

Prof. dr Veselin Jovović
Filozofski fakultet, Nikšić

TRANSFORMACIJA RAZLIČITIH VRSTA ENERGIJE JEDNE U DRUGU I MJERENJE NJIHOVIH EFEKATA KOD IZVOĐENJA SKOKA MOTKOM

1. UVOD

U mehanici se energija definiše kao sposobnost tijela da izvrši rad, odnosno izvršen rad odgovara promjeni energije tijela. Mjerenjem promjene energije tijela (npr. tijela čovjeka, nekog njegovog segmenta, bačene sprave itd.) može se indirektno odrediti rad i snaga mišićnih i drugih sila koje su djelovale na to tijelo. Za biomehaniku je od značaja samo mehanička energija koja se javlja u dva osnovna oblika i to kao *kinetička i potencijalna energija*:

1) Kinetička energija je ona koju tijelo posjeduje zahvaljući svom kretanju. Kinetička energija sve veća ako je veća pokrenuta masa i njena brzina.

2) Potencijalna energija je ona koju tijelo posjeduje zahvaljujući svom položaju, kao npr. položaju savijene motke kod skoka motkom, položaju zategnutog luka strijele itd.).

Tijelo ne može pretrpjeti nikakvu transformaciju a da mu se energija ne promijeni. Obično se pri tome promjena u potencijalnoj energiji uvijek nadoknađuje istom tolikom a suprotnom promjenom u kinetičkoj energiji i obratno. Međutim, nužno je istaći da bez interakcije tijela s okolinom ne bi bilo kretanja, a time ni promjene mehaničke energije tijela. Bez te interakcije ne bi bilo ni mišićnog rada. Tek kada se mišićne (i druge unutrašnje) sile preko kinetičkih lanaca prenesu na okolinu, može da se promijeni kretanje tijela, odnosno njegova mehanička energija. Pri tom mišićne sile pri kretanju vrše rad indirektno, razvijanjem sile reakcije podloge.

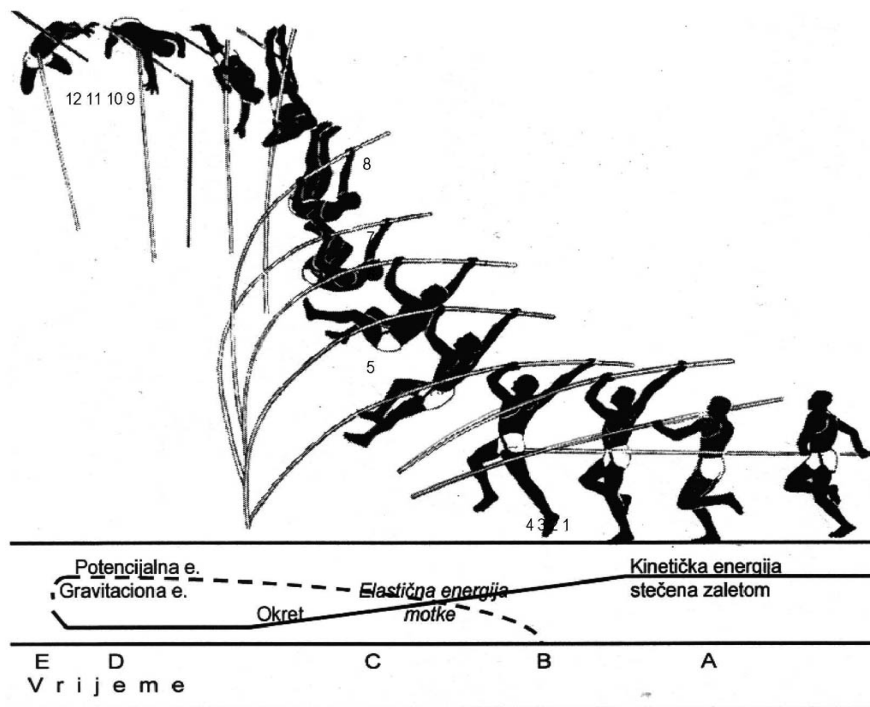
2. TRANSFORMACIJA ENERGIJE KOD SKOKA MOTKOM

Tipičan primjer transformacije energije različitih vrsta jedne u drugu imamo pri izvođenju skoka motkom i to: kinetičke energije stečene zaletom, potencijalne energije savijene elastične motke i potencijalne energije uslijed podizanja tijela na visinu (sl. 1). Da bi se izvršilo pomjeranje pojedinih djelova tijela ili cijelog tijela, sila koja vrši rad mora da savlada spoljne otpore kao što su sila reakcije podloge, sila inercije, gravitaciona sila, sila otpora vazduha itd.

Skok motkom je jedna od najsloženijih atletskih disciplina a sastoji se od sljedećih faza: zaleta, postavljanja motke u kutiju, odraza, potpornog dijela skoka i bespotpornog dijela skoka (prelaska preko letvice).

Zalet je osnovni nosilac kretanja pri podizanju težišta skakača na veću visinu. Zato zaletom skakač treba da ostvari maksimalnu brzinu kretanja. Sa povećanjem brzine kretanja povećava se i kinetička energija. Na slici, u položaju A, čitava energija skakača je kinetička, a rezultat je zaleta. Ona je najveća u trenutku uspostavljanja oslonca sistema “skakač-motka” sa podlogom, pri stavljanju motke u kutiju za ubadanje (kinogram 3).

Faza potpornog dijela skoka (položaj B) počinje snažnim opružanjem odrazne noge i zamahom zamajne noge. Pošto je motka čvršća poluga od odrazne noge omogućena je transformacija maksimalno brzog zaleta u vertikalno kretanje. Dejstvom radijalne komponente, koja djeluje od težišta sistema “skakač motka” prema fiksnoj tački (na mjestu uboda), dolazi do savijanja motke, čime se pobuđuju njene elastične sile. Tako u motki počinje da se skuplja elastična potencijalna energija koja treba da se koristi u drugoj fazi leta (kod potiskivanja od motke), radi podizanja težišta skakača na veću visinu. Ova energija dobijena je iz zaleta, zatim odraza i djelovanjem skakača pravovremenim zamahom. Sile koje učestvuju u podizanju težišta sistema na veću visinu mogu se svrstati u sljedeći niz: odraz odraznom nogom, zamah zamajnom nogom, vertikalna projekcija tangencijalne komponente, elastične sile motke i odraz rukama (potiskivanje) od motke.



Sl. 4.51. Prikaz transformacije energije kod skoka motkom

U položaju C skakač se podiže uvis, pri čemu mu je preostao još znatan dio kinetičke energije, koja je sad pridružena savijanju oko donjeg kraja motke. Najveće savijanje motke vrši se u trenutku kada se tijelo skakača nalazi u horizontalnom položaju u odnosu na tlo (kinogram 6). Ovo savijanje motke uslovljeno je podizanjem trupa i odgovarajućim pregibanjem ruku u zglobovima laktova i retrofleksije u zglobovima ramena. Naime, ovi pokreti preko kinetičkog lanca, zatvorenog sa gornje strane hvatom za motku, vrše podizanje tijela skakača vertikalno naviše, u odnosu na motku (akcija). Oni istovremeno uslovljavaju i kretanje vertikalno naniže (reakcija) i tako uslovljavaju dodatno savijanje motke, a time i dodatno skupljanje potencijalne energije. Ova potencijalna energija skakača potiče od sile teže i preostale elastične energije motke.

Nakon toga skakač opruža i rotira tijelo oko uzdužne ose, uz pravovremeno opružanje ruku potiskujući se od motke. Pri tome sile elastičnosti motke djeluju u smislu ispravljanja motke, a time i na podizanje skakača uvis (kinogrami 8-10).

U položaju D, skakač se potiskuje od motke i vrši okret licem prema letvici (kinogram 11). U trenutku prelaska preko letvice kinetička energija je minimalna jer se težište tijela skakača nalazi na vrhu balističke krive. U toj kritičnoj fazi prelaska preko letvice zahvaljujući prividnim rotacijama vrši se snažna fleksija trupa kojom se omogućava podizanje distalnog dijela tijela i bezbjedan prelazak djelova tijela iznad letvice. U tom trenutku kinetička energija skakača ravna je nuli a potencijalna energija (sila teže – težina tijela skakača) dostiže svoj maksimum.

U položaju E počinje «propadanje» skakača (faza doskoka), pa se i njegova potencijalna energija konstantno smanjuje, dok se kinetička energija za toliko povećava, pri čemu njihov zbir uvijek ostaje nepromijenjen.

Kod skoka motkom ukupna energija nije uvijek stalna zbog trenja (vanjsko ili mišićno), a i zbog toga što skakač vrši rad dok savija motku. Taj rad uključuje «unutrašnji» tjelesni rad koji nije uzeo u obzir skupljanje i okretanje na gore, kao i kompenzatorne pokrete, koje skakač vrši u fazi prelaska letve.

3. MJERENJE SKOKA MOTKOM

Istakli smo da se zaletom stečena kinetička energija transformiše u potencijalnu energiju elastične motke. Zahvaljujući elastičnosti motke i energiji koja nastaje njenim savijanjem, uz adekvatnu tehniku skoka, skakač može da podigne težište tijela na veliku visinu. Ako bi se sva kinetička energija stečena zaletom pretvorila u podizanje skakača u vertikalnom smjeru onda bi se to moglo izraziti kao:

$$1/2 (mv^2) = mgh$$

gdje je m masa tijela a v njegova brzina. Prema tome, ukupna visina H koju skakač treba da preskoči bila bi: visina težišta tijela skakača u momentu odraza (npr. 1,0 m), plus visina odraza skakača iz mjesta (npr. = 0,6 m), plus visina do vrha parabole (h). Na osnovu toga imamo:

$$H = h + 1,0 \text{ m} + 0,6 \text{ m} = v^2/g + 1,6 \text{ m}$$

Ako maksimalna brzina zaleta kod vrhunskih skakača iznosi $v = 9,5 \text{ m/s}$, onda je:

$$H = \frac{(9,5 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2} + 1,6 \text{ m} = 4,6 \text{ m} + 1,6 \text{ m} = 6,2 \text{ m}$$

Dobijena visina ($H = 6,2 \text{ m}$) na koju se može podići težište tijela vrhunskog skakača (uz date parametre) je sasvim realna. Normalno, izračunata visina se može ostvariti samo pod uslovom da se ukupna kinetička energija preobrati u potencijalnu energiju elastične motke, a ova efikasno iskoristi za prelazak preko letvice. Znači, ovakav rezultat može se realno očekivati u postizanju rekorda kod vrhunskih skakača motkom.

4. LITERATURA

1. Hong, Y. (2002): *International Research in Sports Biomechanics*. New York: Routledge.
2. Jarić, S. (1997): *Biomehanika humane lokomocije sa biomehanikom sporta*. Dosije, Beograd.
3. Jovović, V. (2006): *Atletika – biomehanika, tehnika i metodika*. Filozofski fakultet, Nikšić.
4. Jovović, V. (2005): *Biomehanika sporta*. Filozofski fakultet, Nikšić.
5. Kittel, C, Knight, W., Ruderman, M. (1982). *Mehanika* (prevod). Tehnička knjiga, Zagreb.
6. Marion, J. (1986): *Obščaja fizika s biologičeskimi primerami* (prevod sa engleskog). Visšaja škola, Moskva.
7. McGinnis, P. M. (1999): *Biomechanics of sport and exercise*. Champaign, IL: Human Kinetics.
8. Opavski, P. (1987): *Osnovi biomehanike*. Naučna knjiga, Beograd

THE TRANSFORMATION OF DIFFERENT TYPES OF ENERGY ONE IN AN OTHER AND MEASURING OF THEIR EFFECTS DURING THE POLE VAULT

It is known that some object can't undergo any transformation without changing the energy. Mainly, in that case, the challenge in potential energy is always made up by that large, and by the contrary challenge in kinetics energy. An interesting example of transforming energy of different types in one another: kinetics energy, potential energy of curved elastic pole and potential energy because of raising the body, happens during the pole vault. Thanks to that transformation and elasticity of pole, that was created by its curving, runner can raise the body on big height. Measuring the energy we can count reached height of center of gravity of the runner's body and than predict possible result of the jump.