

# 3D biomechanická analýza v atletice

**Martin Sebera, Stanislav Joukal\*, Martin Zvonař**

Fakulta sportovních studií Masarykovy univerzity, \*Sportovní gymnázium Brno

Zpracování obrazu může být prováděno za různým účelem (analýza povrchu, rozpoznávání obrazců, určování velikosti atd.). V našem případě se budeme zabývat kinematickou analýzou. Výsledná data (prostorové souřadnice) mohou být použita pro pozdější zpracování v programech zabývajících se designem a animací.

Na atletických závodech již není neobvyklá přítomnost kamer různých kvalit, různých značek a různého počtu. Diváci, rodiče, trenéři nebo pověření členové realizačního týmu provádějí videozáznam většinou za účelem archivace a mnohdy i pro získání zpětné vazby z natočeného materiálu. S rostoucí oblibou audiovizuální a výpočetní techniky roste i zájem sportovců a jejich týmů o biomechanickou analýzu za účelem vyhodnocení a vylepšení technického provedení pohybu. Vzdělávací instituce (CASRI Praha, tělovýchovné a sportovní fakulty), které jsou úzce napojeny na sport, tento trend zachycují a nabízejí závodníkům různé možnosti. Na Fakultě sportovních studií Masarykovy univerzity se této problematice věnují členové Katedry kinantropologie a oddělení atletiky Katedry sportovní edukace ve spolupráci se Sportovním gymnáziem Brno a to pomocí systému SIMI Motion ([www.simi.com](http://www.simi.com)). Brněnská fakulta úzce spolupracuje se Sportovním gymnáziem L. Daňka, mimo jiné s tréninkovou skupinou Stanislava Joukala. Dálkařská skupina představuje aktuálně českou špičku. Jména jako Štěpán Wagner (osobní rekord 811 cm), Roman Novotný (791 cm), Petr Lampart (818 cm), Milan Pírek (741 cm) jsou velmi zvučná, neboť výkony kolem 8 m již představují světovou úroveň. Biomechanická 3D analýza přispívá k přesnému a podrobnému posouzení techniky s možností odhalení slabých i silných stránek v technickém provedení a následný rozbor může poukázat na klíčové faktory ovlivňující konečný výkon. Tento článek popisuje možnosti využití systému SIMI Motion pro 3D biomechanickou analýzu v skoku do dálky.

## Zpracování obrazu

Ve srovnání s většinou ostatních metod měření má analýza obrazu tu výhodu, že nemá přímý negativní dopad. To znamená, že stanovení kvantitativních rozměrů prostřednictvím měřicího systému nemá žádný dopad na chování měřeného objektu a to protože samotné měření není prováděno na konkrétním objektu, ale na jeho obrazu.

Pro nejjednodušší měřicí techniku představuje tento fakt jednu nevýhodu: trojrozměrný objekt je zobrazen ve dvou dimenzích. Tato nevýhoda je akceptovatelná, jestliže máme zájem pouze o dvě dimenze (2D analýza), např. pro určení nejvyššího skoku, rozběhové rychlosti při skoku dalekém nebo odrazový úhel. Při nahrávání těchto pohybů je důležité, aby tyto pohyby byly kompletně popsány v jedné rovině. Abychom se vyhnuli chybám plynoucím z toho, že se určité části těla pohybují mimo rovinu pohybu, kamera by měla být umístěna dostatečně daleko od této roviny pohybu. Fyzikální rozměry zaznamenané tímto měřením jsou v prvé řadě kinematografickými rozměry (vzdálenost, čas, rychlost, zrychlení, úhly).

## Kinematická analýza

Pohyb je z fyzikálního hlediska chápán jako změna souřadnic v určitém časovém rozpětí. Tento souřadnicový systém může být nejprve libovolně zvolen a následně upraven. Jsou zde však dva základní požadavky:

- souřadnicový systém
- časové údaje

## **Souřadnicový systém**

Slouží ke stanovení vztahu mezi aktuálními (reálnými) řádovými hodnotami, přičemž záběr je vyhodnocen později. Pojem souřadnicový systém je stejně jako pojem kalibrační systém běžným tématem, vyskytující se v literatuře, pojednávající o zpracování obrazu. Tyto dva pojmy spolu souvisejí následujícím způsobem. Kalibrační systém vymezuje prostor (ve tří-dimenzionální analýze), nebo plochu (ve dvoudimenzionální analýze), kde se odehrává pohyb. Souřadnicový systém je matematický prostředek, pomocí něhož je možné vypočítat skutečné prostorové rozměry.

Pro osobu provádějící měření není vztah mezi kalibračním a souřadnicovým systémem důležitý. Tento vztah je pevně stanovený softwarem, který zpracovává prvotní data. Jako kalibrační systém lze použít dvě měřicí tyče známé délky, které jsou navzájem kolmé a dobře viditelné na záběru. Měly by samozřejmě být na místě (nebo přinejmenším v bezprostřední blízkosti místa), kde se daná akce odehrává.

Je dostačující, pokud je kalibrační systém viditelný pouze na jednom obrázku, jestliže je zajištěno, že po nastavení kamery (ohnisková vzdálenost, pozice, zaostření, ohnisková rovina) už toto nebude změněno.

## **Časové údaje**

Sdělují nám detaily o tom, kdy byl záběr pořízen. Tato informace může být uvedena buď jako absolutní hodnota (např. 3. ledna 2007 ve 4:27, 12 sekund a 312 milisekund) nebo jako relativní hodnota (0,01 sekund po předchozím záběru). Pro většinu otázek týkajících se kinematické analýzy je důležitější relativní časová hodnota. Je to dáno frekvencí snímků použitého nahrávacího systému. Pro běžném videonahrávání se jedná o 25 kompletních snímků za sekundu, nebo 50 políček za sekundu (PAL), nebo 30/60 (NTSC). Poznámka: Pro nahrávání pohybu je možné použití vysokorychlostních kamer se frekvencí až 500 snímků za sekundu. Systém SIMI Motion nabízený Fakultou sportovních studií umožňuje snímání pohybu frekvencí až 500 snímků / s.

## **Dvou- a tří-rozměrné nahrávky**

Jestliže je pohyb nahráván pouze jednou kamerou, pak může být uspokojivých výsledků dosaženo pouze ve dvourozměrné rovině. Úsilí spojené se získáním třírozměrných výsledků je značné a musí být provedeny jisté předpoklady, což může vést k podstatnějším nepřesnostem.

K řešení problémů ve 2D je nutné následující vybavení:

- jedna kamera
- kalibrační systém, který se skládá ze dvou měřících tyčí známé délky, které jsou vzájemně v pravém úhlu

K řešení problémů ve 3D je nutné následující vybavení:

- nejméně dvě kamery, jejichž optické osy by měly být v úhlu mezi 60 a 120 stupni
- tyto dvě kamery by měly být schopny současného snímání záběrů
- kalibrační systém, který je tvořen prostorovým 3D objektem (kvádr, jehlan, krychle atd.). Pozice rohů tohoto 3D objektu musí být známá.

## **Problémy související s analýzou obrazu**

Poté co byl pohyb nahrán, může být provedena analýza záběru. Abychom ji mohli provést, musí být určeny body na těle a nebo body, které jsou určitým způsobem důležité pro vykonání pohybu. Použitými body na těle jsou většinou průsečíky kloubních os, nebo jejich středy. Při tomto určování můžeme narazit na tři hlavní zdroje chyb:

- osy kloubů nemohou být jasně definovány
- průsečíky os nelze na záběru jasně rozlišit
- průsečíky jsou skryty za ostatními částmi těla a na záběru nejsou viditelné

## Řešení

- pouze precizní znalost anatomie může minimalizovat tuto chybu
- průsečíky lze označit jasně kontrastní barvou
- střed kloubů musí být interpolován, popřípadě odhadnut

## Chyby a tolerance chyb

- chyby v určování časového rozpětí mezi jednotlivými snímky záznamu
- chyby v určování pozice měřených bodů
- kumulativní chyby, které nastanou, když k výpočtům použijí nesprávné hodnoty, např. rychlost = vzdálenost / čas, přičemž naměřené hodnoty vzdálenosti i času jsou obě nepřesné.

Rozsah těchto chyb může být vyjádřen jako matematická funkce citlivosti použitého filmu, přesnosti snímací metody, přesnosti určení ohniskových bodů při měření, chyb vzniklých při zaznamenávání času atd. Různorodost těchto faktorů ukazuje, jak komplikované mohou tyto výpočty být.

V praxi je dostačující, že tolerance chyb jsou zjištěny s odvoláním na známé vnější hodnoty. Jestliže je například známá hodnota vzdálenosti mezi vrchním hlezenním kloubem a kolenním kloubem, potom musíme dospět ke stejné hodnotě i po sejmutí obrazu a provedení výpočtů.

## Zobrazení dat

Sledovat lze jednotlivý bod, spojnice bodů a těžiště. Je možné zvýraznit tyto spojnice a sledovat je během pohybu. Například spojnice mezi kyčlí a kolenem může být v průběhu určité fáze pohybu vyobrazena v jiné barvě.

Existují různé typy těžiště pro různé pohybové sekvence. Pro každý model je požadován určitý počet bodů. To znamená, že body specifikace musí být nejprve přiřazeny k bodům daného modelu. Určování těžiště je matematickým odhadem a je založeno na zkušenostech a naměřených hodnotách. Přesné parametry pro výpočet těžiště jsou pro každého člověka rozdílné, takže s použitím jednoho modelu pro různé typy lidí (muži/ženy, dospělí/děti nebo sprinteři/vytrvalci) by se mělo zacházet opatrně. Je možné chybu minimalizovat pomocí software doplňku, jež umožňuje získání parametrů určité osoby na základě individuálních měření (váha, výška, měření hrudního koše, šíře zad, délka nohy atd.)

Následné zobrazení modelovaných dat v libovolné ose x, y, z 3-rozměrného prostoru, spolu se sledováním jednotlivých charakteristik – vzdálenosti, rychlosti, zrychlení, úhly se sledováním vlastního provedení sportovního výkonu dává do rukou trenéra velmi (účinný) mocný nástroj na posouzení individuální technické vyspělosti atleta.

## Použití

### Identifikace bodů

3D biomechanickou analýzu lze provést v reálném závodě i na tréninku. Pro lepší identifikaci tzv. bifurkačních bodů jsou atletovi připevněny na vybrané části těla reflexní body, které budou sloužit jednak pro snazší rozpoznání pohybu jednotlivých segmentů z videozáznamu a jednak pro výpočet těžiště. Gubitzův model výpočtu těžiště vyžaduje informace o těchto bodech: hlava, levé a pravé rameno, levý a pravý loket, levé a pravé zápěstí, levý a pravý kyčel, levé a pravé koleno, levý a pravý kotník. V závodě není možné na atleta připevnit žádné reflexní body, vyhodnocení je posléze jen pracnější, není možné využít automatického trackování a automatického rozpoznání pomocí specializovaného software.

### Vyhodnocení

Vyhodnocení provádíme s trenérem, kdy máme k dispozici velké množství informací.

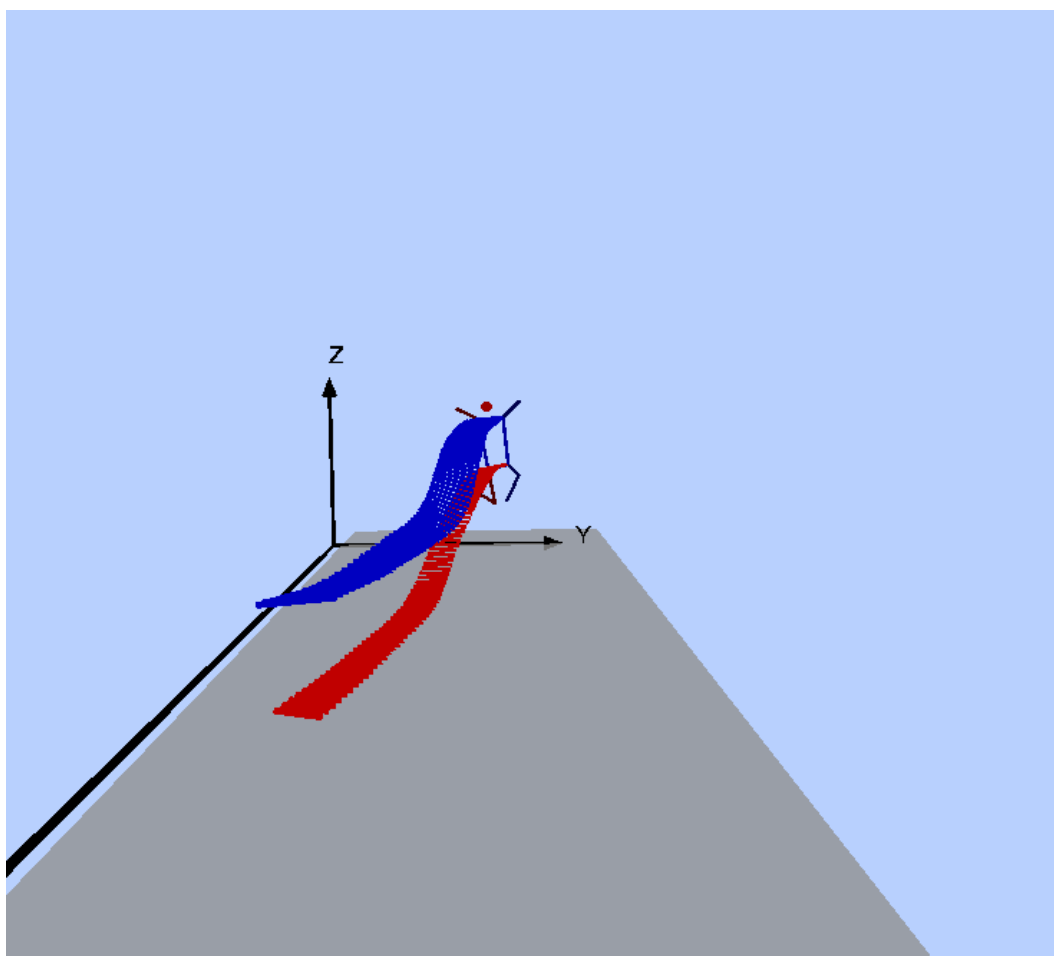
- délkové, úhlové, časové a rychlostní (zrychlení) charakteristiky jednotlivých segmentů těla, resp. těžiště,

- jsme schopni sledovat úhly a postavení jednotlivých segmentů před, při a po odraze, úhly odrazu a vzletu, postavení a vzájemnou polohu segmentů.
- dráhu těžiště, resp. jednotlivých segmentů v průběhu celého skoku
- poklesy rychlosti před odrazem, po odraze
- dráhy, rychlosti a zrychlení v jednotlivých osách X, Y a Z

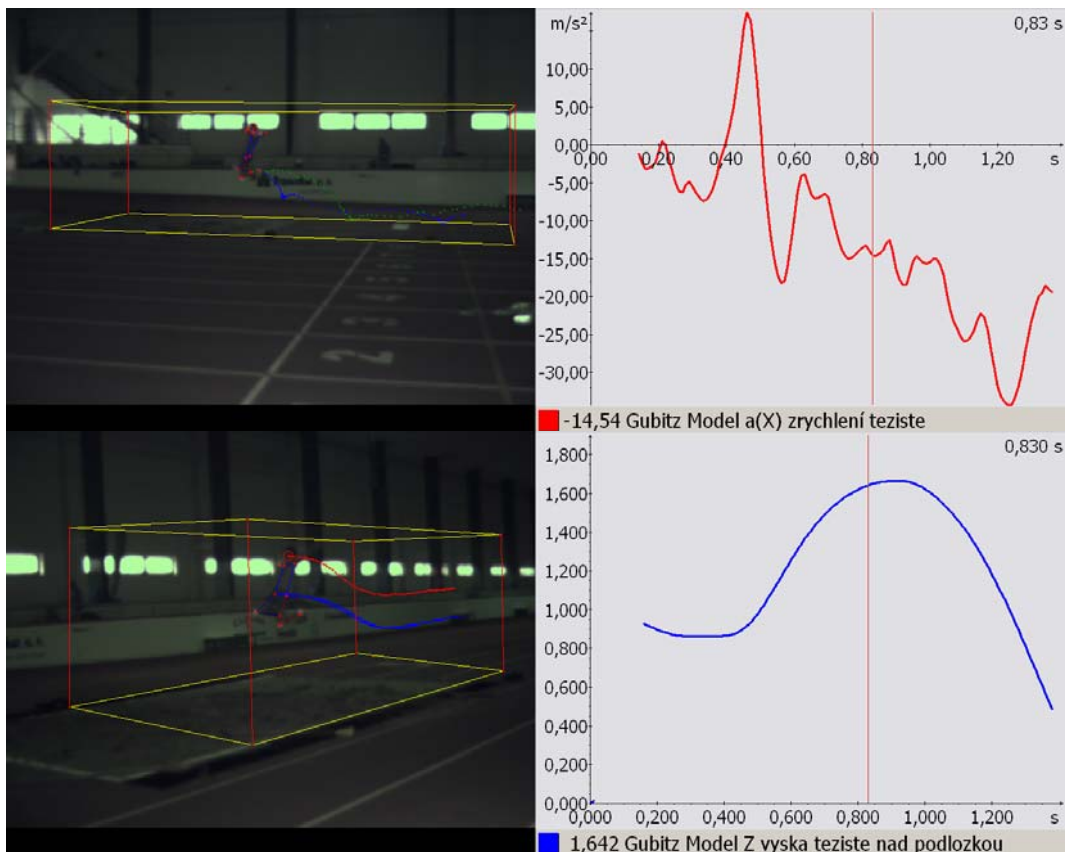
## Výsledek analýzy

- 3D model pohybu s možností náhledů a pohledů z jakékoliv perspektivy
- individuální biomechanická charakteristika skokana
- možnost srovnání dvou špičkových skokanů, hledání jejich silných a slabých stránek
- možnost duálního porovnání parametrů výkonu, např. před zraněním a po zranění
- hledání silných a slabých stránek vlastního výkonu
- kinogram

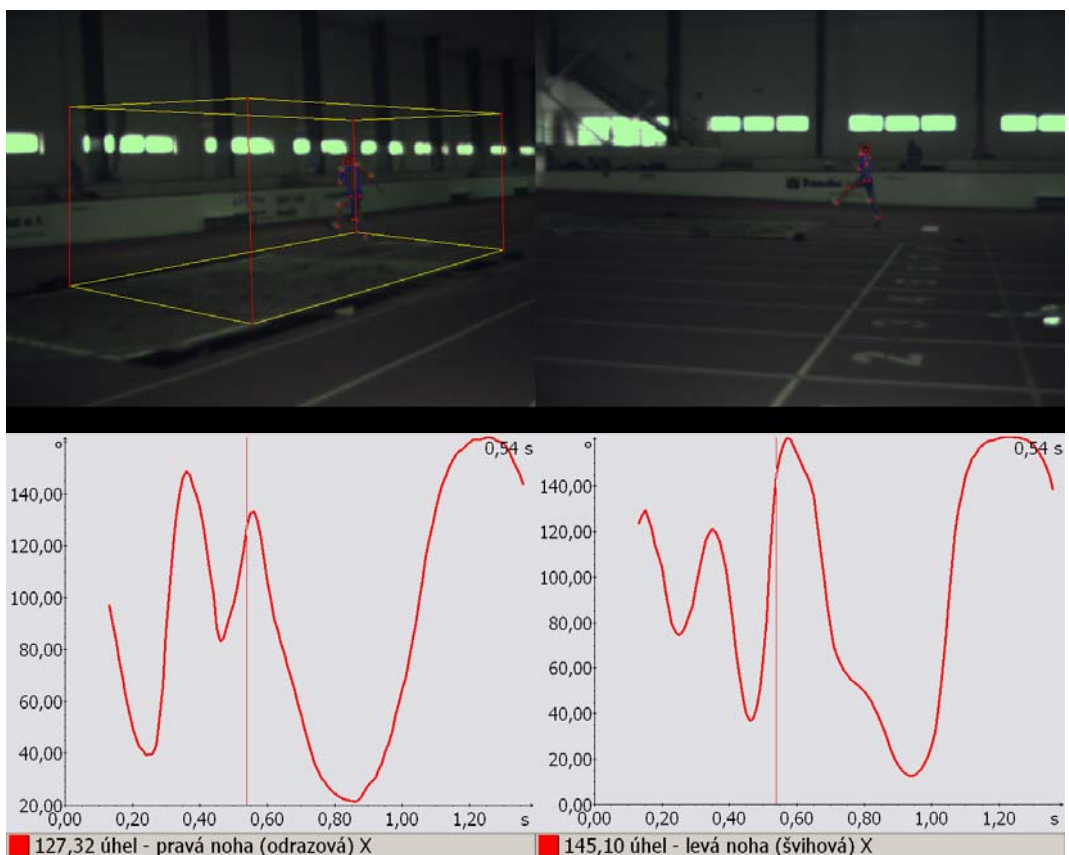
Sílu nástroje SIMI Motion demonstrujeme na skoku Milana Pírka v období týden před halovým Mistrovstvím ČR 2007 jednotlivců. Na příkladě ukazujeme několik grafických výstupů. Nezávislou proměnnou zde představuje časová osa, kdy všechny grafy ukazují aktuální hodnoty ve stejném časovém okamžiku: 3D čárový diagram v dopředném směru; pohled v předozadním směru; graf rychlosti těžiště v dopředné ose; změna úhlu mezi kotníkem, kolenem a kyčelním kloubem; reálný pořizovaný záznam. S časovým odstupem 1 setiny sekundy můžeme sledovat nástup a synchronizaci jednotlivých segmentů těla a další parametry, které trenér může porovnávat a vyhodnocovat jen na základě přímého pozorování.



Obr. 1 Dráha ramen (modrá) a kyčlí (červená)



Obr. 2 Zrychlení těžiště (vpravo nahoře) v průběhu skoku s vizualizací výškou těžiště (vpravo dole) společně se stopou levého a pravého kotníku (vlevo nahoře) a ramen a kyčlí (vlevo dole)



Obr. 3 Sledování úhlů v kolenní odrazové a švihové nohy

## Závěr

Uvedený způsob 3D biomechanické analýzy můžeme považovat za posun v přesnosti modelování sportovního výkonu. Důležité pro vlastní vyhodnocení je i ta skutečnost, že komplexní analýzu jsme schopni poskytnout trenérovi během několika desítek minut, což představuje velmi rychlou zpětnou vazbu, která se stává dalším limitujícím faktorem při hledání potřebných centimetrů, či setin sekundy. V některém z dalších pokračování poskytneme čtenářům podrobné analýzy. Např. srovnání techniky skoku do dálky brněnských atletů Wágnera, Novotného a Pírka z tréninkové skupiny Stanislava Joukala.

## Literatura

- Manuál SIMI Motion. SIMI Reality Motion Systems GmbH. [www.simi.com](http://www.simi.com)
- Janda, P. *Problematika Motion Capture*. UK Praha. MatFyz.
- Janura, M. – Zahálka, F. *Kinematická analýza pohybu člověka*. Olomouc: 2004 1. vyd. ISBN 80-244-0930-5
- Sebera, M. *Využití multimediálních prostředků v práci trenéra atletiky*. Brno: MU. 2006. 1. trenérské třídy atletiky. Závěrečná práce.
- Sebera, M. – Michálek, J. – Cacek, J. – Lajkeb, P. Jednoduchá biomechanická analýza během 3 minut. *In Atletika 2006*. FTVŠ UK Bratislava. ISBN: 80-89257-01-1, s. 191-195