieistotnie różni się od prędkości rzeczywistej (ERDMANN 2003).

Ruch obiektu może się odbywać ze stałą prędkością  $v$ . Ruch taki nazywamy jednostajnym:  $v = \text{const}$ . Wykres drogi względem czasu oraz wykres prędkości względem czasu dla ruchu jednostajnego przedstawiają ryc. 10



Ryc. 10. Wykresy prędkości stałej  $v = \text{const.} = 1 \text{ m/s}$ .

Jeżeli mamy do czynienia z sytuacją, gdzie prędkość nie jest stała  $v \neq \text{const}$ , to wówczas mówimy o ruchu zmiennym. Przy czym prędkość może zmieniać się w sposób równomierny (jednostajnie) lub w sposób nierównomierny (niejednostajnie). Wykresy ruchu ze zmienną prędkością przedstawiono na ryc. 11.

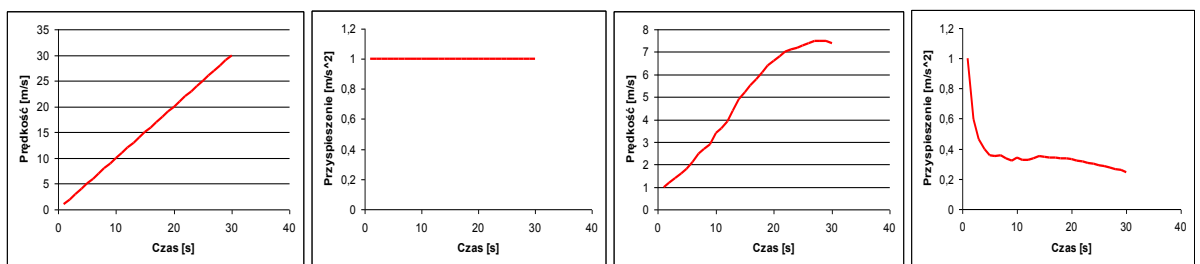


Ryc. 11. Wykresy prędkości. Dwa pierwsze od lewej – jednostajnie zmiennej, następne niejednostajnie zmiennej.

Prędkość można badać bezpośrednio lub pośrednio. Do bezpośredniego pomiaru prędkości służą *prędkościomierze* - tachografy. Używane są przeważnie pojazdach silnikowych. Uzyskane w ten sposób prędkości chwilowe po odpowiednich obliczeniach, w tym też i komputerowych, umożliwiają otrzymanie prędkości średniej. Pośrednie badania prędkości, polegające na osobnym określeniu drogi i czasu umożliwiają uzyskanie tylko wartości średnich prędkości. Mierzone są również różnice prędkości oraz czas w jakim zaszła ta zmiana. Te dane stanowią podstawę do obliczenia drugiej pochodnej drogi i czasu - przyspieszenia ruchu. Wyróżniamy przyspieszenie średnie i przyspieszenie chwilowe.:

- ruchu postępowego -  $a_{\text{śr}} = \Delta v / \Delta t$  [m/s<sup>2</sup>], gdzie:  $a_{\text{śr}}$  - przyspieszenie średnie ruchu postępowego,  $\Delta v$  - różnica prędkości,  $\Delta t$  - różnica czasu.
- ruchu obrotowego -  $\alpha_{\text{śr}} = \Delta \omega / \Delta t$ , gdzie:  $\alpha_{\text{śr}}$  - przyspieszenie średnie ruchu obrotowego,  $\Delta \omega$  - różnica prędkości,  $\Delta t$  - różnica czasu.

Możliwe jest też uzyskanie, podobnie jak wartość  $\Delta t$  ma się w przypadku prędkości chwilowej, przyspieszenia chwilowego ruchu. Taki ruch może się odbywać ze stałym przyspieszeniem ( $a = \text{const.}$  - ruch jednostajnie zmienny), lub z przyspieszeniem zmiennym ( $a \neq \text{const.}$  - ruch niejednostajnie zmienny). Przykłady takich przyspieszeń reprezentują wykresy na ryc. 12.



Ryc. 12. Wykresy przyspieszenia. Dwa pierwsze od lewej – w ruchu jednostajnie zmiennym, następne ruchu niejednostajnie zmiennym.

Podobnie, jak w badaniach prędkości ruchu, przyspieszenie można badać bezpośrednio i pośrednio. Urządzenia mierzące te wartości zwane *przyspieszeniomierzami* lub *akcelerometrami*. Wykorzystuje się tu prawa fizyczne z zakresu bezwładności i sprężystości ciał.

Często poczynaniom człowieka towarzyszy pojęcie szybkości. Mówimy, że coś jest szybkie, lub wolne. Przykładowo w biegu sprinterskim pierwszy zawodnik na mecie był szybszy, a każdy kolejny stosunkowo wolniejszy od niego. Z pojęciem szybkości powiązany jest czas trwania określonego zdarzenia. Innym przejawem używania „szybkości”, jako wytycznej mówiącej o formie sportowej, jest przykład podany przez prof. Chmurę (2003). Przykładowo porównując dwóch piłkarzy nożnych, który z nich biegnie szybko?, można użyć ich parametrów fizjologicznych określających próg przemian beztlenowych – AT (Anaerobic Treshold) w stosunku do prędkości biegu, w którym organizm przekracza ów próg. Załóżmy, że zawodnicy posiadają różne progi AT w biegu. Pierwszy poruszając się z prędkością 3,8 m/s, a drugi 4,3 m/s. Teraz przyjmijmy, że obaj zawodnicy poruszają się z prędkością 4 m/s. U pierwszego z nich można powiedzieć, że porusza się szybko (szybki bieg), gdyż przekroczył o 0,2 m/s swój próg AT i utrzymanie takiej prędkości biegu stanowi mu większy wysiłek. Drugi porusza się „wolno” (o 0,3 m/s poniżej swego progu AT), gdyż jego intensywność pracy pozwala jeszcze na restytucję tlenową i utrzymanie takiej prędkości biegu może być dłużej kontynuowane w stosunku do porównywanego zawodnika.

Pojęcie szybkości jest więc pojęciem nadrzędnym nad krótkim czasem myślenia, krótkim czasem reakcji, nad prędkością, nad przyspieszeniem. Pojęcie to odnosi się jednak tylko do tych działań człowieka, co do których uważamy, że zostały wykonane w czasie krótszym od średniego czasu wykonywania danej czynności, a często w czasie bliskim czasu rekordowego. Pojęciem przeciwstawnym do pojęcia „szybki” jest pojęcie „wolny”. Używamy więc pojęć: wolne myślenie, wolne reagowanie, wolna jazda (mała prędkość), wolne nabieranie prędkości (małe przyspieszenie) (Erdmann 2003).