Hraniční meze biomechanického hodnocení pádu a skoku z výšky

Boundary Limits of Biomechanical Evaluation of Fall and Jump from Height

JIŘÍ STRAUS¹

Abstrakt

V článku jsou popsány současné poznatky o kinematice pádu lidského těla z výšky v případech aktivního skoku, strčení nebo spontánního pádu. Jsou prezentovány dostupné literární údaje a výsledky z vlastní experimentální a znalecké praxe. Cílem pojednání je zjištění maximálních hodnot skoku nebo pádu. Jsou analyzovány literární hodnoty a uvedeny výsledky experimentů. Výsledky byly získány měřením při pádech dobrovolníků, figurantů při pádech do bazénu s vodou. Při biomechanickém hodnocení pádu těla z výšky je nutné přihlížet k několika významným faktorům. Těmi jsou trénovanost jedince, pohlaví a také na psychické složce, vnitřním rozhodnutí, zda jedinec vědomě skáče s maximálním úsilím, nebo se jedná o náhlý pád nebo jen průměrný skok.

Klíčová slova

kriminalistika, forenzní biomechanika, pád z výšky, rychlost

Abstract

The article describes current knowledge about the kinematics of the human body falling from a height in the case of active jump, thrust or spontaneous fall. Available literature data and results from own experimental and expert practice are presented. The aim of the treatise is to determine the maximum values of jump or fall. Literary values are analyzed and results of experiments are presented. The results were obtained by measuring volunteers dropping, helper dropping into water pool. There are several important factors to consider when biomechanically assessing a fall from a height. These are the individual's training, gender and also the psychic component, the inner decision whether the individual consciously jumps with maximum effort, or is a sudden fall or just an average jump.

Key words

criminology, forensic biomechanics, fall from height, speed

DOI

<http://dx.doi.org/10.37355/fvpk-2020/1-04>

¹ prof. PhDr. Jiří Straus, DrSc., Katedra kriminalistiky a forenzních disciplín, Vysoká škola finanční a správní, a.s.

Úvod

Studium pádu lidského těla z výšky je významnou aplikací forenzní biomechaniky.² Pád lidského těla z výšky vychází principiálně z fyzikální podstaty hodnocení vodorovného vrhu tělesa. Jde o složený pohyb, skládá se z pohybu vodorovným směrem a volného pádu. Koná jej těleso, kterému udělíme počáteční rychlost vodorovným směrem. Trajektorií pohybu je část paraboly s vrcholem v místě hodu. Délka vrhu je závislá na počáteční rychlosti a na výšce, ze které bylo těleso vrženo. V případě biomechanického hodnocení pádů z výšky je nutné přísně vycházet ze zákonů fyziky. Pro objektivní posouzení faktorů ovlivňujících průběh pádu těla a dopadovou polohu je nutné brát v úvahu podmínky, za kterých došlo ke ztrátě kontaktu těla v počátečním bodě. Pád těla je determinován v okamžiku ztráty kontaktu těla s podložkou.³

Pády z výšky jsou často kriminalistickým problémem v těch případech, kdy chybí přímí svědci pádu nebo videozáznam pohybu těla, který by objasnil podstatu a mechanismus pádu. Případy, ve kterých jsou pády člověka spolehlivě objasněny prostřednictvím svědectví nebo jsou dokumentovány videozáznamem, mohou být dobře objasněny bez pomoci znaleckého zkoumání. V ostatních případech je třeba odpovědět na otázku, zda byl pád důsledkem nehody, sebevraždy nebo vraždy. Jednalo se o náhlou situaci, kdy oběť omylem uklouzla, zakopla, převážila se, úmyslně skočila nebo byla oběť vytlačena či vyhozena?

V článku chci přiblížit současné poznatky o kinematice pádu lidského těla z výšky v případech aktivního skoku, strčení nebo spontánního pádu. Uvádím dostupné literární údaje a výsledky z vlastní experimentální a znalecké praxe. Cílem je prezentace maximálních hodnot skoku nebo pádu. Jinými slovy odpovědět na otázku – jak až daleko může doskočit nebo dopadnout člověk, který skáče s maximálním odrazem nebo je strčen s maximální silou. Jistě si dovedeme představit velkou šíři případů, kdy dochází k pádům a skokům s malou odrazovou rychlostí nebo dojde k náhodnému pádu, kdy se tělo pohybuje relativně malou rychlostí. Rád bych čtenáře informoval o variantách, jaké mohou být maximální hranice rychlosti skoku nebo pádu těla z výšky.

Trajektorie padající osoby je závislá na několika parametrech, na výšce pádu, poloze těla v okamžiku ztráty kontaktu, dále závisí na faktu, zda je na tělo působeno vnější silou. Dopad osoby je závislý na dopadové rychlosti, mechanických podmínkách dopadové plochy a poloze těla při dopadu, tedy na jakou část těla dopadne. Pády z výšky mohou být v zásadě pasivní nebo aktivní. Pasivní pád nastává bez působení vnější síly, jen prostým vychýlením těla a těžiště těla mimo plochu opory, tělo se tak dostane do labilní polohy a dochází k pasivnímu pádu. Při aktivním pádu je tělo osoby urychleno buď vlastním odrazem (působením vlastní síly, aktivním pohybem) nebo působením vnější síly druhé osoby. Během letu může tělo měnit svou polohu a také se odchýlit od svislice pádu, dopadová poloha může mít vliv na zranění padající osoby.

2 BRUNOVÁ, M. *Dokazování trestné činnosti s využitím kriminalistických stop a identifikace*. Praha: VŠFS, 2019. Edice EUpress, s. 67–85. ISBN 978-80-7408-196-5.

3 STRAUS, Jiří a kol. *Biomechanika pádu z výšky*. Praha: PA ČR, 2004. STRAUS, Jiří a Viktor PORADA. *Teorie forenzní biomechaniky*. Praha: Vysoká škola finanční a správní, a.s., 2018. 168 s. Edice SCIENCEpress. ISBN 978-80-7408-140-8.

Představme si situaci, že osoba stojí na římse pod oknem, nemá možnost se jakkoliv rozběhnout a místo, kde stojí, je jediné místo ztráty kontaktu. Výška pádu je 30 metrů, tělo (přesněji těžiště těla) dopadne do vzdálenosti 9 metrů, pak lze jednoduše spočítat horizontální složku rychlosti 3,64 m/s, doba pádu je 2,47 s. Zde si položíme otázku – Může se standardně fyzicky disponovaný člověk odrazit tak aby dopadl do uvažované vzdálenosti? Může být do této vzdálenosti vystrčen, vytlačen? Může takto dopadnout spontánním pohybem? Chceme-li si odpovědět na nastíněné otázky, je třeba mít k dispozici dostatečné množství experimentálně získaných dat.

Předpokládejme, že těžiště osoby padá svislou výškou a pohybuje se vodorovnou vzdáleností vzduchem, jak je znázorněno na obr. 1. Pro relativně malé výšky (do 100 metrů) lze ignorovat účinky odporu vzduchu nebo větru. Maximální délky skoku se dosáhne při úhlu skoku 45°, takový úhel odrazu se ale v praxi nedosáhne. U skoků s rozběhem bylo empiricky zjištěno,⁴ že osoby provádí skok s úhlem odrazu kolem 15°. V literatuře byla publikována studie,⁵ která uvádí průměrný úhel skoku při odrazu z místa 38° a při odrazu s rozběhem 21°. Vzdálenost letu je dána horizontální rychlostí letu násobenou časem ve vzduchu. Je-li výška pádu velká, pak je čas ve vzduchu určen především výškou pádu, zatímco horizontální rychlost startu je determinována v okamžiku ztráty kontaktu. Při biomechanickém hodnocení pádu těla z výšky není samozřejmě znám úhel odrazu, ale je poměrně dobře zjistitelná horizontální složka rychlosti.

Objektivní řešení otázky výšky a druhu pádu je možné principiálně dvěma způsoby. Jednak je to možné cestou vytvoření optimálního matematického modelu a teoretickou simulací trajektorie pádu a pozicí těla při dopadu. Nebo je možná druhá cesta, a to experimentování a simulace pádu s vhodnou figurínou, která bude splňovat vlastnosti lidského těla. Případně i využití pádů figurantů s dopadem do bezpečné dopadové plochy. Pro získání seriózních vědeckých poznatků je pak optimální komparace teoretických simulací s experimentálními údaji pádu biomechanické figuríny.

1 Skok s rozběhem a skok z místa – literární údaje

V literatuře byla publikována studie, která se zabývala 30 případy úmrtí v důsledku pádu z výšky. Informace o zranění, včetně výšky pádu a umístění těla od základu budovy (horizontální vzdálenost) byla získána z policejních vyšetřovacích spisů. Dále bylo provedeno dotazování příbuzných a zasahujících policistů. Výška pádu a vzdálenost dopadu těla byly potvrzeny měřením osobně na místě činu, a to pro každý studovaný případ osobně.⁶

Ve většině případů se uskutečnil pád oběti z výšky menší než 10 metrů (66,6 %). Pád z výšky více než 20 metrů byl registrován v pouhých 5 případech (16,5 %). Ve většině případů obět

4 CROSS, R. Falls from a height. *Am. J. Phys.* 76, 9, September 2008, s. 833–837.

5 SHAW, K. P. a S. Y. HSU. Horizontal distance and height determining falling pattern. *Journal of Forensic Sciences*. 1998, 43/4, s. 765–771.

6 KIRAN KUMAR, J. V. a A. K. SRIVASTAVA. Pattern of Injuries in fall from Height. *J Indian Acad. Forensic Med.* Jan-March 2013, Vol. 35, No. 1, s. 47–50.

spadla v blízkosti budovy (76,6 %), a to 1 m od základu budovy. Pouze v jednom případě tělo bylo nalezeno 8 metrů od budovy, ve kterém zloděj skočil z terasy (4. patro). Aby unikl před policií, provedl skok s krátkým rozběhem.

K většině případů úmrtí v důsledku pádu z výšky došlo u dospělých mužů ve věkové skupině 21–50 let. Většina pádů byla náhodných z balkonů nebo teras. Nejčastější příčinou smrti po dopadu na zem bylo kraniocerebrální poranění hlavy.

Tab. 1: Vztah mezi výškou pádu a horizontální vzdáleností dopadu těla⁷

Výška pádu	Vzdálenost dopadu od svislice pádu (m)					Celkem
	0–0,5	0,6–1	1,1–1,5	1,6–2	> 2	
0–5	4	8	-	-	-	12
5,1–10	2	5	-	1	-	8
10,1–15	-	2	1	1	1	5
15,1–20	-	-	-	-	-	-
20,1–25	-	-	-	-	1	2
25,1–30	-	1	1	-	-	2
30,1–35	-	-	-	1	-	1

Kinematickými parametry skoku a pádu těla z výšky se zabývá omezené množství studií. Téměř všechny experimentální práce byly realizovány s dobrovolníky při skocích nebo pádech do bazénu s vodou. Pohyb těla byl filmován videokamerou a poté vyhodnoceny parametry pádu, zejména horizontální složky rychlosti v okamžiku ztráty kontaktu. Studie publikovaná CROSS⁸ uvádí hodnoty aktivního skoku čtyř žen, sportovkyň. Dobře trénovaných atletek. Skoky se uskutečnily s rozběhem 4 m, 4,5 m, 5 m a po rozběhu 20 m sprintu. Skoky se prováděly do bazénu s vodou, data skoku byla filmována a analýzou záznamu byly zjištěny horizontální složky rychlostí.

Úkolem figurantů bylo provedení skoku po předcházejícím rozběhu a plaveckém skoku po rozběhu. Skoky byly provedeny z okraje bazénu s vodou, rozběhové vzdálenosti byly 4,0 m, 4,5 m a 5,0 m, a také skok po sprintu na vzdálenost 20 m. Rozběh byl proveden na rovném povrchu. Figuranti byli atleticky trénovaní jedinci. Pohyb byl filmován na kameru a poté vyhodnocena horizontální složka rychlosti ve fázi odrazu. Schéma skoku je uvedeno na obr. 1. Na obr. 2 jsou uvedeny výsledky horizontálních složek rychlostí skoku v závislosti na délce rozběhu. Z grafu je vidět, že při rozběhu ze čtyř metrů a následného skoku byly zjištěny hodnoty pro horizontální složku rychlosti pod 4,5 m/s.

⁷ Tamtéž.

⁸ CROSS, R. Falls from a height. *Am. J. Phys.* 76, 9, September 2008, s. 833–837.

Obr. 1: Schéma skoku z výšky

Zdroj: upraveno podle CROSS 2008⁹

Horizontální složka rychlosti odrazu a letu byla získána z parametrů dopadu těžiště těla a výšky pádu. Výsledky jsou uvedeny na obr. 2, vyjadřují horizontální rychlosti startu pro čtyři dospělé ženy, s rozběhovou vzdáleností od 4 do 5 m, a rychlost běhu po 20 m běhu. Data z 20 m běhu ukazují, že všechny čtyři ženy byly nadprůměrné z hlediska atletické schopnosti, jak bylo zjištěno z mnohem většího vzorku žen.

Obr. 2: Graficky znázorněné výsledky horizontálních složek rychlostí skoku v závislosti na délce rozběhu¹⁰

⁹ Tamtéž.

¹⁰ Tamtéž.

Tab. 2: Hodnoty horizontálních složek rychlostí pro čtyři trénované ženy, s rozběhovou vzdáleností od 4 do 5 m a rychlostí běhu po 20 m běhu¹¹

Typ skoku	Horizontální složka rychlosti (m/s)	
	Minimální	Maximální
Plavecký skok s rozběhem 4 metrů	3,0	3,8
Skok s rozběhem 4 metrů	3,4	4,4
Skok s rozběhem 4,5 metrů	4,2	4,7
Skok s rozběhem 5 metrů	4,5	5,2
Skok s rozběhem po sprintu 20 metrů	5,8	6,5

K této studii a výsledkům je možné poznamenat, že získané hodnoty prezentují hraniční maximální hodnoty. Figurantky byly velmi dobře trénované atletky a všechny skoky byly provedeny s maximálním úsilím.

Další publikovaná studie (SHAW, HSU) si dala za cíl prozkoumat dva druhy skoků.¹² Studie byla prováděna na vzorku 39 studentů Fakulty tělesné výchovy (specialistů-atletů). Rozboru byly podrobeny dva biomechanicky odlišné typy skoků, a to skok do dálky s rozběhem a skokem do dálky z místa (tzv. plavecký skok). Počáteční rychlost skoku do dálky s rozběhem byla zjištěna $9,15 \pm 0,11$ a pro skok do dálky $2,70 \pm 0,11$ m/s, úhel odrazu byl zjištěn u skoku do dálky s rozběhem $21^\circ \pm 0,40^\circ$ a pro skok z místa $38^\circ \pm 1,33^\circ$.

Tab. 3: Přehled biomechanických faktorů u jednotlivých druhů skoku¹³

	Počáteční rychlost skoku (m/s)	Úhel odrazu ($^\circ$)
Skok do dálky z místa	$2,70 \pm 0,11$	$38 \pm 1,33$
Skok do dálky s rozběhem	$9,15 \pm 0,11$	$21 \pm 0,40$

Měřením horizontální rychlosti skoku do dálky s rozběhem bylo zjištěno $8,54 \pm 0,07$ m/s a skoku do dálky z místa $2,10 \pm 0,05$ m/s. Vertikální rychlosti byly zjištěny $3,88 \pm 0,12$ m/s a $1,59 \pm 0,07$ m/s.

Skok z místa (tzv. plavecký skok) – představoval typický skok z místa, jakým startují plavci ze startovních bloků. Měření bylo provedeno na vzorku 9 plavců a byly měřeny biomechanické parametry. Plavecký skok je odlišný od běžného skoku do dálky. Plavci startují skokem, kterým napodobují skok z místa. Při skoku se snaží o maximální horizontální rychlost, při skoku nedosahují příliš velké vertikální složky, výška samotného skoku je poměrně malá. Dosahují toho úpravou těla po odrazu, po opuštění bodu odrazu. Právě v této fázi skoku se měřila počáteční rychlost skoku a další potřebné biomechanické parametry včetně složky horizontální a vertikální rychlosti a úhlu skoku. Měření bylo provedeno na osobách o průměrné hmotnosti 70 kg, při skoku synchronizovaly pohyb

¹¹ Tamtéž.

¹² SHAW, K. P. a S. Y. HSU. Horizontal distance and height determining falling pattern. *Journal of Forensic Sciences*. 1998, 43/4, s. 765–771.

¹³ Tamtéž.

paží, čímž se zvýšila velikost počáteční rychlosti o 0,4 m/s. Měření studenti při plaveckém startovním skoku zrakem koordinovali pohyb.

Standardní atletický skok do dálky je biomechanicky odlišný, může se při něm dosáhnout hodnot počáteční rychlost 3,60 m/s a úhlu odrazu 41,03°, což bylo také změřeno u studentů atletů.

Skok s rozběhem – uvažujeme situaci, při které se člověk rozeběhne a skáče z výšky cíleně, úmysl skokana jednoznačně směřuje pro skok z výšky. Vlastnímu skoku předchází krátký rozběh a energický odraz vpřed vzhůru. Jestliže se jednotlivec skutečně odrazí maximální silou, může maximální horizontální pohyb vpřed (délka skoku, vzdálenost dopadu) dosáhnout 42 % výšky skoku. Bylo zjištěno, že při odrazové rychlosti 9,15 m/s a úhlu skoku 11,44° dosáhne vzdálenost dopadu 42,21 m při výšce skoku 100 metrů.

Obr. 3: Varianty skoku z místa a skoku s rozběhem¹⁴

Pro skok z místa je horní mez horizontální složky rychlosti odrazu 2,7 m/s, pro skok s rozběhem je tato horní mez 9,15 m/s.

Tab. 4: Biomechanické parametry u jednotlivých druhů skoku¹⁵

Biomechanická měření	Skok z místa (n = 9)	Skok s rozběhem (n = 30)
Úhel odrazu (°)	38,00 ± 1,33	21,00 ± 0,40
Odrázová rychlost (m/s)	2,70 ± 0,11	9,15 ± 0,11
Horizontální rychlost (m/s)	2,10 ± 0,05	8,54 ± 0,07
Vertikální rychlost (m/s)	1,59 ± 0,07	3,88 ± 0,12

¹⁴ Tamtéž.

¹⁵ Tamtéž.

V ruské literatuře byly realizovány experimenty s figurínou, experimenty provedené Lebedevem v roce 1985 pomocí antropologicky vyvážené figuríny ukázaly, že vzdálenost dopadu a rotace těla při pádu závisí na mnoha faktorech, jako je počáteční poloha těla, výška pádu, přítomnost a umístění urychlujících sil na tělo.¹⁶ Experimenty, které byly provedeny s figurínou, ukazují, že při pádu se figurína otáčí kolem těžiště v čelní rovině. Počet otáček závisí na výšce. Figurína padající spontánním pádem ze sedmi až osmi metrů (třetí patro) se otočí o 180° a hlavou se dotkne země, naproti tomu pád z výšky deset až jedenáct metrů (čtvrté patro) vede k obratu 270°, po kterém člověk přistane na zádech. Paradoxně je „bezpečnější“ pád z větší výšky deseti až jedenácti metrů než z nižší výšky sedmi až osmi metrů (obr. 4).

Obr. 4: Schéma pádu lidského těla z výšky¹⁷

Také v naší literatuře je několik zdrojů, které se zabývají biomechanickou analýzou pádu z výšky. V rámci bakalářské práce na Univerzitě Palackého v Olomouci byla provedena studie,¹⁸ která uvádí naměřené hodnoty horizontální složky rychlosti skoku ve třech různých případech, a to v závislosti na různých situacích: pohlaví a sportovním založení. Pro pády z výšky bylo vybráno dvacet osm dobrovolníků, z toho čtrnáct mužů a čtrnáct žen. Podmínkou bylo, aby minimálně polovina žen a polovina mužů byly sportovního založení, tzn. aktivně sportující. Od dobrovolníků byla zjištěna tělesná výška a sportovní aktivita. Všichni dobrovolníci skákali ze stejné výšky, a to 55 cm. K dopadové ploše byl přiložen metr s ryskou. Metr byl přiložen tak, aby počátek byl v bodě nula, tzn. v místě protnutí kolmice dopadu a dopadové plochy. Vzdálenost dopadu byla po skoku každého dobrovolníka pečlivě změřena a zapsána. Dobrovolníci skákali tři po sobě jdoucí skoky. Nejprve z místa

16 LEBEDEV, A. N. Vozmožnosti rekonstrukcii nekotorych obstoitelstv smertelnoj travmy při padenii s vysoty. *Voj. Med. Acad. jur.* 1985, s. 18–21.

17 STRAUS, J. Biomechanické aspekty pádů člověka z výšky. *Sborník vědeckých prací „Identifikace potřeb právní praxe jako teoretický základ pro rozvoj kriminalistických a právních specializací“*. Karlovy Vary: VŠKV, 2012, s. 288–297. Zpracováno podle LEBEDĚV, 1985.

18 FOLVARSKÁ, L. *Kinematické hodnocení skoku z výšky*. Olomouc: PŘF UPOL, 2013.

s odrazem snožmo, poté s rozběhem a následným skokem z dominantní nohy (u všech dobrovolníků byla dominantní noha pravá) a nakonec s rozběhem a následným skokem z nedominantní nohy (u všech dobrovolníků byla nedominantní noha levá). V rámci jedné skupiny 14 žen a 14 mužů (muži, ženy, sportovci/kyně, nesportovci/kyně) byly osoby seřazeny podle vypočítané rychlosti vzestupně a porovnány mezi sebou. Rychlost byla vypočítána na základě změřené vzdálenosti dopadu. Dobrovolníci se postavili na hranu vyvýšeného místa ve výšce 55 cm. Z tohoto místa se odrazili největší možnou silou a skočili do dálky. Výsledky jsou shrnuty v tabulce 5, která byla zpracována podle podkladů experimentálních výsledků.¹⁹

Tab. 5: Hodnoty horizontálních rychlostí maximálního odrazu ve vztahu k pohlaví a trénovanosti osob

Typ skoku	Muži		Ženy	
	nesportující	sportující	nesportující	sportující
Skok z místa s odrazem	3,86	5,02	3,06	3,86
Rozběh a následný odraz z pravé nohy	4,53	5,91	3,28	4,31
Rozběh a následný odraz z levé nohy	4,36	5,47	2,81	3,55

2 Experimentální data

Studie biomechanické analýzy skoku z výšky byly prováděny také v podmínkách Česka. První biomechanické studie byly prováděny před patnácti lety.²⁰ Zpočátku byly experimenty prováděny s biomechanickou figurínou, realizovaly se pády do záchranné hasičské plachty, ale postupem se ukázalo, že nejvhodnější je provádět pády figurantů s dopadem do bazénu s vodou. Experimenty se realizují dodnes a postupně se zpřesňují, poslední studie byla u nás publikována v roce 2018.²¹ Výsledky jsou uvedeny v tabulce 6.

¹⁹ Chci zdůraznit, že velmi oceňuji snahu autorky o experimentální řešení. Nicméně se domnívám, že výsledky jsou zkreslené velmi malou výškou pádu. Při měření z vyšších výšek (více než 3 metry) jsou hodnoty horizontální složky rychlosti nižší.

²⁰ STRAUS, J. a kol. Biomechanika pádu z výšky. Praha: PA ČR, 2004.

²¹ STRAUS, J. a V. PORADA. Teorie forenzní biomechaniky. Praha: Vysoká škola finanční a správní, a.s., 2018. 168 s. Edice SCIENCEpress. ISBN 978-80-7408-140-8.

Tab. 6: Horizontální složky rychlostí vektoru trajektorie těžiště těla zjištěné experimentálně při různých druzích pádu

Charakter skoku	Horizontální složka rychlosti [m.s ⁻¹]
Odraz, aktivní skok	2,634
Spontánní pád	0,997
Strčení druhou osobou	1,438
Krok vpřed – normální	0,649
Krok vpřed – maximální	1,041
Krok vzad – normální	0,598
Krok vzad – maximální	1,007
Pád vpřed ze dřepu s rotací na záda	1,304
Skok ze startovního bloku (výška 1 m)	3,032

Obr. 5: Pád s maximálním strčením do těžiště figuranta²²

V roce 2012 jsme provedli rozsáhlé experimenty s cílem zjistit maximální hodnoty odrazu při skoku nebo pádu v různých variantách. Pro účely provedení měření jsme definovali osm typů skoků. Pro každý skok byly přesně popsány parametry jeho provedení. Typy skoků měly reflektovat představu o pravděpodobných mechanismech pádů člověka z výšky v reálných situacích. Nejen, kdy k pádu dojde samovolně, ale i v situacích, kdy k pádu došlo vlivem zavinění jiné osoby. Vzhledem k tomu, že ve skutečnosti je variabilita různých způsobů pádů značná a závisí na velkém množství vnitřních faktorů oběti, dalších osob, ale i vnějšího prostředí, není možné veškeré tyto mechanismy pádů měřením obsáhnout. Je samozřejmé, že podmínky, které nastaly u konkrétní reálné situace, jsou v zásadě neopakovatelné. Jejich rekonstruování je vždy limitováno. Pro veškerou modelaci

²² Zpracováno podle STRAUS, J. a kol. *Biomechanika pádu z výšky*. Praha: PA ČR, 2004.

průběhu určitých předem definovaných pádů je nutné stanovit a předem definovat určité podmínky. Předpokladem úspěšnosti a validity výzkumu je pak nutná neměnnost těchto podmínek při provádění jednotlivých pádů během pokusu. Jen tak mohou být výsledky zaznamenané v průběhu pokusu navzájem porovnatelné bez závažných chyb a nepřipustných matematických odchylek.²³

Při konstrukci typů jednotlivých pádů bylo cílem maximálně sjednotit kritéria v zájmu srovnatelnosti měření při provádění jednotlivých typů pádů. Figurant byl zejména instruován tak, aby se při všech pádech snažil, pokud to bude možné, dopadnout na hladinu na nohy. Takový dopad je možný u většiny pádů zajistit způsobem skoku. Zároveň bylo stanoveno, že figurant musí při všech pádech držet hlavu ve stejné vzpřímené poloze. Aby se zabránilo případným odchylkám v poloze těla, byl navíc figurant instruován tak, aby při všech pádech hleděl přímo před sebe.

Typy pádů byly definovány následovně:

Krok vpřed – Figurant stojí vzpřímeně s nohama rozkročenýma na šíři ramen a s připáženými rukama čelem k bazénu, palce u nohou jsou zarovnány s okrajem můstku. Dívá se přímo před sebe. Následně provede krok vpřed a padá. Snaží se dopadnout na nohy.

Skok s rozběhem – Figurant stojí vzpřímeně s nohama rozkročenýma na šíři ramen a s připáženými rukama čelem k bazénu ve vzdálenosti dvou metrů od okraje stupínku (měřeno od palců nohou). Na pokyn se rozběhne tak, aby dopadl co nejdále od kolmice pádu. Snaží se dopadnout na nohy.

Skok s odrazem – Figurant stojí vzpřímeně s nohama rozkročenýma na šíři ramen a s připáženými rukama čelem k bazénu, palce u nohou jsou zarovnány s okrajem můstku. Dívá se přímo před sebe. Následně se oběma nohama najednou odrazí tak, aby dopadl co nejdále od kolmice pádu. Snaží se dopadnout na nohy.

Pád po úderu do zad do těžiště těla – Figurant stojí vzpřímeně s nohama rozkročenýma na šíři ramen a s připáženými rukama čelem k bazénu, palce u nohou jsou zarovnány s okrajem můstku. Dívá se přímo před sebe. Na pokyn jej jiná osoba zatlačí do oblasti těžiště těla dostatečnou silou, aby došlo k pádu z můstku. Figurant předem neví, v jakém okamžiku k úderu dojde. Snaží se dopadnout na nohy.

23 NOVOPACKÝ, D. *Ohledání místa činu po pádu člověka z výšky. Diplomová práce. Praha: PA ČR, 2012.*

Tab. 7: Horizontální složky rychlostí vektoru trajektorie těžiště těla zjištěné experimentálně při různých druzích pádu

Typ pádu	Horizontální složky rychlosti (m/s)
Krok vpřed	1,11
Skok s rozběhem	3,30
Skok z místa s odrazem	1,88
Pád ze dřepu na okraji	1,09
Pád ze sedu na okraji	0,66
Pád z náklonu vpřed	1,80
Tlak do zad do těžiště těla	2,20
Úder do obličeje a následný pád vzad	1,93

V roce 2019 jsme opakovali sérii pádů. Vlastní experimenty byly provedeny v bazénu, skoky byly prováděny ze skokanské věže tří metrů. Experimenty byly provedeny se dvěma figuranty, mužem (28 let, 183 cm, 80 kg) a ženou (20 let, 170 cm, 52 kg), oba figuranti byli dobře trénovaní jedinci, pravidelně trénují bojové sporty.

Testovali jsme všechny možné verze. Jednotlivé skoky byly několikrát opakovány. Níže uvádím podrobnější popis jednotlivých variant a na fotografiích je znázorněna experimentální verze.

- 1. Skok z místa s maximálním odrazem** – figuranti byli instruováni, aby provedli skok z místa s maximálním odrazem se snahou doskočit co nejdále. Jednotlivé skoky byly několikrát opakovány (obr. 6).

Obr. 6: Skok z místa s maximálním odrazem

2. Skok ze vzdálenosti 50 cm, byl proveden krok a následný skok s maximálním odrazem – figuranti byli vzdáleni 60 cm od okraje odrazového místa (hrany můstku), provedli pohyb vpřed, který byl v podstatě jen jeden krok a plynulý skok vpřed s maximálním odrazem (obr. 7).

Obr. 7: Skok ze vzdálenosti 50 cm, byl proveden krok a následný skok s maximálním odrazem

3. Skok s rozběhem 2 metrů a skok s maximálním odrazem – figuranti byli vzdáleni 2 metry od okraje odrazového místa (hrany můstku), provedli rozběh vpřed a plynulý skok vpřed s maximálním odrazem. Rozběh a skoky byly provedeny se snahou o maximální rozběh a maximální odraz vpřed (obr. 8).

Obr. 8: Skok s rozběhem 2 metrů a skok s maximálním odrazem

4. Strčení do hýždí s maximální silou, maximální tlak – figurantka byla na odrazové hraně můstku, figurant provedl tlak dlaněmi do hýždí figurantky s maximálním tlakem, snažil se vyhodit figurantku maximálním tlakem dlaní do hýždí figurantky (obr. 9).

Obr. 9: Strčení do hýždí s maximální silou, maximální tlak

5. Společný pád, odhození vpřed – Oba figuranti provedli společný pád, aktivita byla na figurantovi, který držel před sebou druhého figuranta a snažil se působit maximální silou na předního figuranta. Z hlediska bezpečnosti byla tato verze provedena se dvěma muži (obr. 10).

Obr. 10: Společný pád, odhození vpřed

Jednotlivé varianty skoků a pádu byly několikrát opakované, opakovaně měřené výsledky jsou uvedeny v tabulce 8.

Tab. 8: Výsledky horizontální složky rychlostí z experimentů

Varianta skoku	Horizontální složky rychlosti (m/s)	
	Muž	Žena
1. Skok z místa s maximálním odrazem	3,77	2,66
2. Skok ze vzdálenosti 50 cm, byl proveden krok a následný skok s maximálním odrazem	3,88	3,32
3. Skok s rozběhem 2 metrů a skok s maximálním odrazem	4,09	3,65
4. Strčení do hýždí s maximální silou, maximální tlak	----	2,76
5. Společný pád, odhození vpřed	2,21	----

Závěr

V názvu tohoto článku jsem uvedl slovo „variabilita“, chci tak upozornit na fakt, že při biomechanickém hodnocení pádu těla z výšky je nutné přihlížet k několika významným faktorům. Těmi jsou trénovanost jedince, pohlaví a také psychická složka, vnitřní rozhodnutí, zda jedinec vědomě skáče s maximálním úsilím, nebo se jedná o náhlý pád nebo jen průměrný skok.

Pád z výšky je poměrně častým problémem, který se řeší ve forenzní biomechanice. Téměř vždy se řeší zásadní otázka, zda se na pádu podílela vnější síla druhé osoby. K řešení uvedeného problému je nutné přistupovat komplexně a vždy zohlednit všechny v úvahu přicházející parametry pádu, jako je výchozí poloha, výška pádu, dopadová plocha, tělesné parametry osoby atd. Domnívám se, že významnou informací pro řešení je horizontální složka vektoru rychlosti těla při pádu, ať už pádu spontánního, aktivním skoku nebo pádu urychleném vnější silou. V článku předkládám odborné komunitě hodnoty, které jsme zjistili jednak z literární rešerše a dále z vlastních experimentů.

Horizontální složka rychlosti osoby v okamžiku ztráty kontaktu těla je jednou z nezbytných charakteristik biomechaniky pádu. Znalost této hodnoty může výrazně pomoci při řešení cizího zavinění, aktivního skoku nebo spontánního pádu osoby. Jak ukazují zahraniční studie a naše experimentální zkušenosti, je výhodné provádět pády s figuranty do bazénu s vodou a z videozáznamu je následně možné zjistit kinematiku pohybu těla při pádu.

Výsledky experimentů umožňují zjistit hodnoty pro maximální hodnoty jak pro netréované figuranty, tak pro trénované jedince. Ukazuje se zcela jasně, že trénovaní sportovci dosahují výrazně vyšších hodnot než průměrní jedinci. Z toho vyplývá požadavek přihlížet při znaleckém hodnocení mimo jiné také k trénovanosti a sportovní aktivitě zúčastněných osob.

Na závěr si dovoluji uvést (pro porovnání s experimentálními hodnotami) hodnoty získané z analýzy více než stovky reálných kriminálních případů. Ve všech případech se jednalo o průměrné, netréované jedince. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 9. Z ní je zřejmé, že

hodnoty v reálných případech jsou výrazně nižší, než při měření s figuranty při pádech do bazénu s vodou.

Tab. 9: Kinematické hodnoty z analýzy kriminálních případů – jednalo se o dobře zadokumentované případy

Typ pádu	Horizontální složka (m/s)
Sebevražda – krok vpřed	0,71
Sebevražda – krok vzad	0,52
Skok vzad – odraz	0,868
Sebevražda – pád vpřed – spontánní	0,89
Sebevražda – aktivní skok z místa – vpřed	2,05
Sebevražda – aktivní skok s rozběhem	3,41
Přiložení vnější síly	1,38
Nešťastná náhoda	0,557
Pád vpřed ze sedu	0,88

Článek vznikl za podpory vědeckého projektu SVV VŠFS „Empirické, experimentální a simulační metody ve vybraných forenzních vědách“ č. 7927/2019/06. Děkuji tímto figurantům a spolupracovníkům, kteří se podíleli na přípravě experimentální části projektu.

Použitá literatura

- BRUNOVÁ, M. *Dokazování trestné činnosti s využitím kriminalistických stop a identifikace*. Praha: VŠFS, 2019. Edice EUpress, s. 67–85. ISBN 978-80-7408-196-5.
- CROSS, R. Falls from a height. *Am. J. Phys.* 76, 9, September 2008, pp 833–837.
- FOLVARSKÁ, L. *Kinematické hodnocení skoku z výšky*. Olomouc: PŘF UPOL, 2013.
- KIRAN KUMAR, J. V. a A. K. SRIVASTAVA. Pattern of Injuries in fall from Height. *J Indian Acad. Forensic Med.* Jan-March 2013, Vol. 35, No. 1, s. 47–50.
- LEBEDEV, A. N. Vozmožnosti rekonstrukcii nekotorych obstoitelstv smertelnoj travmy při padenii s vysoty. *Voj. Med. Acad. jur.* 1985, s. 18–21.
- NOVOPACKÝ, D. *Ohledání místa činu po pádu člověka z výšky*. Praha: PA ČR, 2012.
- SHAW, K. P. a S. Y. HSU. Horizontal distance and height determining falling pattern. *Journal of Forensic Sciences.* 1998, 43/4, s. 765–771.
- STRAUS, J. a kol. *Biomechanika pádu z výšky*. Praha: PA ČR, 2004.
- STRAUS, J. Biomechanické aspekty pádů člověka z výšky. Sborník vědeckých prací „Identifikace potřeb právní praxe jako teoretický základ pro rozvoj kriminalistických a právních specializací“. Karlovy Vary: VŠKV, 2012, s. 288–297.
- STRAUS, J. a V. PORADA. *Teorie forenzní biomechaniky*. Praha: Vysoká škola finanční a správní, a.s., 2018. 168 s. Edice SCIENCEpress. ISBN 978-80-7408-140-8.