MASARYKOVA UNIVERZITA BRNO
FAKULTA SORTOVNÍCH STUDIÍ

SEMINÁRNÍ PRÁCE

předmět bp1054 Biomechanika

Téma:

Biomechanická analýza hodu oštěpem

Obor: SEBS, 3. sem.
listopad 2012
Josef Hort
UČO: 392528

Obsah

Úvod 2
1 Současné řešení problematiky 2
2 Kinematická analýza 4
2.1 Oštěpař 4
2.2 Oštěp 5
3 Dynamická charakteristika daného problému 8
Kinogram s rozborem sil poslední mikrofáze odhodu oštěpu: 8
3.1 Uplatněné zákony a vzorečky 9
4 Cíle a úkoly výzkumu 11
5 Metody výzkumu 11
6 Závěry, doporučení do praxe 13
7 Zdroje 14
Literatura 14

Úvod

Jako téma seminární práce jsem si vybral hod oštěpem. Je to atletická disciplína, která má svůj původ ve vojenském výcviku starých Řeků, byla i součástí starověkého olympijského pětiboje. Existují tři různé styly držení oštěpu. Většina nejlepších oštěpařů používá finský styl. Nářadí se drží mezi palcem a třemi posledními prsty, zatímco ukazováček je vespod. Aby hod platil, musí oštěp letět do kruhové výseče vymezené bílými čarami. Musí rovněž dopadnout hrotem napřed, není však nutné, aby se zabodl do země (ale musí zanechat stopu). Ženský oštěp je kratší a lehčí než mužský typ (váží 600 g oproti 800 g u mužského oštěpu). Před úpravou těžiště oštěpu drželi svět. rekord Němci Uwe Hohn (104,80m z r. 1984) a Petra Felkeová (80,00 m z r. 1988). A právě přehození fotbalového hřiště Hohnem vedlo IAAF v dubnu 1986 k rozhodnutí posunout těžiště o 4 cm dopředu, čímž jednak došlo ke zkrácení vzdálenosti hodů o cca 10% a současně též k větší eliminaci případů, kdy oštěp dopadl naplocho a nezapíchl se, kvůli čemuž dříve vznikaly spory o platnosti či neplatnosti takových hodů. U ženského oštěpu bylo o posunutí těžiště rozhodnuto v roce 1999.
Držitelem světového rekordu v hodu oštěpem je český fenomén této disciplíny Jan Železný s rekordní délkou hodu 98,48 m z roku 1996. Železný je jeden z nejlepších oštěpařů historie, třikrát vyhrál olympijské hry i mistrovství světa, vytvořil šest světových rekordů a z 10 nejdelších hodů mu patří plných šest. Přes devadesát metrů hodil 54 x (přičemž žádný jiný oštěpař nehodil devadesát metrů víc než desetkrát). Rychlost oštěpu při odhodu údajně u Železného přesáhla i 100 km/h. V červenci 2006 se tento český atlet stal opět světovým rekordmanem, když v kategorii nad 40 let přehodil jako první v historii 85 metrů (výkonem 85,08 m). Také v ženské kategorii je držitelkou světového rekordu (72,28 m) česká oštěpařka Barbora Špotáková (od roku 2008).

1 Současné řešení problematiky

- **Miroslav Janura – Kinematická analýza pohybu člověka**

  Zkoumá pohyb člověka, jeho různé modifikace a varianty které patří k jednomu ze základních směrů, jehož zkoumání věnují pozornost představitelé různých vědních oborů již stovky let.

- **Vladimír Karas, Stanislav Otáhal, Petr Sušanka - Biomechanika tělesných cvičení**

  Zabývá se nejen vývojem biomechaniky, ale i samotným měřením a vyjadřováním pohybu, pohybu cvičence z několika hledisek, např.: kinematické geometrie, působících sil, pohybu v prostoru a času.

- **Vladimír Karas – Biomechanika pohybového systému člověka**

  Zkoumá komplexně biomechaniku struktury a chování pohybového systému člověka při volní motorické činnosti.

- **Jiří Šimon a kol. - Atletické vrhy a hody**

  Zabývá se vrhačskými disciplínami jako specializovanou sportovní činností – od přípravy a plánování tréninkového procesu až po metodiku a techniku nácviku jednotlivých vrhů a hodů.

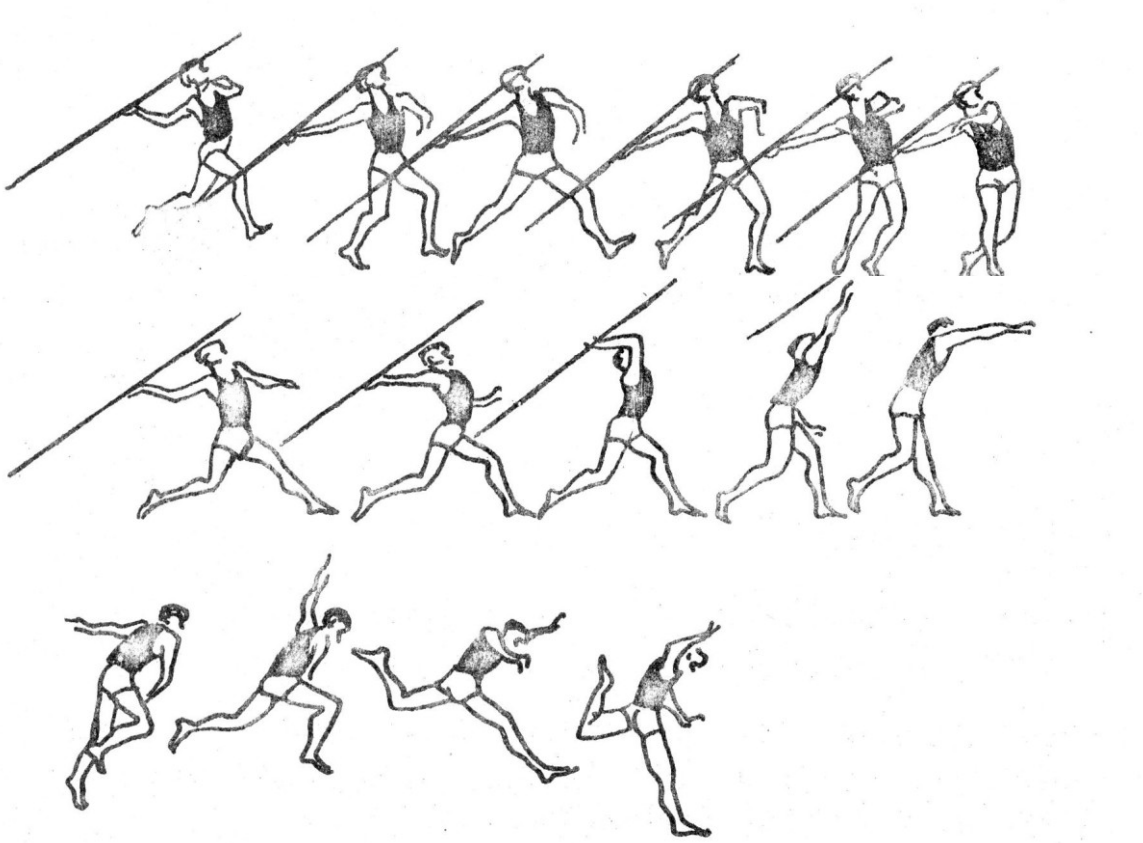
- **Jarmila Segeťová - Vrhy – Hody**

  podrobně představuje jednotlivé vrhačské disciplíny (vrh koulí - sunem i otočkou, hod diskem, oštěpem i kladivem). Vedle správné techniky prezentují naši přední závodníci širokou škálu průpravných a v neposlední řadě speciálních posilovacích cvičení**.**

2 Kinematická analýza

2.1 Oštěpař

Hod oštěpem má 3 základní pohybové fáze: **rozběh**, **vlastní hod** a **přeskok**.



Obr1: 3fáze hodu oštěpem

1. Rozběh:

Délka rozběhu je v průměru 26-30 m u mužů, u žen je to přibližně o 3 m méně. Rychlost rozběhu v jeho závěrečné části se pohybuje u mužů v rozmezí 6-8 m/s. Rozběhová rychlost u žen je nižší. Rozběh musí být přesně vyměřen. Oštěpaři zpravidla umísťují u rozběžiště dvě značky - na začátku rozběhu výběhovou a ve vzdálenosti 7-12 m od břevna nápřahovou. Při délce rozběhu 30 m připadá na úvodní část rozběhu 20-22 m, tj. v průměru 7-11 nebo 8-12 běžeckých kroků. Záleží na tom, kterou nohou oštěpař vybíhá. Vzdálenost nápřahové značky od břevna je závislá na počtu předodhodových kroků a rychlosti lokomoce oštěpaře. Rozběh se plynule zrychluje od výběhové k nápřahové značce. S rostoucí rychlostí se mění délka a frekvence kroků. Oštěpař dosahuje zpravidla optimální rychlosti přibližně dva kroky před nápřahovou značkou. V následujících fázích hodu se snaží tuto rychlost udržet, popřípadě ji ještě vystupňovat. Na úroveň nápřahové značky došlapuje buď levou nebo pravou nohou. Velmi často je začátek nápřahové značky signalizován zdůrazněním odrazu na této značce (Šimon, 2004).

2. Vlastní hod:

Trup se dostává nad levou nohu (pravá je již tažena za tělem špičkou po zemi), následuje prudké trhnutí trupu vpřed a pravého raněna vzhůru vpřed, tj. oštěpař se dostal pod oštěp a tlačí hrudník vpřed, jako když se do oštěpu zavěsí, hlava pomáhá přirozeným držením - nesmí se zaklonit! Tímto pohybem - nejrychlejším ze všech - je stržena pravá paže k provedení bleskového švihu. Loket je vytočen pod oštěp do směru hodu, švihnutí končí prudkým sklopením ruky v zápěstí. Levá paže pomáhá celému pohybu, prudkým pohybem vlevo dolů „otevírá“ trup, pohyb končí u levého boku (nikdy nepokračuje vzad); Celá levá strana tvoří pevný blok, o který se házející paže opírá (Bartušek, 1968).

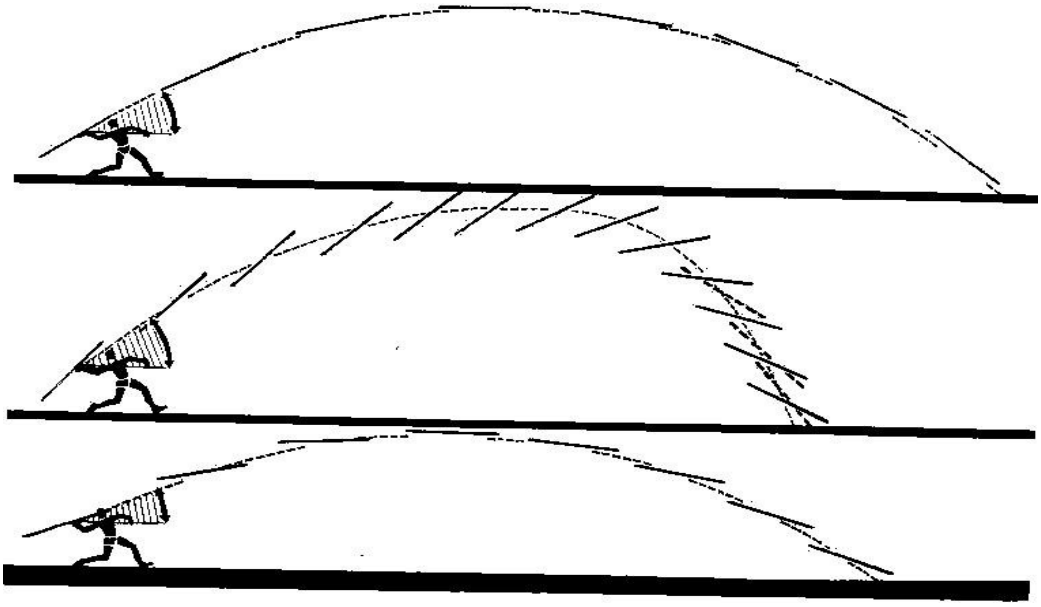
3. Přeskok:

Setrvačností rozběhu a závěrečného pohybu trupu pokračuje oštěpař přes vzpírající levou nohu dál, až do výskoku. Přepadávající tělo podchytí pravá noha. Výskok se mění v přeskok, levá noha zanožuje a spolu s levou paží pomáhá udržet rovnováhu. Rozběh musí být vyměřen tak, aby přeskok nebyl prováděn příliš blízko u odhodového břevna - obavy z přešlápnutí by se nepříznivě projevily při odhodu. Také ale ne příliš daleko, hod se měří až od oblouku a závodník by se poškozovalo. Nejlépe je to ve vzdálenosti 2- 2,5m od oblouku. Znovu je třeba zdůraznit, že nejen technika jednotlivých pohybů, ale především jejich rytmus je rozhodující. Všechny pohyby musí být postupně zrychlovány. Oštěpař před odhodem má rychlost asi 5 - 7m/s, ale počáteční rychlost oštěpu je 25 – 30 m/s. (Bartušek, 1968).

2.2 Oštěp

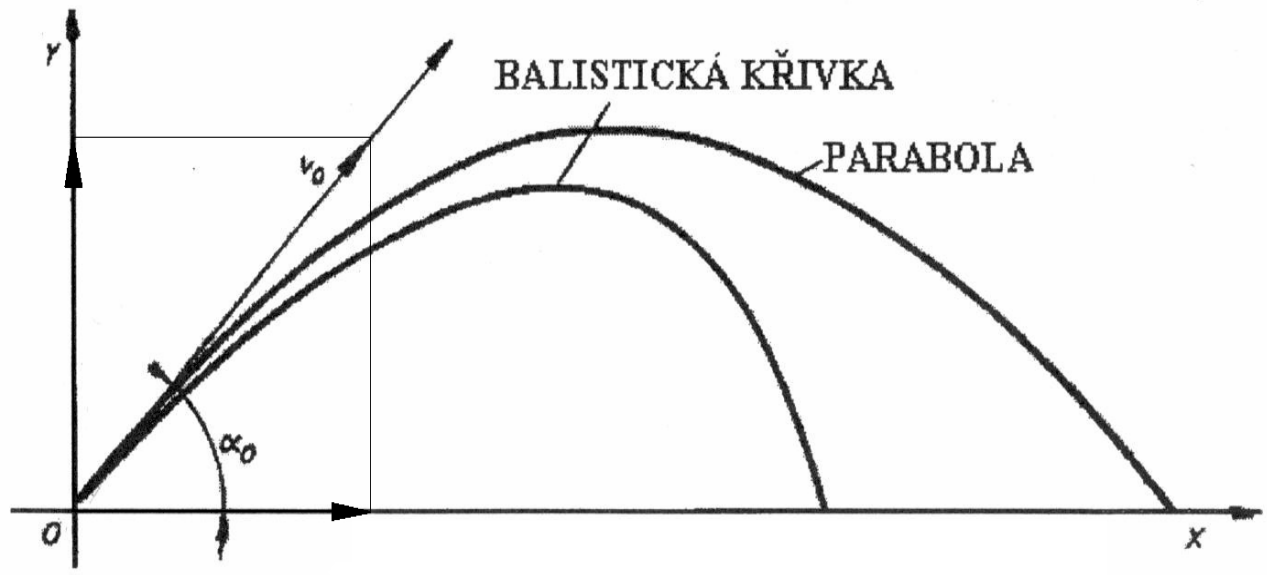
V odhodové fázi může oštěpař působit svou silou na oštěp daleko účinněji ve směru vodorovném než ve směru vzhůru. Počáteční rychlost letu oštěpu je výslednicí (je určena směrem i velikostí) vektorového součtu dvou složek: vodorovné a svislé. Zvětšení kterékoli složky znamená též zvětšení výslednice, ale nese s sebou také změnu velikosti odhodového úhlu. Působíme-li při odhodu na oštěp více směrem dopředu než vzhůru, zvýšíme tím odhodovou rychlost a zmenšíme odhodový úhel. Příliš malý úhel způsobuje stržení oštěpu a plochou dráhu jeho letu. Při větším než optimálním úhlu letí oštěp do zbytečné výšky, jeho dráha je strmá. Oba hody jsou nehospodárné, výkon neodpovídá vynaloženému úsilí. Uhel odhodu měníme někdy záměrně ještě z jedné příčiny. Je to vítr, který není však stálým činitelem. I jeho vliv je proměnlivý, neboť záleží na jeho rychlosti a směru, kterým vane vzhledem k směru házení. Obtížné je házení při silném protivětru nebo s bočným větrem. Let oštěpu, resp. dráha jeho těžiště ve vzduchoprázdnu, by byla parabolou, jejíž tvar by neměnitelně určovali odhodoví činitelé, rychlost a úhel. Vlivem odporu vzduchu se však rychlost stále zmenšuje, sestupná část dráhy je kratší, parabola se mění v balistickou křivku. Délka hodu je pak menší. Podle zákonů mechaniky se může dráha pohybujícího se tělesa změnit jen působením vnější síly. Vnější sílu představuje za letu kromě tíže odpor vzduchu, jeho působení však bylo zatím stále uváděno ve smyslu negativním. U hodu oštěpem však můžeme využít odporu vzduchu k prodloužení dráhy letu, a tím získat dalšího činitele, který může mít kladný vliv na výkon. Je to umožněno tvarem oštěpu a jeho poměrně malou váhou. Odpor vzduchu roste se čtvercem rychlosti, závisí na tvaru tělesa a na průřezu kolmém ke směru pohybu. Vzhledem k tomu vzniká při letu oštěpu nejmenší odpor tehdy, je-li při

vypuštění jeho osa přesně ve směru odhodového úhlu. Oštěp letí potom přesně ve směru dráhy špičky téměř v teoretické balistické křivce (Kněnický, 1977).



Obr2: Osa oštěpu při letu

Po dosažení vrcholu dráhy letu se špička stáčí k zemi a opisuje sestupnou část křivky, která, jak víme, klesá prudčeji. Je-li úhel položení větší než úhel odhodový, tj. špička oštěpu je příliš zvednutá, je oštěp závodníkem podtržen. Značný odpor vzduchu způsobuje, že rychlost letu se prudce snižuje. Tlak vzduchu na plochu oštěpu je velký a na jeho překonání se spotřebuje velká část kinetické energie. Oštěp stoupá do větší výšky, ztrácí však brzy rychlost, převažuje se špičkou k zemi a padá téměř svisle dolů. Dráha letu tvoří nepravidelnou křivku. Vychýlení oštěpu při odhodu do strany zkracuje rovněž délku hodu (Kněnický, 1977).



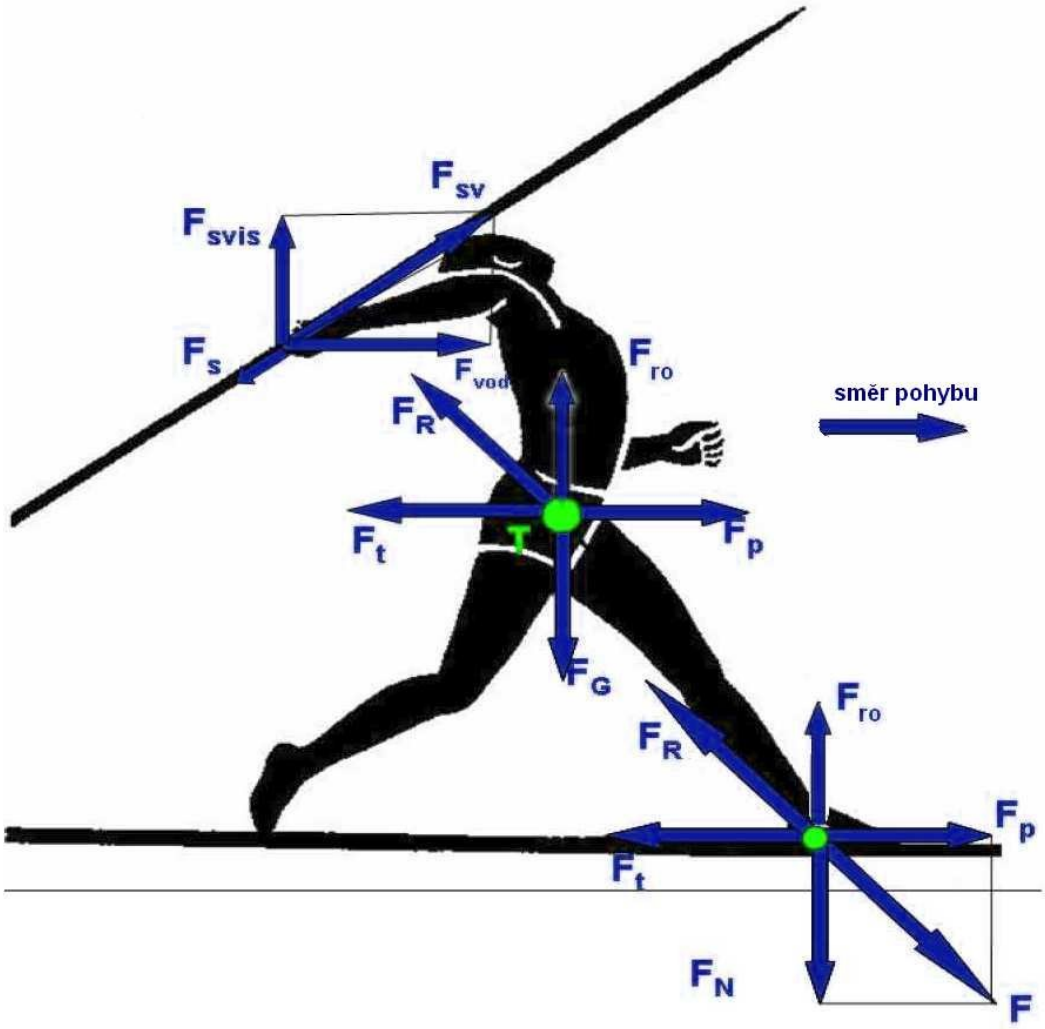
Obr3: porovnání bal. křivky s parabolou

- x – rovnoměrně přímočarý pohyb
- y – svislý vrh vzhůru

- α – elevační úhel
- v_0 – počáteční rychlost
- Parabola – teoretická křivka letu
- Balistická křivka – křivka letu pokud uvažujeme vliv odporových sil prostředí

3 Dynamická charakteristika daného problému

Kinogram s rozborem sil poslední mikrofáze odhodu oštěpu:



obr4 : Kinogram hodu oštěpem

- F_p – pohybová síla oštěpaře
- F_r – reakční síla podložky na oštěpaře
- F_t – třecí síla podložky působící proti pohybu oštěpaře
- F_s – setrvačná síla, která působí proti pohybu oštěpu
- F_{ro} – reakce opory

- F_{sv} – výsledná svalová síla, kterou oštěpař působí na oštěp
- F_n – normálová síla, kterou působí oštěpař kolmo na podložku
- F – výsledná síla, působí oštěpař na podložku
- F_g – tíhová síla
- F_{vod} – vodorovná síla, kterou působí oštěpař na oštěp
- F_{svis} – svislá síla, kterou působí oštěpař na oštěp

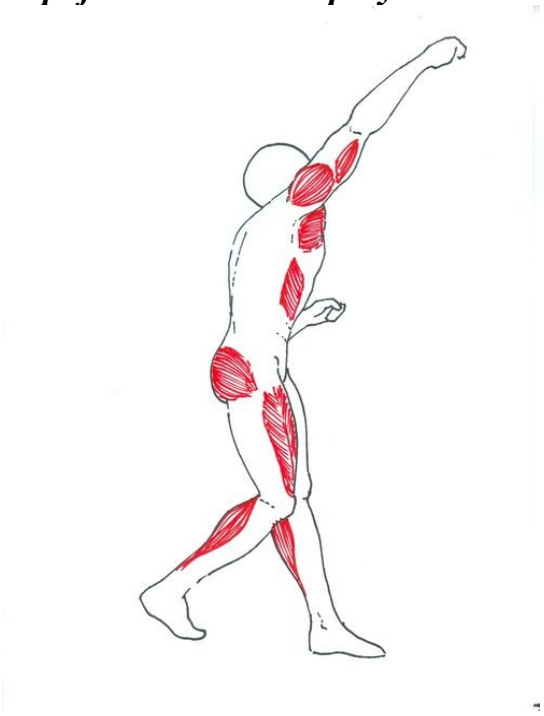
3.1 Uplatněné zákony a vzorečky

Newtonovy zákony:
1. Zákon setrvačnosti - Těleso setrvává v klidu nebo rovnoměrném přímočarém pohybu, není-li nuceno vnějšími silami tento stav změnit.

2. Zákon síly – Síla působící ve směru pohybu zvětšuje rychlost tělesa. Síla působící proti směru pohybu zmenšuje rychlost tělesa. Změna rychlosti je tím větší, čím větší je síla. Změna rychlosti je tím menší, čím větší je hmotnost.
F = m*a

3. Zákon akce a reakce – Proti každé akci vždy působí stejná reakce; jinak: vzájemná působení dvou těles jsou vždy stejně velká a míří na opačné stran**y.**

3.2 Zapojené svalové skupiny:



Obr5: Zapojené svalové skupiny

Sledujeme pohyb a zapojující se svaly paže při hodu oštěpem

1. fáze nápřahu:

zevní rotace	- m.infraspinatus - m. teres minor
flexe	- m. deltoideus (pars clavicularis) - m. coracobrachialis - m. trapezius
abdukce	- m. deltoideus (pars acromialis) - m. supraspinatus

2. fáze odhodu:

horizontální abdukce + flexe	- m. deltoideus (pars clavicularis, acromialis) - m. coracobrachialis
vnitřní rotace	- m. subscapularis - m. latissimus dorsi - m. teres major - m. pectoralis major

Zákon zachování hybnosti – Po odhodu se oštěp pohybuje určitou hybností, kterou již nemůžeme změnit. Těžiště oštěpu pokračuje v letu po parabolické křivce, která se určí odhodem.

$F*t = m*v$

- $F*t$ – Impuls síly = hybnost
- $m*v$ – příčina = důsledek

→ Chceme-li, aby oštěp získal co největší hybnost, musíme působit na oštěp co největší silou po co nejdelší dráze (co nejdelší dobu), aby byl impuls síly co největší.

Gravitační zákon

$$F=m*g$$

Zákon zachování energie – Při všech dějích v soustavě těles se mění jedna forma energie v jinou, nebo přechází energie z jednoho tělesa na druhé; celková energie soustavy těles se však nemění.

$Ek = Ep$

$\frac{1}{2} mv^2 = m*g*h$

Ek – Kinetická energie oštěpu je největší při odhodu oštěpu a při jeho dopadu, kde má oštěp největší rychlost.

Ep – Potenciální energie oštěpu je největší na vrcholu jeho trajektorie (když vystoupá do největší výšky h)

→ Při odhodu má oštěp maximální kinetickou energii, která se v 1. části (šikmý vrh vzhůru) letu postupně mění na energii potenciální. Po dosažení vrcholu, kde se energie kinetická přeměnila na energii potenciální, se v 2. části letu (volný pád) postupně přeměňuje energie potenciální zpět na energii kinetickou. Při dopadu oštěpu na zem je energie potenciální nulová a energie kinetická maximální.
→ Mechanická energie se v průběhu letu oštěpu nemění.

E = Ek+Ep

4 Cíle a úkoly výzkumu

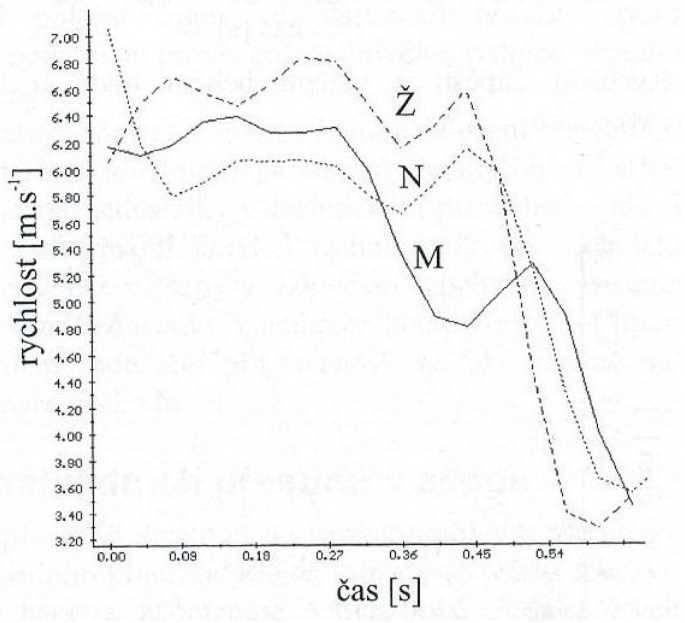
Cílem práce je přiblížit konkrétní problém, zjistit vliv všech faktorů a nesprávné techniky na délku hodu, zjistit a popsat správnou techniku provedení hodu, popsat jednotlivé fáze hodu a podle vybrané metody biomechanicky analyzovat oštěpaře.

5 Metody výzkumu

Jako metodu výzkumu bych volil sběr obrázků z časosběrného zařízení, umístěného tak, aby v místě odhodu oštěpu byl cvičenec co možná nejblíže pomyslné linii pravého úhlu mezi zařízením (např. videokamerou) a zkoumanou osobou.
Ze získaných údajů lze rozebrat úhly odhodu a techniku samotného hodu. Poté můžeme přednést výsledky a doporučení cvičenci.
Osobně bych volil cvičence, kteří nemají s hodem velké zkušenosti, ale pro porovnání bych do výzkumu zařadil i neamatérské sportovce.

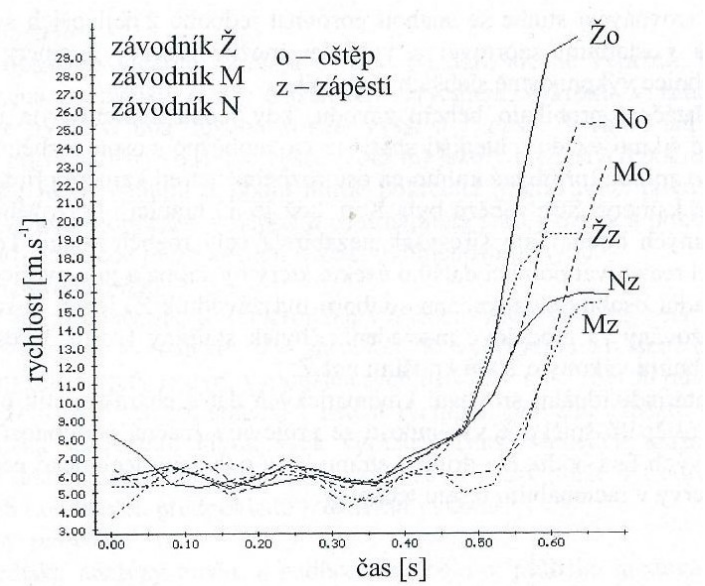
Příklad srovnávací analýzy techniky:

Srovnáváme jednoho ze špičkových atletů (Ž) s ostatními sportovci a chceme vyhledat možné rezervy a směry rozvoje v technice výkonnostně slabších závodníků. Do místa rozběhu a samotného vrhu jsme umístili několik kamer. Jako základní osoba sledovaného souboru byl závodník Ž, jehož pokusy byly považovány za modelové provedení.
Srovnání kinematických dat a charakteristik potvrdila, že u oštěpařů se projevila značná podobnost fází hodu. Na druhou stranu byly odhaleny technické nedostatky a rezervy v racionálním řešení techniky.



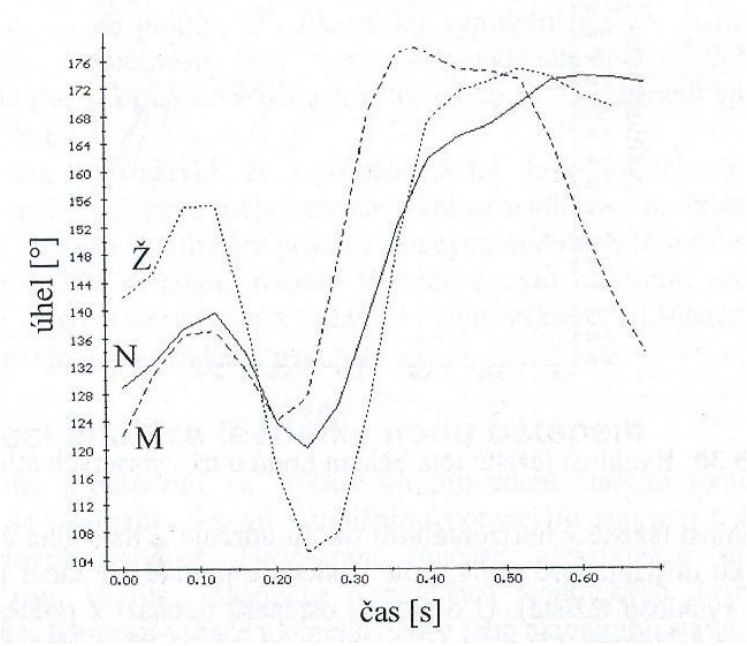
Obr6: Rychlost těžiště těla během hodu u tří vybraných atletů

Rychlost těžiště udržuje Ž na stejné úrovni až do okamžiku došlapu levé nohy, poté následuje prudké zbrždění pohybu těla. U ostatních oštěpařů dochází k poklesu rychlosti ještě před došlapem (M) nebo pokles rychlosti těžiště pozvolněji (N).



Obr7: Rychlost zápěstí a oštěpu během hodu u vybraných závodníků

Nejvyšší hodnota počáteční rychlosti oštěpu byla naměřena u Ž, nejnižší hodnota u závodníka M. Rychlost zápěstí byla u pokusů všech oštěpařů podobná. Naopak významný rozdíl byl nalezen mezi rychlostí zápěstí a rychlostí oštěpu a to je podstatné.



Obr8: Průběh změny úhlu v levém koleně během hodu u vybraných závodníků

Úhlové změny v levém koleně spolu s průběhem rychlosti těžiště vypovídají o efektu zbrzdění pohybu v závěru hodu. Domníváme se, že tyto charakteristiky podstatně ovlivňují výslednou délku hodu. U pokusu oštěpaře N dochází k pomalejšímu propnutí dolní končetiny. Další průběh hodnot úhlů v koleně je správný, výsledný efekt však není dosažen, protože ho ovlivňují i ostatní faktory. Naproti tomu je u pokusu závodníka M patrné pokrčení kolena před vlastním odhodem a tím nedostatečné zbrždění pohybu.

6 Závěry, doporučení do praxe

Pouze detailní analýza techniky hodu a nalezení hodnot pro srovnání parametrů jednotlivých vrhačů umožňuje odhalit a objasnit nedostatky v technickém provedení hodu. Pak je možné přistoupit k individuální změně techniky.

Hod oštěpem je jedna z nejtěžších atletických disciplín a pro dobrý výkon sportovce se musí sladit celá řada faktorů. Doporučil bych, ať už trenérům profesionálních závodníků nebo rekreačním sportovcům, aby nepodceňovali přípravu jak fyzickou tak i technickou a předcházeli možným následným zraněním. Biomechanickou analýzou se dá odhalit spousta negativních vlivů a z následné analýzy a rozboru lze výsledně najít řešení k delším hodům ale hlavně předcházet úrazům, způsobené nesprávnou technikou.

7 Zdroje

Literatura

VALENTA, J. *Biomechanika*. 1. vyd. Praha: Academia, 1985, 544 s.

KARAS, Vladimír, Stanislav OTÁHAL a Petr SUŠANKA. *Biomechanika tělesných cvičení*. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1990, 180 s. Učebnice pro vysoké školy (Státní pedagogické nakladatelství). ISBN 80-042-0554-2.

JANURA, Miroslav a František ZAHÁLKA. *Kinematická analýza pohybu člověka*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého, 2004, 209 s. Monografie (Univerzita Palackého). ISBN 80-244-0930-5.

Bartušek, B. *Lehká atletika*. 1. vyd. Brno: UJEP, 1968. 197s.

KNĚNICKÝ, K. a kol., *Technika lehkoatletických disciplín.* Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1977.

Elektronické zdroje

http://is.muni.cz/th/152703/fsps_b/Bakalarka_prace.txt

http://www.atletika.cz/

http://cs.wikipedia.org/