

Vysoká škola finanční a správní, a.s.

**Jiří Straus – Viktor Porada**

# TEORIE FORENZNÍ BIOMECHANIKY

Praha 2017

Vzor citace:

STRAUS, Jiří a PORADA, Viktor. *Teorie forenzní biomechaniky*. 1. vydání. Praha: VŠFS, 2017, 168 s. Edice SCIENCEpress. ISBN 978-80-7408-140-8.

## **Teorie forenzní biomechaniky**

Jiří Straus a Viktor Porada

Publikace byla podpořena z prostředků institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace Vysoké školy finanční a správní, a.s.

Recenzenti:

doc. Ing. Jaroslav Suchánek, CSc.

doc. JUDr. Jan Chmelík, PhD.

Vydala Vysoká škola finanční a správní, a.s., v edici SCIENCEpress

Estonská 500, 101 00 Praha 10

Tel.: +420 210 088 847, fax: +420 271 740 871

[www.vsfs.cz](http://www.vsfs.cz)

jako svou 241. publikaci

Vydání odborné publikace bylo schváleno vědeckou redakcí nakladatelství VŠFS, a.s.

Návrh obálky a layout Věra Veselá

Editor nakladatelství doc. Ing. Milan Kašík, CSc.

Vydavatelský redaktor Mgr. Petr Mach

Počet stran 168

První vydání, Praha 2017

Tisk Česká digitální tiskárna s.r.o., Hviezdoslavova 614/16, 400 03 Ústí nad Labem

Tato publikace neprošla redakční úpravou. Nakladatelství Vysoké školy finanční a správní neručí za obsahovou ani technickou kvalitu publikace. Za autorské dílo zodpovídají autoři.

© Vysoká škola finanční a správní, a.s., 2017

**ISBN 978-80-7408-140-8**

## Obsah

ÚVOD .....	4
1. KRIMINALISTIKA A FOREZNÍ VĚDY .....	6
2. BIOMECHANIKA A STRUKTURA SOUČASNÉ BIOMECHANIKY .....	11
3. FOREZNÍ BIOMECHANIKA.....	17
4. PREDIKCE TĚLESNÉ VÝŠKY OSOBY ZE STOP LOKOMOCE .....	21
5. REAKČNÍ ČAS ČLOVĚKA .....	30
6. ČASOVÁ RELACE KOPU A ÚDERU .....	45
7. ČASOVÁ BILANCE TRVÁNÍ VYBRANÝCH BOJOVÝCH AKCÍ.....	51
8. BIOMECHANIKA PÁDU Z VÝŠKY .....	59
9. PÁDY ZE STOJE NA PODLOŽKU .....	79
10. EXTRÉMNÍ DYNAMICKÉ ZATÍŽENÍ ORGANISMU .....	105
11. VYUŽITÍ TEORETICKÝCH POZNATKŮ FOREZNÍ BIOMECHANIKY V KRIMINALISTICKÉM EXPERIMENTU .....	133
12. INTERPRETACE ZNALECKÝCH ZÁVĚRŮ .....	146
LITERATURA .....	156
SUMMARY.....	166

# Úvod

Forenzní biomechanika je poměrně mladá forenzní věda, počátky využití forenzní biomechaniky při řešení trestných činů lze spatřovat počátkem 80. let 20. století. Z pohledu praktického využití řeší forenzní biomechanika otázky a problémy, na které neumí odpovědět žádná jiná forenzní věda. Uvědomíme-li si, že první skutečně vědecky podložené metody identifikace osob založil Alphonse Bertillon (1853-1914) v roce 1879 (identifikace osob podle 11 vnějších, přesně měřitelných znaků) a taková klasická kriminalistická metoda identifikace jako je daktyloskopie byla v českých zemích systematicky zavedena v roce 1903, pak forenzní biomechanika je z tohoto pohledu velmi mladý obor kriminalistické techniky.

Z pohledu biomechanických aplikací byla v prvopočátcích, na konci 19. století, studována závislost délky chodidla a tělesné výšky. Pěšinku lidské lokomoce pro identifikační účely zkoumal také Hans Gross. Pozornost věnoval vyhledávání, zajišťování a zkoumání trasologických stop. Metody dokumentace souvisle řazených trasologických stop popsal ve známé učebnici „Příručka pro vyšetřující soudce“ (v originále „Handbuch für Untersuchungsrichter“). Stala se první učebnicí vědecké kriminalistiky a zpopularizovala Grossovo jméno v celém světě. Řada doporučení a partií jsou dodnes platné.

V 70. letech se dále velmi intenzivně rozvíjel výzkum, který byl charakterizován jako „Aplikace biomechaniky v kriminalistice“. Od druhé poloviny 70. let byl nastartován velmi intenzivní výzkum orientovaný především na zkoumání biomechanického obsahu trasologických stop. Výzkum se zaměřoval nejen na geometrické znaky biomechanického obsahu, ale především na geometrické a dynamické znaky bipedální lokomoce. Vztahy byly precizovány pro velmi rozsáhlé soubory a lokomoci v různém disperzním prostředí (Porada, Karas, Suchánek, Padyšák, Straus).

V současné době je forenzní biomechanika standardní znalecký obor a rozvíjí se nejen díky experimentálnímu výzkumu, ale také díky využití počítačových simulací.

Biomechanická komunita dosáhla velké řady úspěchů mezinárodního dopadu a z nedostatku prostoru je nelze všechny vyjmenovat. Aplikace biomechaniky se postupně transformovaly do označení „Forenzní biomechanika“. Tak jako jiné forenzní obory, tak i forenzní biomechanika vychází z mateřského oboru biomechaniky a postupem vývoje si vytváří vlastní vědeckovýzkumnou základnu, směry vývoje a precizují se konkrétní možnosti využití forenzní biomechaniky ve znalecké činnosti. Forenzní biomechanika zcela zřetelně vymezila svůj předmět zkoumání a naplnila poznávací gnozeologickou a institucionální funkci vědního oboru (Karas, Porada, Straus, Kočí). Tato etapa končí zpracováním těchto monografií se zaměřením na forenzní biomechaniku:

Porada, V., Straus, J. Criminalistic and Forensic biomechanics. Praha: Police History, 2001, 158 s. ISBN 80-86477-02-9.

Valenta, J., Porada, V., Straus, J. Biomechanics. Criminalistic and Forensic Application. Praha: Police History, 2002, 255 s. ISBN 80-86477-09-06.

Valenta, J., Porada, V., Straus, J. Biomechanics. Aspects of General and Forensic Biomechanics. Praha: Police History, 2003, 312 s. ISBN 80-86477-14-2.

Valenta, J., Porada, V., Straus, J. Biomechanics. Aspects of General and Forensic Biomechanics, Criminalistic and Forensic Application. Praha: Police History, 2004, 343 s. ISBN 80-86477-22-3.

V předkládané monografii podrobně rozebereme některé teoretické otázky forenzní biomechaniky zaměřené na predikci tělesné výšky osoby ze stop lokomoce (oblast tzv. kriminalistické biomechaniky), reakční čas člověka, časové relace kopu a úderu, biomechaniku pádu z výšky a pádu ze stoje na podložku a extrémní dynamické zatížení organismu (oblast tzv. kriminalistických, soudně lékařských a soudně inženýrských aplikací).

Monografie „Teorie forenzní biomechaniky“ byla zpracována standardní, identifikovatelnou a vědecky uznávanou metodologií rozvoje forenzních věd. Kniha se týká přesně vymezeného problému forenzní biomechaniky. Metodologická východiska se opírají o dosavadní teoretické bádání a vědecké závěry jsou orientovány na praktické aplikace v kriminalistické praxi.

Monografie je výstupem z řešení výzkumného úkolu Interní grantové agentury VŠFS č. 7429/2017/07 s názvem „Nové možnosti zkoumání kriminalistických stop s biomechanickým obsahem a interpretace závěrů znaleckých zkoumání“ s využitím institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace Vysoké školy finanční a správní, a.s.

Autoři

# 1. Kriminalistika a forenzní vědy

Kriminalistika jako věda má svůj počátek na konci 19. století, v té době se kriminalistika vyvíjela ze dvou zdrojů, jedním z nich byly empirické poznatky získané v policejní praxi a dále dílčí poznatky z jiných, zejména přírodních a technických věd. V období svého formování vycházela jednoznačně z kriminalistické praktické činnosti a jejich potřeb objektivního zjišťování pravdy o trestném činu a jeho pachateli. Ve svých počátcích nebyla kriminalistika pokládána za vědeckou disciplínu, ale pouze za určitou metodiku nebo umění v boji se zločinem.<sup>1</sup> V tomto období vystačila prostým a jednoduchým přebíráním metod a prostředků z oblastí jiných, bouřlivě se rozvíjejících vědních disciplín. V dalším období neustrnula na úrovni pouze prostého přizpůsobování poznatků technických, přírodních a společenských věd své potřebě. Vymezila svůj předmět zkoumání, rozvinula vlastní vědeckou činnost, na jejímž základě došla k řadě významných poznatků, které nyní tvoří ucelený systém.<sup>2</sup>

Velký význam při vzniku kriminalistiky je připojován osobnosti Hanse Grosse, který se pokusil o začlenění kriminalistiky do systému věd. Mimochodem Hans Gross jako první použil pojmu „Kriminalistika“ („Kriminalistik“) a sepsal první učebnici kriminalistiky. „Příručka pro vyšetřující soudce“ (v originále „Handbuch für Untersuchungsrichter“), vyšla ve Štýrském Hradci v roce 1893 a byla určena k tomu, aby se stala první učebnicí vědecké kriminalistiky.<sup>3</sup>

Kriminalistiku lze vymezit jako samostatný vědní obor, který zkoumá a objasňuje zákonitosti vzniku, zániku, vyhledávání, zajišťování, zkoumání a využívání kriminalistických stop, jiných soudních důkazů a kriminalisticky významných skutečností, a vypracovává podle potřeb trestního zákona a trestního řádu metody, postupy, prostředky a operace v zájmu úspěšného odhalování, vyšetřování a předcházení trestné činnosti.<sup>4</sup>

Kriminalistika je vzhledem ke svému obsahu a formám výzkumu samostatným značně rozsáhlým interdisciplinárním vědním oborem. Kriminalistika využívá velkého množství metod a poznatků jiných oborů, které tvůrčím způsobem aplikuje na svůj předmět zkoumání. Vytváří kombinace poznatků v zájmu úspěšného odhalování, vyšetřování a předcházení trestné činnosti. K vědním oborům, jejichž vybrané poznatky jsou v různé míře tvůrčím způsobem využívány, patří zejména fyzikálně matematické a technické obory, biologie, medicína, psychologie, psychiatrie a další. Důležité je dále využívání poznatků ze speciálních oborů, jako bioniky, biomechaniky, biochemie, kybernetiky, soudního inženýrství aj.

Žádná věda, vědní disciplína, se nezabývá problematikou vzniku, shromažďování a využívání stop a soudních důkazů v procesu odhalování a předcházení trestné činnosti, a nelze proto exaktně kriminalistiku zahrnout jako specializaci do některé z nich. Kriminalistika není ani právní vědou ani ryze technickým oborem, ale je to samostatná vědní disciplína, která má své místo v systému věd.

Kriminalistika primárně zkoumá kriminalistickou stopu, ale velmi obecně lze konstatovat, že kriminalistická věda patří do skupiny věd zabývajících se zločinností,

<sup>1</sup> MUSIL, J., KONRÁD, Z., SUCHÁNEK, J. Kriminalistika. Praha: C. H. Beck, 2001, s. 6.

<sup>2</sup> STRAUS, J. Kriminalistika a policejní vědy. Bezpečnostní teorie a praxe, zvláštní číslo, 2000, s. 194.

<sup>3</sup> V roce 1893 vydal svou nejslavnější knihu, nazývanou „Biblií kriminalistiky“, Handbuch für Untersuchungsrichter (Příručka pro vyšetřující soudce). Náklad této knihy byl ihned rozprodán, v roce 1895 proto následovalo další vydání. Tato kniha byla pak ještě vícekrát vydávána i po Grossově smrti, naposledy v roce 1977 v Berlíně.

<sup>4</sup> STRAUS, J. a kol. Úvod do kriminalistiky, 3. rozšířené vydání, Plzeň: A. Čeněk, 2012.

společně s trestněprávní vědou, kriminologií, penologií a různými forenzními vědami, jakými jsou nepochybně soudní lékařství, soudní psychologie a psychiatrie, soudní inženýrství atp. Reálné objekty zkoumání této skupiny věd jsou povětšinou shodné. Jedná se zejména o následující objekty – trestné činy a jejich následky, pachatele trestných činů, činnost pachatelů trestných činů, činnost pracovníků policie, státních zastupitelstev a soudů, činnost znalců, znaleckých institucí a obětí trestných činů.

Kriminalistika jako vědecká disciplína však zkoumá tyto objekty z hledisek sobě vlastních, specifických okruhů zákonitostí, které nejsou zkoumány žádnou jinou vědní disciplínou. Jedná se o dva následující okruhy zákonitostí objektivního světa, které jsou specifickým **předmětem** kriminalistické vědy. Za prvé to jsou zákonitosti vzniku a zániku kriminalistických stop, jiných soudních důkazů a kriminalisticky relevantních informací. Za druhé to jsou zákonitosti vyhledávání, zajišťování, zkoumání a využívání kriminalistických stop, jiných soudních důkazů a kriminalisticky relevantních informací v zájmu rychlého, úplného a objektivního odhalování, vyšetřování a prevence trestných činů.

Kriminalistika má velmi blízko k právním vědám, tedy vědám o právu. Nejblíže pak k trestnímu právu hmotnému a procesnímu, stejně jako k součásti správního práva – bezpečnostnímu právu. Tato skutečnost vede některé teoretiky k úvahám o tom, že kriminalistika je jakýmsi pomocným vědním oborem nauky o trestním právu, tedy právní disciplínou. Začlenění kriminalistiky do oblasti právních věd je typickým pro sovětské, nyní ruské, pojetí kriminalistiky.

V některých zemích, např. Francie, Švýcarsko, se akcentuje technický pohled na kriminalistiku („police technique“), v jiných zemích (USA, Anglie) se zdůrazňuje vědecké zázemí („forensic science“). V německy hovořících zemích je obsah kriminalistiky vymezován stejně jako u nás.<sup>5</sup>

Většina českých a slovenských kriminalistů však vychází z poznatku, že kriminalistika není vědou o právu ani o právních vztazích. Trestní právo hmotné i procesní je propojeno s kriminalistickou vědou i praxí tím, že vymezuje jeden z konkrétních objektů poznání – trestný čin. Současně vytváří právní rámec a nepřekročitelné limity pro využívání kriminalistických metod, prostředků, postupů a doporučení uplatňovaných v kriminalistické praxi. Přitom se kriminalistika a trestní právo procesní vzájemně ovlivňují.

Někteří autoři zastávají názor, že vztah mezi trestním právem procesním a kriminalistikou je vztahem obsahu a formy. Vycházejí z předpokladu, že obsah tvoří kriminalistické metody a forma je určována trestním řádem. V této souvislosti je třeba podotknout, že metody kriminalistické praxe, jakožto metody poznání, jsou platné bez ohledu na právní systém toho kterého státu, jakož i bez ohledu na zákonnou právní úpravu na určitém teritoriu a v určité době. Jednou z úloh kriminalistiky je zkoumání a zdokonalování metod, postupů a operací kriminalistické praxe. Tyto metody, postupy a operace pak podle požadavků trestního řádu platného na určitém území a v určité době se transformují do podoby procesních úkonů a taktiky jejich provádění.

V současné době je kriminalistika vzhledem k obsahu a formám výzkumu samostatným a rozsáhle interdisciplinárním vědním oborem. Využívá vybraných metod a poznatků jiných oborů, jež aplikuje na svůj předmět zkoumání (zákonitostí vzniku, shromažďování, využívání stop a soudních důkazů), a vytváří kombinace poznatků v zájmu úspěšného odhalování, vyšetřování a předcházení trestné činnosti. K vědním oborům, jejichž vybrané poznatky jsou v různé míře tvůrčím způsobem využívány, patří zejména fyzikálně matematické a technické obory, biologie, medicína,

---

<sup>5</sup> MUSIL, J., KONRÁD, Z., SUCHÁNEK, J. Kriminalistika. Praha: C. H. Beck, 2001, s. 6.

psychologie, psychiatrie, řízení, pedagogika a další. Důležité je dále využívání poznatků ze speciálních oborů, jako bioniky, biochemie, kybernetiky, soudního inženýrství nebo nově se rozvíjejícího, velmi progresivního oboru forenzní biomechaniky.

Kriminalistická věda přebírá také část poznatků jiných věd v nezměněné podobě a využívá je, především se jedná o **forenzní vědy**, jako jsou soudní lékařství, soudní psychiatrie, forenzní psychologie, soudní inženýrství a v poslední době také forenzní biomechanika.<sup>6</sup> Forenzní vědy jsou obecně vymezeny jako vědy, které se aplikují při vyšetřování a dokazování v trestních i civilních řízeních před státními orgány. Jde o postupy vedoucí k prokázání identity osob, pravosti listin a podobně.<sup>7</sup>

Tyto disciplíny se konstituovaly na bázi znaleckého zkoumání, pro potřeby vyšetřování jsou relativně nezávislé na původních vědeckých základech. Forenzní disciplíny začaly postupně vyvíjet vlastní výzkumnou činnost na poznatkové bázi nejen svých mateřských oborů, ale také generalizací získaných zkušeností ze znalecké činnosti. Tím se velmi těsně přimkly ke kriminalistice. Objevují se názory, že by bylo možné chápat forenzní disciplíny jako součást kriminalistické vědy v širším smyslu, ale tento přístup není zatím naší kriminalistickou komunitou akceptován. Většinou se namítá, že přece jen velkou část poznatků čerpají forenzní disciplíny ze svých mateřských disciplín. Nesporné však je, že kontakt kriminalistiky a forenzních disciplín je mimořádně těsný, navzájem obohacující, a určitě přesnou hranici mezi nimi není v podstatě možné.

Pojem forenzní vědy je citován v západní literatuře, např. **American Academy of Forensic Sciences** (AAFS) ji definuje takto: „Forenzní věda je aplikace vědeckých principů a technologických postupů pro účely spravedlnosti ve studiu a řešení trestních a občanských otázek“.<sup>8</sup> V tomto pojetí zahrnuje AAFS kriminalistiku jako jednu z forenzních věd.

Podle slovníku cizích slov<sup>9</sup> znamená slovo „forenzní“ jako „vztahující se k použití vědeckých a technologických postupů při zajišťování, prokazování a vyšetřování skutečnosti a ověřování důkazů v rámci trestního i občanského práva“. Původní význam slova *forenzní* je odvozen z latinského *forensis*, což znamená fórum. V antickém Římě byly případy obvinění z trestného činu prezentovány před skupinou lidí na veřejném fóru, ve kterém obviněný i žalobce přednesli své argumenty a na jejich základě pak bylo usneseno rozhodnutí. V americkém pojetí slovo *forensis* znamená vztahující se k právu.<sup>10</sup> V českém pojetí je pojem *forenzní* často nahrazován pojmem *soudní* (např. soudní lékařství).

Vymezení pojmu „forenzních věd“ není jednotné, jen stručnou analýzou literárních zdrojů lze vymezit několik definicí:<sup>11</sup>

- Forenzní věda znamená využití přírodních věd ve věcech práva. Forenzní vědy využívají poznatky fyziky, chemie, biologie a dalších vědeckých principů a metod. Forenzní věda se zabývá stanovením identifikace objektu. Forenzní vědci mohou prezentovat své výsledky jako soudní znalci u soudu.<sup>12</sup>

<sup>6</sup> STRAUS, J. Forenzní biomechanika. Praha: PA ČR, 1999, 256 s.

<sup>7</sup> [https://cs.wikipedia.org/wiki/Forenzn%C3%AD\\_v%C4%9Bdy](https://cs.wikipedia.org/wiki/Forenzn%C3%AD_v%C4%9Bdy) (11. 2. 2015)

<sup>8</sup> <http://www.aafs.org/>

<sup>9</sup> KLIMEŠ, L. *Slovník cizích slov*. Praha: SPN, 1981, s. 183.

<sup>10</sup> Definition of Forensic Science. All about forensic science (online), 30. 1. 2015, dostupné na <http://www.all-about-forensic-science.com/definition-of-forensic-science.html>

<sup>11</sup> Definition of Forensic Science. All about forensic science (online), 30. 1. 2015, dostupné na <http://www.all-about-forensic-science.com/definition-of-forensic-science.html>

<sup>12</sup> Midwest Forensics Resource Center at the U.S. Dept. of Energy.



- Slovo "forenzní" znamená "vztahující se k zákonu"; forenzní vědy řeší právní otázky, a to za použití vědeckých principů.<sup>13</sup>
- Forenzní vědy využívají metod a technik základních věd k řešení právních otázek. Forenzní vědci jsou často označováni za „laboratorní vědce“, přesněji soudní znalce, jsou to kriminalisté, kteří pracují s fyzickými důkazy shromážděnými na místech trestných činů.<sup>14</sup>
- Forenzní věda je vědecká analýza a dokumentace důkazů vhodných pro soudní řízení.<sup>15</sup>

Forenzní vědy jsou tedy vědy, které se zabývají vývojem a aplikací specifických metod na vědeckém základě, které napomáhají při vyšetřování a dokazování trestných činů. Podnětem k vytvoření a aplikaci forenzních disciplín byl zejména technický rozvoj a s ním i rozvoj nových, technicky promyšlenějších způsobů, jak páchat trestné činy.

V posledních dvaceti letech se objevuje řada terminologických a teoretických otázek spojených s používáním pojmu „forenzní“. Naskytá se otázka, jaký je **vztah kriminalistiky a forenzních věd z pohledu současné kriminalistické teorie**. V posledních dvaceti letech se v naší kriminalistické a bezpečnostní literatuře často hovoří o forenzních vědách. Před rokem 1989 se u nás o forenzních vědách uvažovalo pouze v případech pronikání příbuzných vědních oborů do kriminalistického zkoumání a teprve s otevřením hranic a přísunem zahraniční literatury se postupně začala přejímat terminologie „západu“, kde se používá pojem „Forensic science“ nebo „Forensische Wissenschaften“.

Obecně se uvádí, že kriminalistická věda přebírá také část poznatků jiných věd v nezměněné podobě a využívá je, především se jedná o forenzní disciplíny. Podle mého názoru se v naší kriminalistické literatuře pojem „forenzní“ vyměnil za dříve využívaný pojem „kriminalisticko-technický“. A to v řadě oborů kriminalistických zkoumání. Naopak kriminalisticko-taktické metody nejsou přejímány jako forenzní. Zcela běžně se používají pojmy forenzní balistika, forenzní antropologie, forenzní biologie, ale nemluví se např. o forenzním výsledku, forenzním experimentu, forenzní rekognici atd. Lze dovozovat, že forenzní vědy, tak jak jsou v některých zemích chápány, lze nahradit synonymem „kriminalisticko-technické aplikace“.

Z našeho pohledu je kriminalistika jako věda širší vědecká disciplína a podle mého názoru zahrnuje i forenzní vědy. Kriminalistika zahrnuje nejen kriminalisticko-technické metody, ale také kriminalisticko-taktické metody a dále jednotlivé metodiky vyšetřování konkrétních trestných činů a obecně teoretické otázky kriminalistiky.

Z celkového hlediska lze spatřovat dva světové pohledy na pojetí kriminalistiky. V zemích anglosaského práva, zejména ve Velké Británii a USA, je kriminalistika označována pojmem *forensic science*. Pojetí kriminalistiky je založeno především na přírodovědném a technickém zkoumání a je kladen důraz na technické a kriminalistické zkoumání stop.

V zemích kontinentálního práva se více frekventuje pojem „kriminalistika“, který zahrnuje nejen oblast technického zkoumání, ale i kriminalistickou taktiku a metodiku. Některé státy tak kladou důraz na technickou stránku (Francie) a jiné zas prosazují vědecký základ (USA). V současnosti se však s rostoucí globalizací prosazuje stále více pojem „*criminalistics*“ a dochází tak k postupnému sjednocování přístupů a terminologie.

<sup>13</sup> Hall Dillon, Bureau of Labor Statistics.

<sup>14</sup> California Criminalistics Institute.

<sup>15</sup> Hamilton County Forensic Center.

Kriminalistická věda se bude rozvíjet vždy takovým tempem a takovým směrem, jak ji bude orientovat především teoretická základna. Jsem toho názoru, že rozvoj kriminalistické vědy kromě teoretické báze určují vždy také osobnosti – kriminalisté-teoretici. Proto je nutné rozvíjet výzkum nejen aplikovaný, bezprostředně využitelný v kriminalistické praxi, ale stejně intenzivně a široce i základní teoretický výzkum nad nosnými kriminalistickými problémy a kategoriemi.

## 2. Biomechanika a struktura současné biomechaniky

Biomechanika je vymezena jako obor, který přispívá k řešení těch biologických a medicínských problémů, jejichž součástí jsou i podproblémy mechanického charakteru, tzv. „problémy biomechanické“. K jejich řešení se využívají poznatky, přístupy, metody a teorie mechaniky. Biomechanické problémy se řeší na biomechanických objektech, které mohou mít nejrůznější charakter. Mohou to být prvky flóry nebo fauny, u biomechaniky člověka to může být objekt technický, a to v různé interakci s lidským organismem (implantát, fixátor), nebo je to sám lidský organismus jako celek či jeho neoddělená (in vivo), resp. oddělená část (in vitro).

Biomechanika je tedy vymezena jako obor, který využívá vše z mechaniky pro řešení problémů v oblasti biooborů, především v medicíně a biologii.<sup>16</sup>

*Biomechanika je definována jako interdisciplinární věda, zabývající se především studiem mechanické struktury a mechanického chování živých systémů a jejich interakcí s okolím.*<sup>17</sup>

Biomechanika se nalézá na počátku svého rozvoje, nicméně již dosáhla mnoha úspěchů. Její cíle jsou zatím omezené, protože záhy se poznalo, že popis izolovaných jevů nedává dostatečně použitelné výsledky. Proto se dnes postupně přechází na modelování složitých systémů i za cenu obtíží v matematickém popisu a experimentální technice. Ukázali jsme, že nová kvalita systému vznikla přenosem informací a jejich zpracováním. To však je právě spojeno s integritou celého systému a jeho reakcí na okolí. Současná metodika studia je zatím značně poplatná snahám po izolování částí z celku a popisu jejich vazby jednoduššími okrajovými podmínkami, tak jak tomu je v klasické mechanice kontinua. Současným cílem je získat obecně platné poznatky pokud možno nejjednodušším a dostatečně přesným způsobem.<sup>18</sup>

Pro popis složitějších poznatků je třeba užít matematických modelů. Matematický model popisuje realitu vždy jen přibližně, bez něho však nelze zatím metodami mechaniky pracovat.

Prvním krokem je zjištění geometrických parametrů tkání, orgánů, orgánových struktur a substruktur těchto objektů, které studujeme, a volba jejich adekvátních modelů (deska, nosník, membrána, vlákno apod.).

Druhým krokem je zjištění materiálových vlastností a opět volba jim odpovídajících modelů, tj. konstitutivních neboli materiálových rovnic. Pro biomechaniku je charakteristické, že tento krok je velmi nesnadný. Vyplývá to jednak z toho, že materiálové vlastnosti živých tkání jsou složité (nelinearita, závislost na historii, velké deformace), a navíc, abychom tkáně mohli studovat, musíme je vyjmout z těla (většinou post mortem), a zkoumáme pak vlastnosti, které jsou již částečně odlišné od podmínek in vivo. Konstatování této skutečnosti není ovšem výzvou k pesimismu, musíme si být pouze vědomi toho, že pracujeme s nižší přesností než v klasické mechanice, a je proto třeba klást zvýšený důraz na stálé ověřování a porovnávání výsledků, které získáme z různých přístupů.

Třetím krokem je matematické zpracování dané úlohy: Na základě obecně platných zákonů mechaniky, informací o geometrii vnější a vnitřní skladby a konečně

<sup>16</sup> JANÍČEK, P. Systémové pojetí vybraných oborů pro techniky. Hledání souvislostí. Brno: CERM, 2008.

<sup>17</sup> KARAS, V. Biomechanika pohybového systému. Praha: UK, 1978.

<sup>18</sup> VALENTA, J. a kol. *Biomechanika*. Praha: Academia, 1985.

na základě materiálových rovnic odvodíme výchozí rovnice odpovídající danému problému a řešíme je pro příslušné okrajové, popřípadě počáteční podmínky.

Čtvrtým krokem je ověření výsledků pozorováním a proměřováním na objektu, pokud možno v podmínkách *in vivo*, a korigování výchozích hypotéz a parametrů.

Pátým krokem je potom využití v diagnostice, terapii, prevenci, popřípadě v aplikaci na technické konstrukce. Celá tato cesta je obtížná a zatím často neschůdná. Historie vědy nás však učí, že dílčí poznatky se často využívaly s vynikajícími výsledky a teprve mnohem později byla celá problematika do hloubky objasněna a pochopena.<sup>19</sup>

Rovnice mechaniky vypracované pro působení těles musí přirozeně platit i pro živé organismy, ale nejsou postačující. Hlavním předmětem biomechaniky je studium procesů ve složitých živých systémech a axiomy klasické mechaniky jsou základem, z něhož nutno vycházet a postupně je doplňovat zákony termodynamiky otevřených systémů, mikrobiologie aj.

Biomechaniku lze členit podle těchto kritérií:<sup>20</sup>

1. **Podle typu bioobjektu**, na němž se řeší biomechanický problém, existuje:

- **Biomechanika člověka** – je to nejrozsáhlejší a nejrozpracovanější oblast biomechaniky zabývající se širokým spektrem biomechanických problémů. Její počátky sahají až do dob Aristotela (zdůrazňoval nutnost propojení fyziky se živými objekty), Demokrita (vysvětloval jednotně vlastnosti živé a neživé hmoty na základě tzv. „atomismu“) a Hippokrata (pojednání o obnovování kostní tkáně). Leonardo da Vinci poprvé popsal mechaniku pohybu lidského těla a mechaniku letu ptáků.
- **Biomechanika zvířat** – zabývá se mnoha obdobnými problémy jako biomechanika člověka.
- **Biomechanika rostlin** – zabývá se např. tuhostními a pevnostními problémy stébel rostlin, prouděním živin přes jednotlivé části rostlin, přenosem elektrických signálů při fotosyntéze apod.

2. **Podle odvětví mechaniky**, které se využívá při řešení biomechanického problému. Existuje tedy:

- **Bioteplotomika** – zabývá se problémy vedení, sdílení a konvekce tepla v bioobjektech.
- **Biohydromechanika** – zabývá se hydromechanickými a hydrodynamickými problémy biokapalin (u stromů mízy, u člověka krve, lymfy, moči).
- **Bioaerodynamika** - zabývá se problematikou proudění plynů (např. proudění vzduchu nosem, kolem hlasivek, hrtanem a v plicích).
- **Biomechanika tuhé fáze** – zabývá se problematikou pohybu těles, jejich deformacemi a porušováním soudržnosti. Tuto část biomechaniky lze členit na tyto obory:
  - *biostatiku*, která vyšetřuje podmínky silové rovnováhy a ekvivalence na bioobjektech,
  - *biokinematiku*, vyšetřující posuvy, rychlosti a zrychlení vybraných bodů bioobjektů,
  - *biodynamiku*, zabývající se pohybem bioobjektů v závislosti na silovém působení,

---

<sup>19</sup> VALENTA, J. a kol. *Biomechanika*. Praha: Academia, 1985.

<sup>20</sup> JANÍČEK, P. Systémové pojetí vybraných oborů pro techniky. Hledání souvislostí. Brno: CERM, 2008, s. 10–35.

- *bioelasticitu*, jejíž náplní je určování a analýza deformací a napětí u bioobjektů, porušování soudržnosti bioobjektů, a to pro jejich různá chování (elastická, elasto-plastická, vizkoelastická, při malých či velkých deformacích) a při jejich různých strukturách (izotropních až anizotropních).

S ohledem na progresivní výpočtové metody a přístupy (metoda konečných prvků [MKP], metody umělé inteligence atd.) aplikovatelné na všechny části mechaniky stane se uvedené členění anachronismem.

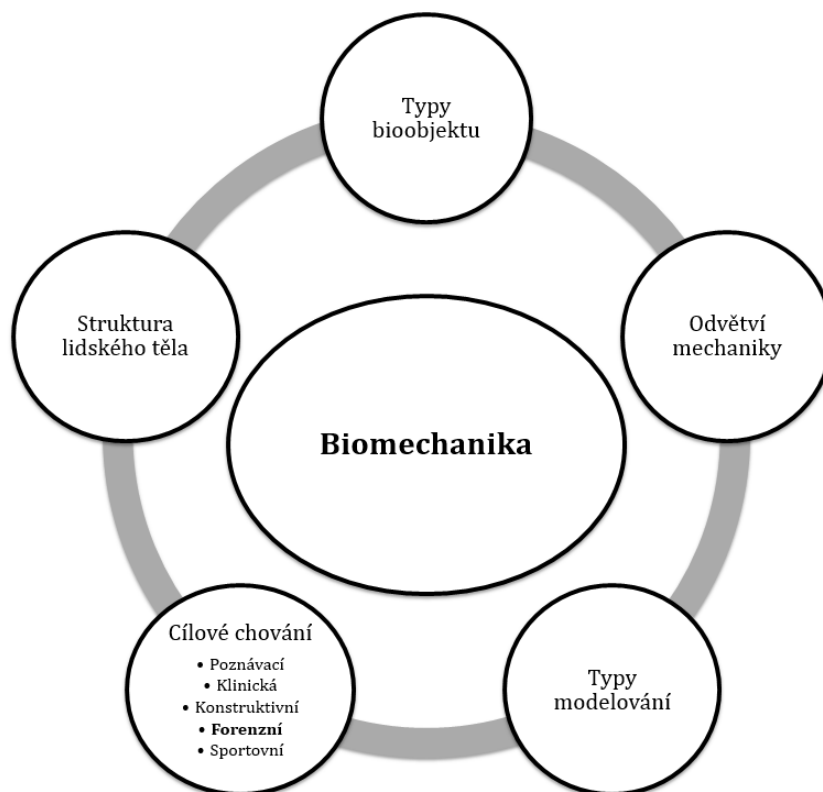
### 3. Podle typu modelování, které využívá při řešení problémů biomechaniky člověka:

- **Experimentální biomechanika** – při řešení problému má aktuální preferenci experiment – výpočty mají jen sekundární úlohu; používají se zejména při zpracování výsledků měření, též jako součást plánování měření.
- **Výpočetní biomechanika** – aktuální preferenci při řešení problémů má výpočtové modelování. Jeho použití je podmíněno existencí teorie v matematickém vyjádření, její řešitelností a realizovatelností na výpočetním prostředku, a dále musí existovat vstupní údaje do algoritmu příslušné přímé či nepřímé úlohy. V současnosti se v řešení biomechanických problémů pro klinickou praxi používají numerické metody, především v podobě metody konečných prvků.

### 4. Podle cílového chování biomechaniky:

- **Poznávací biomechanika** – má charakter cílevědomého, systematického a objektivizovaného poznávání bioorganismů z určitého vymezeného hlediska s využitím mechaniky. Především jde o poznávání vlastností a chování prvků a jejich vazeb v bioobjektu, vlastností a chování bioobjektu jako celku a jeho vazeb s okolím. Patří sem např. výzkum mechanických vlastností tkání, jejich chování při zatížení, mezních stavů tkání, výzkum vlastností a proudění biotekutin, kinematika a dynamika svalově-kosterní soustavy apod.
- **Klinická biomechanika** – zabývá se řešením konkrétních klinických problémů u bioobjektů, v jejichž struktuře (prvky, vazby) nastal patologický stav, přičemž existuje vysoká pravděpodobnost, že propojením lékařských a inženýrských přístupů, případně s využitím technických objektů implantátů, lze patologický stav zcela nebo částečně odstranit. Klinickou biomechaniku lze členit na bezimplantační (např. biomechanické návrhy na operační rekonstrukci patologicky vyvinutých velkých kloubů) a dočasně nebo trvale implantační (např. určování deformačně-napěťových stavů v prvních endoprotézách a okolních tkáních).
- **Konstruktivní biomechanika** – cílem je využití poznatků a metody mechaniky při návrhu a realizaci technických objektů s určitým cílovým chováním, které slouží k řešení klinických problémů. Technické objekty mohou mít různorodý charakter: od chirurgických a ortopedických pomůcek přes dočasné nebo trvalé implantáty až po zařízení pro udržení nebo obnovu fyziologických funkcí.
- **Kriminalistická (forezní) biomechanika** – je souborem kriminalistických přístupů a metod využívajících poznatky mechaniky k získání a rozšiřování informací o příčinách trestného činu, o objektech podílejících se na jeho realizaci a o charakteristikách pachatele, to vše na základě známých informací o důsledcích a okolnostech trestného činu. Je to kriminalistika lidských stop v obousměrné interakci „člověk – okolí“, které obsahují informaci dekódovatelnou s využitím poznatků mechaniky.

- **Sportovní mechanika** – je oborem využívajícím poznatky mechaniky při řešení problémů souvisejících se sportovní činností člověka, zejména při:
    - zvyšování jeho sportovních výkonů,
    - objektivizaci odezev sportovních činností (zejména gymnastika, volejbal, kopaná, házená, hokej, box, vzpírání) na vlastnosti a chování prvků struktury organismu a na něm probíhajících procesů,
    - optimalizaci rehabilitačních sportovních procesů,
    - tvorbě technických objektů pro tréninkové, posilovací, rehabilitační a klinické účely sportovců.
  - **Interakční biomechanika** – zabývá se problémy souvisejícími s interakcemi typu „okolí – člověk“, dále s problematikou prevence vůči nepříznivým vlivům těchto interakcí a s rehabilitačními problémy při odstraňování jejich následků. Okrajově sem patří i problematika opačně orientované interakce, tedy „člověk – okolí“, která je předmětem ekologického inženýrství.
5. Podle prvků struktury lidského těla, kterými se zabývá klinická a poznávací biomechanika:
- **Na nejvyšší úrovni hierarchie lidského těla** jsou to biomechaniky jednotlivých funkčních soustav lidského těla. Existuje tedy biomechanika: soustavy svalově-kosterní, srdečně-cévní (oběhové), dýchací, trávicí, močové, reprodukční, dále dentální biomechanika a biomechanika smyslových orgánů. Biomechaniku kosterní, srdečně-cévní, dentální a močovou a biomechaniku sluchových orgánů lze členit na bezimplantační a implantační.



Obr. 1 - Struktura biomechaniky (Straus)

**A. Biomechanika svalově-kosterní soustavy** může být členěna na tyto prvky:

- **Biomechanika kloubu** kyčelního, kolenního, loketního, hlezenního.
  - *Bezimplantační biomechanika kyčelního spojení se např. zabývá těmito problémy:*
    - zkoumáním deformačně-napěťových stavů v kostech a svalech kyčelního spojení a v kloubní chrupavce při jejich fyziologických a patologických stavech,
    - biomechanickým posuzováním různých typů osteotomií při rekonstrukcích patologicky vyvinutých geometrií kyčelních spojení,
    - vliv velikosti stříškování (zakrytí hlavice kyčelního kloubu pánevní kostí) na rozložení stykového tlaku mezi hlavicí kyčelní a jamkou.
  - *Implantační biomechanika kyčelního spojení se podílí např. na řešení těchto typů problémů:*
    - návrhy částečných a totálních endoprotéz z hlediska deformačně-napěťových stavů v prvcích endoprotézy a v přilehlých kostech (stehenní a pánevní kosti),
    - problematikou interakcí prvků endoprotéz s přilehlými kostmi,
    - zjišťováním příčin vzniku mechanických mezních stavů u prvků endoprotéz a přilehlých kostí (lomy keramických hlavíc, dřívků a umělých kloubních jamek apod.),
    - vlivem geometrie kyčelní endoprotézy (velikosti kolodiafyzárního úhlu, polohy acetabula), materiálové struktury acetabula (vícevrstvá acetabula z různých materiálů) apod. na deformačně-napěťové stavy v prvcích endoprotézy a v přilehlých kostech,
    - mechanickou interakcí cementovaných kyčelních endoprotéz se stehenní kostí.
- **Biomechanika páteře** (krční, bederní) – zabývá se problémy:
  - určování deformačně-napěťových stavů v prvcích páteře (obratle, meziobratlové ploténky) při různých způsobech namáhání páteře,
  - výpočtové a experimentální ověřování tuhostních a pevnostních vlastností bederních fixátorů,
  - výpočtové a experimentální deformačně-napěťové analýzy prvků páteře se zvýšenou tuhostí dosaženou interními aplikacemi materiálů typu cement a biokeramiky,
  - určování mechanických vlastností strukturně degradovaných prvků páteře, např. v důsledku osteoporózy, různých mechanických traumat apod.
- **Biomechanika dlouhých a krátkých kostí** – předmětem jejího zkoumání je např.:
  - strukturní a tvarová optimalizace vnitro dřevňových hřebů používaných při zlomeninách stehenních kostí a kluzných šroubů používaných při zlomeninách krčku této kosti,
  - deformačně-napěťová analýza prvků soustavy „vnější fixátor typu Ilizarov – stehenní kost“,
  - deformačně-napěťová odezva kostní tkáně (kortikální a spongiózní) na zavrtání různých typů šroubů (válcové a kuželové dřívky, různé tvary, šířky a stoupání závitů), různě zatížených,
  - řízená osteotomie dlouhých kostí (náhrada „krvavé“ osteotomie při prodlužování kostí).
- **Biomechanika svalů** – natržení a utržení svalů, úponů a šlach, mikro-biomechanika sarkomery apod.

**B. Biomechanika srdečně-cévní soustavy** může být dekomponována na tyto prvky:

- **Biomechanika srdce** – zabývá se problémy:
  - deformačně napěťových stavů v srdečním svalu,
  - biomechanickými problémy v souvislosti s vývojem umělého srdce,
  - problematikou elektrických a mechanických odezev izolovaných srdečních buněk na elektrické a chemické podněty apod.
- **Biomechanika cév** – řeší problémy:
  - deformačně-napěťových stavů ve stěnách tepen od přetlaku krve, od axiálního předpětí a od vlastní napjatosti (zbytková obvodová napětí ve stěně cévy),
  - deformačně-napěťových stavů v místech spojení tepny s umělou tepennou náhradou (klasické spojení šitím, prognostikované spojení přeplátováním a slepením),
  - určování mechanických vlastností umělých tepenních náhrad, problémy výztuží tepen apod.,
  - výpočtového modelování deformačně-napěťových stavů v oblasti výdutí tepen při použití arteriálních stentů (výztuží).
- **Biomechanika žil** – řeší problematiku průtoku krve u fyziologických a patologických stavů žil.

**C. Biomechanika dentální soustavy** – řeší se např. tyto problémy:

- výpočtové modelování deformačně-napěťových stavů u lepených zubních můstků z kompozitních materiálů, včetně určování mezních stavů deformace (nesmí nastat dotek můstku s tkání čelisti),
- výpočtové modelování uložení zubů v zubním lůžku,
- výpočtové modelování interakce zubního implantátu s dolní čelistí,
- výpočtové modelování deformačně-napěťových stavů ve spodní čelisti od silového působení mezi zuby v různých místech spodní čelisti (modelování skusů mezi různými dvojicemi zubů).

**D. Biomechanika sluchové soustavy** – řešenými problematikami jsou:

- modální a harmonická analýza vnějšího zvukovodu,
- vliv vlastní frekvence a tvaru kmitu na odezvy bubínku,
- výpočtové modelování cochley (šneku) a odezvy bazilární membrány na mechanické buzení od středoušních kůstek,
- deformačně-napěťové analýzy středoušních kůstek při přenosu zvuku do vnitřního ucha.

Na nejnižší úrovni hierarchie prvků struktury lidského těla pak existuje **mikrobiomechanika tkání**.

U kostních tkání je to problematika remodelace kostní tkáně, biomechanických vlastností osteonů, u svalových tkání je to biomechanika na úrovni sarkomery a jejich prvků (aktinových a myozinových vláken). V současnosti je mikrobiomechanika rozvíjena s využitím tzv. **metody homogenizace**.<sup>21</sup>

---

<sup>21</sup> JANÍČEK, P. Systémové pojetí vybraných oborů pro techniky. Hledání souvislostí. Brno: CERM, 2008, s. 10–35.



### 3. Forezní biomechanika

Biomechanika se zabývá aplikací zákonů mechaniky v biologii, medicíně, tělovýchově a sportu, kriminalistice apod.<sup>22</sup> Biomechanika je *definována jako interdisciplinární věda, zabývající se především studiem mechanické struktury a mechanického chování živých systémů a jejich interakcí s okolím.*<sup>23</sup> Využití biomechaniky v kriminalistice je především závislé na samotné stopě trestného činu. Možnosti využití biomechaniky v kriminalistice jsou závislé také na tom, zda stopa má biomechanický obsah, tím máme na mysli zakódované informace o svalově-kosterním aparátu pachatele a jeho pohybovém chování ve stopě.<sup>24</sup>

Zkušenosti a logické důvody dovolují tvrdit, že subjekt stopy vytvářející způsobí na přijímajícím objektu stopy takových materiálních změn, které jsou jistým odrazem některých somatických vlastností a rovněž pohybového chování objektu, který stopu vytvořil. Z hlediska klasifikace kriminalistických stop řadíme tyto stopy do skupiny kriminalistických stop, které odrážejí funkční a dynamický projev působícího objektu, tj. člověka.<sup>25</sup>

Z pohledu historie je forezní biomechanika poměrně velmi mladý obor v systému forezních věd. Biomechanika nejprve byla velmi okrajově využívána pro řešení problémů v kriminalistice a v 60. a 70. letech minulého století<sup>26</sup> se rozvíjel vědecký výzkum biomechanických aplikací (Porada 1972, 1976).<sup>27, 28</sup> V té době vznikaly první „forezní“ vize na katedře anatomie, biomechaniky a antropomotoriky FTVS UK v Praze, které byly spíše intelektuálního charakteru. Na rozvoji biomechanických aplikací v kriminalistice se podílel celý tým katedry pod vedením prof. Karase. Podle mých zkušeností se v komunitě kriminalistů začíná užívat pojem „forezní biomechanika“ až od počátku 90. let, kdy byla tato vědecká disciplína využívána jako znalecký obor (viz Karas, Porada, Straus 1997; Karas, Straus, Porada 1998).<sup>29</sup> Ve druhé polovině 90. let se forezní biomechanika začíná systematicky rozvíjet i na katedře kriminalistiky Policejní akademie ČR v Praze. Výzkum katedry kriminalistiky navázal na vědecké poznatky z minulých let založené prof. Viktorem Poradou. Prof. Porada byl blízký spolupracovník prof. Karase a ve svých vědeckých studiích položil základní myšlenkové směry biomechanických aplikací v kriminalistice a realizoval řadu experimentálních prací.

Tak jako jiné forezní obory, tak analogicky i forezní biomechanika vychází z mateřského oboru biomechaniky a postupem vývoje generuje poznatky ze znalecké praxe a vytváří si vlastní vědeckovýzkumnou základnu, směry vývoje a precizují se konkrétní možnosti využití forezní biomechaniky ve znalecké činnosti. Forezní biomechanika se natolik vyprofilovala jako samostatný obor, že v posledních letech

---

<sup>22</sup> VALENTA, J. a kol. *Biomechanika*. Praha: Academia, 1985.

<sup>23</sup> KARAS, V. *Biomechanika pohybového systému člověka*. Praha: UK, 1978.

<sup>24</sup> PORADA, V., STRAUS, J., KARAS, V. Odhad somatických znaků člověka ze stop nohou. *Čs. kriminalistika*, 4, 1992. STRAUS, J. Aplikace forezní biomechaniky. Praha: Police history, 2001.

<sup>25</sup> PORADA, V. *Teorie kriminalistických stop a identifikace*. Praha: Academia, 1987. PORADA, V. *Kriminalistická biomechanika*. In: VALENTA, J. a kol. *Biomechanika*. Praha: Academia, 1985.

<sup>26</sup> V průběhu vývoje se nejprve používalo označení „biomechanický obsah kriminalistických stop“, později se vygeneroval pojem „Kriminalistická biomechanika“.

<sup>27</sup> KARAS, V. *Biomechanika pohybového aparátu člověka*. Praha: UK, 1978.

<sup>28</sup> PORADA, V. *Teorie kriminalistických stop a identifikace*. Praha: Academia, 1987.

<sup>29</sup> Podle našeho názoru lze o forezní biomechanice jako skutečně plnohodnotné forezní disciplíně uvažovat od roku 1994, kdy byl prof. Vladimír Karas jmenován Městským soudem v Praze jako první znalec v oboru „Kriminalistika, specializace forezní biomechanika“ v České republice.

jsou v procesu vyšetřování vyžadovány znalecké posudky z oboru „Kriminalistika - specializace forenzní biomechanika“ v daleko větší míře než tomu bylo v minulosti.

Rozsáhlost biomechanického obsahu kriminalistické stopy je dána množstvím znaků, které lze ve stopě nalézt a které poskytnou informaci o skupinových nebo individuálních vlastnostech a motorickém chování neznámého pachatele, který stopy zanechal.

Názory na vymezení pojmu „forenzní biomechanika“ jsou různé a v literatuře je možné nalézt mnoho definic, v přehledu uvádím jen ty nejfrekventovanější:

**Forenzní biomechanika** aplikuje biomechanické principy na problémy vyskytující se v soudní praxi, a to jak občanskoprávní, tak i trestněprávní. Studuje mechaniku pohybu, zejména pohyb řízení svalovým aparátem. Pro trestní řízení poskytuje informace o tom, jak mohlo dojít ke zranění při násilných útocích, sebevraždách, hromadných neštěstích a vraždách, jakož i o tom, zda pohyb osoby byl proveditelný bez cizího přičinění. V rámci občanskoprávního řízení ji lze využít k posouzení pádů beze svědků. Forenzní biomechanika se opírá o fyzikální principy a zahrnuje řešení pomocí výpočtů, často též počítačových modelů.<sup>30</sup>

**Forenzní biomechanika** aplikuje poznatky mechaniky k zodpovězení významných otázek pro trestní a občanské právo, čímž řeší otázky vztahující se k biologickým objektům, především lidskému tělu.<sup>31</sup>

**Forenzní biomechanika** je vědou aplikující biomechanické teorie a technologie k řešení problému vztahujících se k mechanice v procesu znalecké činnosti. Vytvořila se jako nová odnož jak moderní biomechaniky, tak i kriminalistiky. Jedná se o velice potenciální oblast výzkumu zranění.<sup>32</sup>

**Forenzní biomechanika** v sobě kombinuje znalosti mechaniky, biologie, lidské anatomie a fyziologie, na jejichž základě posuzuje události a skutky nejrůznější povahy - zranění způsobená pády z výšek či ze stoje, zakopnutím, uklouznutím apod.<sup>33</sup>

Biomechanika je věda zabývající se mechanickými principy živého organismu. Je to jedna z nejzajímavějších a nejrychleji se rozvíjejících věd. Ve forenzních vědách je to právě biomechanika, která vysvětluje zranění těl na místě činu a pomáhá vysvětlit krevní kapky.<sup>34</sup>

Obecně je forenzní biomechanika věda o tom, jak lidské tělo reaguje na vnější a vnitřní sílu.<sup>35</sup>

Forenzní biomechanika je věda o působení mechanických sil na anatomii člověka.<sup>36</sup>

Forenzní biomechanika je analytická metoda určená pro dokazování před soudem.<sup>37</sup>

Forenzní biomechanika je aplikace biomechanické inženýrské vědy tam, kde biomechaničtí experti potřebují vědět, zda úraz byl příčinou zranění.<sup>38</sup>

<sup>30</sup> BELL, S. *Encyklopédia of forensic science*. New York: Facts On File, Inc., 2008, s. 35.

<sup>31</sup> SCHNECK, D. J. *Forensic Biomechanics* [online]. [cit. 9.7.2010]. Dostupné na: <<http://www.jurispro.com/files/documents/doc-1066205161-article-1594.pdf>>

<sup>32</sup> XU, Y., FAN, Y., YU, X. *Researches in forensic biomechanics* [online]. [cit. 9.7.2010]. Dostupné na: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15022486>>

<sup>33</sup> ENGIN, A. E. Forensic biomechanics - Transdisciplinary approach on the court of law (Abstract), *Journal of Integrated Design & Process Science*, April 2005, Vol. 9, No. 2.

<sup>34</sup> <http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-111840422X.html>

<sup>35</sup> <http://www.robsonforensic.com/practice-areas/biomechanics-expert>

<sup>36</sup> <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17447861>

<sup>37</sup> <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1752928X09001541>

<sup>38</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Forensic\\_biomechanics](https://en.wikipedia.org/wiki/Forensic_biomechanics)

Forenzní biomechanik je člověk, který je přizván k vyšetřování a analýze situace, kde něco selhalo – auto, stroj, cvičící nástroje – po čemž následovalo zranění nebo smrt.<sup>39</sup>

Je to aplikace mechanických principů a technik na strukturu, funkci a schopnosti lidského organismu.<sup>40</sup>

Forenzní biomechanika využívá biomechanických poznatků k zodpovězení otázek v civilním a trestním právu.<sup>41</sup>

Forenzní biomechanika je věda, která zkoumá síly působící na biologické struktury a efekty, které tyto síly způsobují.<sup>42</sup>

Podle komparace současných pohledů lze pojem forenzní biomechanika vymezit následovně:

**Forenzní biomechanika** je vědní obor, který aplikuje biomechaniku a biomechanické metody na zkoumání kriminalistických stop s biomechanickým obsahem a dekodování informace z kriminalisticky relevantní události, která vznikla v důsledku pohybové činnosti člověka a která souvisí s vyšetřovanou událostí. Forenzní biomechanika zkoumá a objasňuje ten okruh kriminalistických stop, které mají v sobě obsažen biomechanický obsah, tedy uvedené aplikace podávají informaci o pohybovém aparátu člověka nebo o jeho pohybovém chování.

Forenzní biomechanika stojí svým předmětem zkoumání ve společném průniku biomechaniky a kriminalistiky. Tvůrčím způsobem aplikuje biomechanické metody zkoumání, postupy a způsoby řešení biomechaniky na problematiku kriminalistiky. Forenzní biomechanika studuje a zkoumá pohybový systém a pohybové chování osob, které mají souvislost s trestným činem a zanechaly kriminalistické stopy, které mají v sobě zakódovaný biomechanický obsah.

Předmět kriminalistiky jako každé jiné vědy je determinován určitým druhem zkoumaných zákonitostí objektivního světa. V případě forenzní biomechaniky lze vymezit předmět zkoumání ve dvou směrech. Předmětem zkoumání forenzní biomechaniky jsou:

1. Kriminalistické stopy s biomechanickým obsahem.
2. Kriminalisticky relevantní změny, které vznikly v důsledku mechanické interakce systému "člověk-okolí".

Jako praktické aplikace forenzní biomechaniky můžeme na základě dosud získaných zkušeností a literární komparace uvést **současné směry zkoumání**, které se principiálně od sebe liší v obsahu vědeckého a gnozeologického přístupu:<sup>43</sup>

1. Biomechanický obsah trasologických stop.
2. Biomechanický obsah stop ručního písma.
3. Studium biomechanického obsahu stop vnitřní strany rukou, případně dlaní.
4. Mechanické extrémní dynamické zatěžování organismu.
5. Biomechanické posouzení pádů obětí z výšky.

<sup>39</sup> <http://explorecuriosity.org/Explore/ArticleId/63/forensic-biomechanical-engineer-combining-mechanical-engineering-and-biology-63.aspx>

<sup>40</sup> <https://books.google.cz/books?id=1US2ubw9JwC&pg=PR13&lpg=PR13&dq=forensic+biomechanics&source=bl&ots=f5vT030IRy&sig=nIJ1P0E9MXn29cfglLUBX9crys&hl=cs&sa=X&ved=0ahUKEwitr7ntfLAhUCIpoKHU1xDtk4ChDoAQg7MAQ#v=onepage&q&f=false>

<sup>41</sup> <http://www.movementexperts.com.au/forensic-biomechanics>

<sup>42</sup> <http://www.vectorscientific.com/about-biomechanics.html>

<sup>43</sup> STRAUS, J. Zkušenosti ze znalecké praxe ve forenzní biomechanice. *Kriminalistika*, roč. 41, 2, 2008, s. 130–137. PORADA, V. a kol. *Kriminalistika. Technické, forenzní a kybernetické aspekty*. A. Čeněk, 2016.

6. Využití biomechaniky při konstrukci motorových vozidel.
7. Biomechanický aspekt při řešení dopravních nehod motorových vozidel.
8. Biomechanika střetného boje v sebeobraně.
9. Identifikace osob podle biomechanické analýzy lokomoce.

Praktické využití poznatků forenzní biomechaniky je nejčastější při hodnocení pádů z výšek, nekaskádovitých pádů lidského těla z relativně menších výšek (43 %) (pády do 150 metrů, kdy lze zanedbat odpor vzduchu). Dále v případech extrémního dynamického zatížení organismu (25 %) a jako třetí částí aplikace jsou pády ze stoje na zem nebo pády se schodů (15 %).

## 4. Predikce tělesné výšky osoby ze stop lokomoce

Kriminalistické stopy s biomechanickým obsahem lze z hlediska klasifikace kriminalistických stop zařadit do skupiny stop, které odrážejí funkční vlastnosti pohybovými návyky působícího objektu.

Trasologické stopy bipedální lokomoce jsou typickým představitelem stop, které odrážejí funkční a dynamické vlastnosti působícího objektu (osoby), a z kterých je možné dekódovat biomechanický obsah. Biomechanický obsah trasologických stop se klasifikuje na znaky geometrické, kinematické a dynamické.

**Geometrické znaky biomechanického obsahu trasologických stop** se budou projevovat hlavně v prostorovém uspořádání stopy (souboru stop) v délce, šířce a ploše stopy, v hloubce (objemu) plastické stopy, v prostorových vztazích mezi stopami u souboru stop. Mezi základní charakteristiky geometrických znaků biomechanického obsahu trasologických stop patří:<sup>44</sup>

- délka a šířka stop obuvi, délka a šířka obuvi, délka a šířka bosé nohy,
- délka kroku pravé a levé nohy, délka dvojkroku pravého a levého,
- úhel stopy levé a pravé.<sup>45</sup>

Délka kroku i dvojkroku se měří od špičky jedné nohy ke špičce nohy druhé, případně od paty k patě. Při běhu se ovšem pata ve stopě odráží slabě nebo téměř vůbec ne, a proto je vhodnější měřit délku dvojkroku. Úhel stopy vzhledem k linii lokomoce se určí jako úhel, který svírá vnitřní tečna stopy k ose lokomoce.

V literatuře lze vysledovat několik autorů, kteří se zabývali predikcí tělesné výšky osoby ze známých parametrů nohy, stopy nohy, obuvi či stopy obuvi. Při bližším pohledu na jednotlivé přístupy zjistíme, že autoři se liší vzájemně jak v druhu uvažovaných parametrů, tak i v jejich kvalitě. Např. je poměrně velké množství autorů, kteří berou v úvahu pouze jeden parametr, a to známou délku nohy. V posledních letech se objevily v literatuře i výsledky výzkumů, které umožňují predikci tělesné výšky osoby z parametrů jak jedné stopy obuvi, tak i ze známé délky kroku nebo dvojkroku.

Rozsáhlým měřením na velkých souborech bylo zcela jasně prokázáno, že tělesná výška osoby je signifikantní s délkou a šířkou bosé nohy, délkou a šířkou obuvi, délkou a šířkou stopy obuvi a je možné poměrně přesně vypočítat pravděpodobnou tělesnou výšku podle těchto parametrů.

V literatuře bylo prezentováno množství výsledků empirických výzkumů, které zjišťovaly vztah tělesné výšky a délky nohy z různých hledisek, např. v dětské populaci<sup>46</sup> nebo různých etnických skupin.<sup>47</sup>

Je potěšující, že jedno z prvních empirických šetření bylo realizováno v našich podmínkách. V roce 1971 provedli **Titlbach, Titlbachová, Štěchová** (1971) na svou dobu poměrně rozsáhlé měření. Autoři měřili délku a šířku bosé nohy ve vztahu

<sup>44</sup> PORADA, V. *Teorie kriminalistických stop a identifikace*. Praha: Academia, 1987. PORADA, V. *Kriminalistická biomechanika*. In: VALENTA, J. a kol. *Biomechanika*. Praha: Academia, 1985.

<sup>45</sup> PORADA, V. *Teorie kriminalistických stop a identifikace*. Praha: Academia, 1987. PORADA, V. *Kriminalistická biomechanika*. In: VALENTA, J. a kol. *Biomechanika*. Praha: Academia, 1985. KARAS, V. *Biomechanika pohybového systému člověka*. Praha: UK, 1978.

<sup>46</sup> GRIVAS, T. B., MIHAS, C., ARAPAKI, A., VASILADIS, E. Correlation of foot length with height and weight in school age children. *J Forensic Leg Med.* 2/2008, 15 (2): 89-95.

<sup>47</sup> EWUNONU, E. O., EGWU, A. O., ETEUDO, A. N., AJOKU, K. I. Bilateral Foot Asymmetry and Sexual Dimorphism in Young-Adult Igbo People of South-Eastern Nigeria. *European Journal of Biotechnology and Bioscience* 2014; 1 (4), pp. 01-05. DAVIS, K. T. The foot length to stature ratio. In: *Anthropology a thesis in anthropology. Submitted to the Graduate Faculty of Texas Tech University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Arts*, 1990.

k tělesné výšce. Zjistili, že délka a šířka bosé nohy - tělesná výška - tělesná výška ( $v_T$ ) jsou závislé na obou rozměrech bosé nohy, tj. na délce ( $d_N$ ) i na šířce ( $š_N$ ) a je dána vztahem:

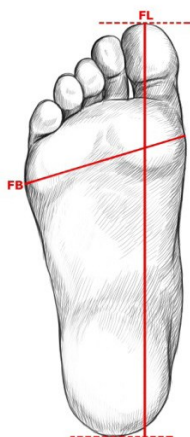
$$v_T = 3,1 d_N + 4,0 š_N + 53.$$

Tělesná výška osoby vypočtená podle tohoto vztahu souhlasí se skutečnou výškou osoby s odchylkou asi 2 cm se středními hodnotami z korelační tabulky naměřených hodnot. V kriminalistické praxi jsou v naprosté většině případů výchozí informace rozměry stop obuvi a nikoliv rozměry obuvi samé. Vzorce pro výpočet tělesné výšky z rozměrů stop obuvi mohou vycházet ze vztahu měř obuvi a její stopy, nebo ze vztahu rozměrů nohy a stopy obuvi. Označíme-li  $d_{SO}$  jako délku stopy obuvi,  $š_{SO}$  jako šířku stopy obuvi, pak pro tělesnou výšku lze zapsat vztah:<sup>48</sup>

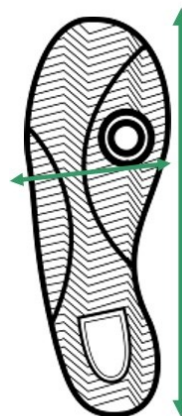
$$v_T = 2,6 d_{SO} + 4,3 š_{SO} + 56 \text{ (cm)}.$$

Analogicky i zde je možné upravit uvedenou závislost a získat přesnější vztah:

$$v_T = 3,1 d_{SO} + 4,0 š_{SO} + 45 \text{ (cm)}.$$

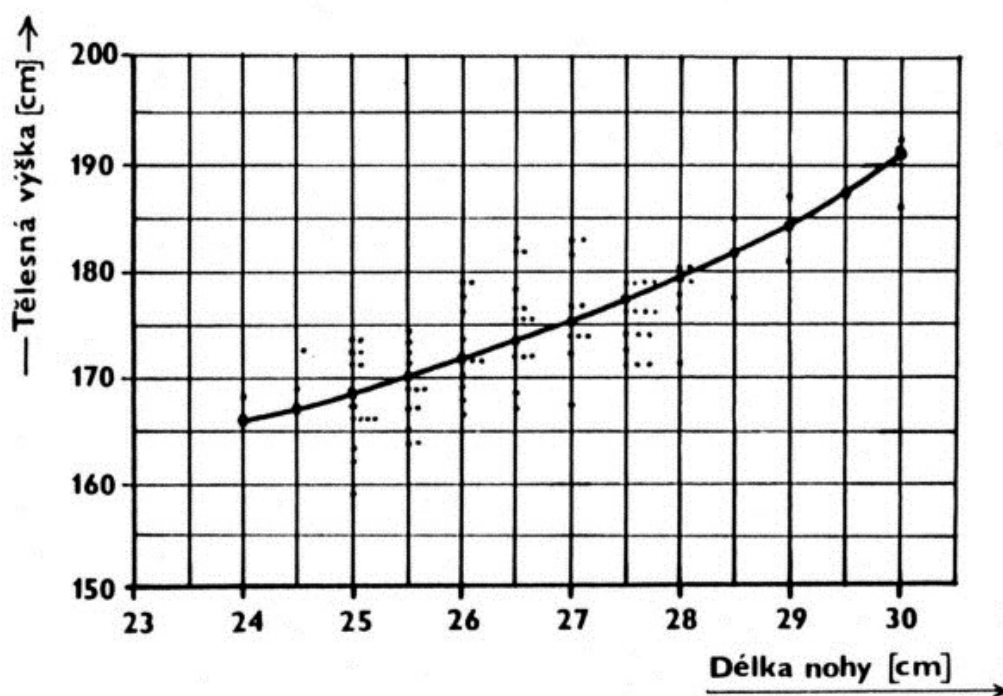


Obr. 2 - Měření délky a šířky nohy



Obr. 3 - Měření délky a šířky obuvi

<sup>48</sup> TITLBACH, Z., TITLBACHOVÁ, S., ŠTĚCHOVÁ, D. Zjištění tělesné výšky osob ze stop nohou, *Čs. kriminalistika*, 3, 1971, s. 223–239.



Obr. 4 - Vztah délky nohy a tělesné výšky<sup>49</sup>

Zajímavým obohacením myšlenky určení tělesné výšky osoby z plantogramu bosé nohy jsou výsledky publikované **Robbinsem** (1986),<sup>50</sup> který uvažuje také radikální a diagonální řezy plantogramu, které mají velmi vysokou korelační hodnotu k tělesné výšce. Výsledky jeho výzkumu jsou uvedeny jako následující

$$v_T = 3.641 \cdot d_N + 72.92 \text{ (cm)} - \text{pravá noha}$$

$$v_T = 4.229 \cdot d_N + 56.49 \text{ (cm)} - \text{levá noha}$$

Rozsáhlý výzkum na souboru mužů vojáků byl proveden autory Gilesem a Vallandighamem (1991).<sup>51</sup> Ti vyhodnotili a prezentovali nově stanovená procenta a lineární regrese pro stanovení výšky od délky nohy mladých dospělých mužů a žen založené na velmi rozsáhlých antropometrických databázích americké armády. Návrhy jsou určeny pro praktické užití analýzy stop délky, nejlépe jako přímé měření, ale také nepřímo jako indikátor velikosti bot či pro posuzování výšky.

$$v_T = 3,447 d_N + 82,206 \text{ (cm)} - \text{Muži}$$

$$v_T = 3,614 d_N + 75,065 \text{ (cm)} - \text{Ženy}$$

<sup>49</sup> TITLBACH, Z., TITLBACHOVÁ, S., ŠTĚCHOVÁ, D. Zjištění tělesné výšky osob ze stop nohou, *Čs. kriminalistika*, 3, 1971, s. 223–239.

<sup>50</sup> ROBBINS, L. M., Estimating Height and Weight from Size of Footprints, *Journal of Forensic Sciences*, Vol. 31, No. 1, Jan. 1986, pp. 143–152.

<sup>51</sup> GILES, E., VALLANDIGHAM, P. H. Height estimation from foot and shoeprint length. *Journal of Forensic Sciences*, 1991 Jul; 36(4):1134–51.

Studiu predikce tělesné výšky podle délky stopy se věnoval polský autor **Wiercinski** (1965), celkem měřil 6600 mužů a 1300 žen. Výsledky měření využil Wiercinski pro finální vztah:<sup>52</sup>

$$v_T = 3,37 d_{SN} + 79,55.$$

**Davis** (1990) publikoval studii, v níž byly prezentovány výsledky měření na vzorku 240 studentů vysokých škol ve věku od 18 do 26 let.<sup>53</sup> Studenti byli rozděleni podle pohlaví a dále jako Američané běloši a Američané černoši. Získané regresní rovnice pro výpočet tělesné výšky z délky nohy jsou následující:

$$v_T = 2.78 d_N + 100.35 - \text{muži, pravá noha, Američané černoši}$$

$$v_T = 2.89 d_N + 97.30 - \text{muži, levá noha, Američané černoši}$$

$$v_T = 4.38 d_N + 56.85 - \text{muži, pravá noha, Američané běloši}$$

$$v_T = 4.23 d_N + 61.06 - \text{muži, levá noha, Američané běloši}$$

$$v_T = 3.56 d_N + 74.75 - \text{ženy, pravá noha, Američané černoši}$$

$$v_T = 3.43 d_N + 78.07 - \text{ženy, levá noha, Američané černoši}$$

$$v_T = 4.29 d_N + 60.98 - \text{ženy, pravá noha, Američané běloši}$$

$$v_T = 4.28 d_N + 61.32 - \text{ženy, levá noha, Američané běloši}$$

Z novějších prací lze dále uvést studii provedenou **Atamturkem** (2008), kde autoři hodnotili vztah mezi faktory souvisejícími s věkem, rozměry nohy (délka a šířka nohy, šířka paty, délka a šířka stopy, šířka paty stopy) a hmotnosti vzhledem k tělesné výšce osoby.<sup>54</sup> Soubor čítal 516 probandů (253 mužů a 263 žen) ve věkovém rozmezí 17,6–82,9 let. Soubor byl náhodně rozdělen na dvě skupiny ( $n = 406$  a  $n = 110$ ), kdy skupina s nižším počtem účastníků byla určena jako skupina kontrolní. Probandi ve skupinách byli rozděleni do pěti věkových kategorií (18–29, 30–39, 40–49, 50–59 a 60 a více). U všech bylo změřeno 8 antropometrických charakteristik. Pro všechna měření byly nalezeny statisticky významné rozdíly v závislosti na pohlaví ( $p < 0,001$ ). Dále se ukázaly statisticky významné rozdíly v antropometrických rozměrech vzhledem k věku probanda. Korelační koeficienty u měřených charakteristik na noze a stopě vzhledem k tělesné výšce a hmotnosti byly též shledány statisticky významnými ( $p < 0,01$ ). Nejvyšší korelace byla ustanovena ve skupině mužů u délky stopy ( $r = 0,734$ ) a délky nohy ( $r = 0,713$ ). U žen lze najít obdobnou závislost, nicméně korelační koeficienty vykazují nižší hodnotu ( $r = 0,663$ ,  $r = 0,678$ ).

**Cyplík a Chojak** (2010) měřili biomechanická data na souboru 1474 mužů a 527 žen. Poměrně jednoduché rovnice lineární závislosti jsou predikovány na základě výzkumu měření délky stopy u mužů a žen a následné predikce tělesné výšky.<sup>55</sup> Vztah je stanoven pro tělesnou výšku a délku stopy v cm.

<sup>52</sup> WIERCINSKI, A. Wspolzależność między cechami pomiarowymi stopy a wzrostem. Problemy Kryminalistyki, 1970, n. 88, s. 610–614. In: BORKOWSKI, K. Kryminalistyczna identyfikacja śladów stóp. Warszawa, 2013, Wydawnictwo Centralnego Laboratorium Kryminalistycznego Policji insytutu badawczego.

<sup>53</sup> DAVIS, K. T. The foot length to stature ratio. In *Anthropology a thesis in anthropology. Submitted to the Graduate Faculty of Texas Tech University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Arts*. 1990.

<sup>54</sup> ATAMTURK, D., DUYAR, I. Age-Related Factors in the Relationship Between Foot Measurements and Living Stature and Body Weight. *J Forensic Sci*, November, 2008, Vol. 53, No. 6.

<sup>55</sup> CYPLÍK, W., CHOJAK, M. Szacowanie wzrostu na podstawie długości odbotki stopy i buta w odniesieniu do populacji polskiej, CLK KGP, Warszawa 2010. In: BORKOWSKI, K. Kryminalistyczna identyfikacja śladów stóp. Warszawa, 2013, Wydawnictwo Centralnego Laboratorium Kryminalistycznego Policji insytutu badawczego.



$$v_T = 2,4963 d_S + 113,15 - \text{pro muže}$$

$$v_T = 2,9353 d_S + 96,369 - \text{pro ženy}$$

**Narde, Dongre (2010) zkoumali vztah pro odhad postavy z důvodu stanovení individuality člověka ze zohavených orgánů a kosterních pozůstatků.** Publikovali studii s cílem rekonstrukce vzrůstu u obou pohlaví.<sup>56</sup> Tato studie byla provedena na 640 mladých a zdravých jedincích ve věkové skupině 18-23 let (343 mužů a 297 žen), studentů Medical College v Nagpuru. Výsledky prezentují nezávislé lineární regrese rovnice a multiplikační faktory. Bylo zjištěno, že muži mají větší střední hodnotu vzrůstu i délku a šířku nohy ve srovnání se ženami.

Lineární regresní rovnice byly odvozeny pro odhad postavy z délky chodidla a šíře pravé a levé nohy:

$$v_T = 9,01 + 5,96 d_N \text{ (cm)} - \text{muži, pravá noha}$$

$$v_T = 8,57 + 5,96 d_N \text{ (cm)} - \text{muži, levá noha}$$

$$v_T = 53,0 + 4,26 d_N \text{ (cm)} - \text{ženy, pravá noha}$$

$$v_T = 53,3 + 4,23 d_N \text{ (cm)} - \text{ženy, levá noha}$$

**Othman (2010) provedl výzkum s cílem predikce tělesné výšky ve vztahu k délce nohy, věku a rasové afinitě.**<sup>57</sup> Uvádí korelační hodnoty a rovnici vícenásobné regrese pro velmi přesnou predikci tělesné výšky pro africkou, asijskou a evropskou populaci. Uvádí vztahy pro predikci tělesné výšky podle rasy, pohlaví, věku a rozměrů stopy nohy. Z mnoha vzorců uvádím pouze ty nejvhodnější:

$$v_T = 113,77 + 4,651 d_S + 2,657 d_N \text{ (cm)} - \text{Afričané}$$

$$v_T = 52,458 + 0,380 d_S + 4,292 d_N \text{ (cm)} - \text{Asiaté}$$

$$v_T = 34,172 + 0,041 d_S + 5,359 d_N \text{ (cm)} - \text{Evropané}$$

$$v_T = 50,778 + 0,677 d_S + 3,993 d_N \text{ (cm)} - \text{celkově}$$

**Mukta (2011) provedl podobné měření**<sup>58</sup> jako Atamturk (2008). Jeho studie čítala 300 probandů (150 mužů, 150 žen). Probandi byli studenti ve věku 18-22 let. Statistická analýza opět ukázala vysokou významnost pohlaví ve všech měřených charakteristikách ( $p < 0,01$ ). Korelační koeficienty mezi tělesnou výškou a rozměry nohy (zejména její délka - sledováno jak pro levou, tak pravou nohu) byly shledány pozitivní a statisticky významné. Pro muže byly stanoveny tyto hodnoty: délka nohy vzhledem k tělesné výšce - korelační koeficient pravé nohy  $r = 0,808$ , levé nohy  $r = 0,731$ . Pro ženy byly zjištěny korelační koeficienty - délka pravé nohy  $r = 0,808$ , délka levé nohy  $r = 0,809$ .

**Rani, Tyagi, Ranga, Rani a Murari (2011) provedli rozsáhlé měření na indické populaci.** Rozměry nohy byly použity pro stanovení pohlaví, věku a tělesné výšky.<sup>59</sup> Studie zkoumá vztah mezi postavou a rozměry nohou mezi různorodými skupinami obyvatelstva (150 mužů a 150 žen, věkové rozmezí 18-22 let). Byly zjištěny rozdíly mezi pohlavími, nejvyšší korelační koeficienty byly zjištěny mezi tělesnou výškou osoby ( $v_T$ ) a délkou nohy ( $d_N$ ) u mužů. Délka nohou poskytuje nejvyšší spolehlivost a přesnost v odhadu tělesné výšky.

<sup>56</sup> NARDE, A. L., DONGRE, A. P. Body Height Estimation Based on Foot Length and Foot Breadth. J Indian Acad Forensic Med. July-September 2013, Vol. 35, No. 3, pp. 245-248.

<sup>57</sup> OTHMAN, Z. *Estimation of stature (body height) from foot, barefoot print and shoe print dimensions.* MSc Forensic Science, Universitait Amsterdam, 2010.

<sup>58</sup> MUKTA, R., AK, T. et al. Stature estimates from foot dimensions. J Punjab Aca Forensic Med Toxicol, 2011.

<sup>59</sup> RANI, M., TYAGI, A. K., RANGA, V. K., RANI, Y., MURARI, A. Stature estimates from foot dimensions, Journal of Punjab Academy of Forensic Medicine & Toxicology, 2011; 11(1).

$$v_T = 98.320 + 3.050 d_N \text{ (cm)} - \text{muži, pravá noha (r = 0.808)}$$

$$v_T = 97.279 + 3.080 d_N \text{ (cm)} - \text{muži, levá noha (r = 0.731)}$$

$$v_T = 90.207 + 3.374 d_N \text{ (cm)} - \text{ženy, pravá noha, (r = 0.808)}$$

$$v_T = 91.109 + 3.309 d_N \text{ (cm)} - \text{ženy, levá noha, (r = 0.809)}$$

$$v_T = 158.170 + 1.334 š_N \text{ (cm)} - \text{muži, pravá noha (r = 0.345)}$$

$$v_T = 161.761 + 0.898 š_N \text{ (cm)} - \text{muži, levá noha (r = 0.413)}$$

$$v_T = 139.111 + 2.263 š_N \text{ (cm)} - \text{ženy, pravá noha (r = 0.345)}$$

$$v_T = 138.526 + 2.669 š_N \text{ (cm)} - \text{ženy, levá noha (r = 0.358)}$$

Odhad postavy je běžně používaný parametr pro identifikaci osoby nejen v biomechanice, ale také ve forenzní antropologii. Aby bylo možno odhadnout postavu, provedli **Ozaslan, Karadayi, Kolusayin, Kaya a Afsin** (2012) rozsáhlé měření vybraných biomechanických parametrů na těle člověka a korelovali tyto rozměry s tělesnou výškou.<sup>60</sup> Autoři měřili délky ruky, šířku ruky, šířku zápěstí, délku nohy, šířku nohy a šířku kotníku. Cílem studie bylo předpovědět nejužitečnější proměnné a zjistit proměnné, které korelují s predikcí tělesné výšky. Měření byla získána od 356 dobrovolníků. Nejlepší hodnota korelace byla zjištěna k délce nohy muže  $r = 0,696$  a ženy  $r = 0,496$ . Regresní rovnice byly zjištěny pro proměnné v mm:

$$v_T = 840.88 + 3.52 d_N \text{ (mm)} - \text{muži}$$

$$v_T = 941.95 + 2.96 d_N \text{ (mm)} - \text{ženy}$$

**Dhaneria, Shrivastava, Mathur a Goyal** (2016) provedli odhad postavy z různých měření těla. Současný výzkum se zabýval rozvojem regresní rovnice pro odhad vzrůstu z šířky a délky nohy a zjišťoval korelaci mezi postavou, šířkou nohy a délkou chodidla. Údaje byly shromážděny z 500 asymptomatických zdravých studentů medicíny (267 mužů a 233 žen), kteří patří do věkové skupiny v rozmezí 17-25 let.<sup>61</sup>

Výsledky jejich výzkumu uvádějí korelaci mezi délkou nohy a tělesnou výškou ( $r = 0,756$ ). Ta byla vyšší, než korelace mezi šířkou nohy a tělesnou výškou ( $r = 0,624$ ). Lineární regresní rovnice byly odvozeny pro odhad postavy z délky chodidla nebo z jejich šířky. Vztah délky a šířky nohy prokázal pozitivní korelaci s tělesnou výškou osoby. Predikci tělesné výšky je možné poměrně přesně vyjádřit pomocí regresních rovnic ( $r$ ). Regresní rovnice pro výpočet tělesné výšky z délky nohy ( $d_N$ ) jsou:

$$v_T = 77.24 + 3.61 d_N \text{ (cm)} - \text{muži, korelační koeficient 0,763}$$

$$v_T = 88.83 + 3.06 d_N \text{ (cm)} - \text{ženy, korelační koeficient 0,652}$$

$$v_T = 77.471 + 3.57 d_N \text{ (cm)} - \text{spojeno, korelační koeficient 0,756}$$

Regresní rovnice pro výpočet tělesné výšky z šířky nohy ( $š_N$ ):

$$v_T = 104.84 + 6.79 š_N \text{ (cm)} - \text{muži, korelační koeficient 0,677}$$

$$v_T = 122.28 + 4.45 š_N \text{ (cm)} - \text{ženy, korelační koeficient 0,439}$$

$$v_T = 106.167 + 6.49 š_N \text{ (cm)} - \text{spojeno, korelační koeficient 0,624}$$

<sup>60</sup> OZASLAN, A., KARADAYI, B., KOLUSAYIN, M. O., KAYA, A., AFSIN, H. Predictive role of hand and foot dimensions in stature estimation. *Rom J Leg Med* 20, 2012, pp. 41–46.

<sup>61</sup> DHANERIA, V., SHRIVASTAVA, M., MATHUR, R. K., GOYAL, S. Estimation of Height from Measurement of Foot Breadth and Foot Length in Adult Population of Rajasthan. *Indian Journal of Clinical Anatomy and Physiology* 2016, 3(1):78-82.

Analogická studie byla provedena na FTVS UK v Praze (**Strnadová 2014**),<sup>62</sup> která si stanovila za cíl, zda vybrané vztahy k determinaci tělesné výšky jsou stále validní. Za vybrané parametry zvolila chodidla a délku nohy  $d_N$ , šířku nohy  $š_N$ , délku stopy obuvi  $d_{SO}$ ). Výsledky studie lze uvést:

$$v_T = 34,6879 + 4,00555 \cdot d_N + 4,24845 \cdot š_N \text{ (cm)}$$

$$v_T = 95,7622 + 3,02182 \cdot d_{SO} \text{ (cm)}$$

V roce 2002 byl proveden poměrně rozsáhlý výzkum (**Straus 2001**),<sup>63</sup> který si kladl za cíl posoudit vztahy mezi délkou nohy a tělesnou výškou po 30 letech po prvotním měření Titlbachem. Jednalo se tedy o jinou generaci probandů, měření se uskutečnilo na 156 osobách (80 mužů a 76 žen). Získané výsledky jsou uvedeny v regresních rovnicích pro délku nohy ( $d_N$ ) a délku stopy nohy ( $d_{SN}$ ):

$$v_T = 3,5026 \cdot d_N + 83,883 \text{ (cm)} - \text{muži}$$

$$v_T = 2,8789 \cdot d_N + 94,038 \text{ (cm)} - \text{ženy}$$

$$v_T = 5,4778 \cdot š_N + 125,4 \text{ (cm)} - \text{muži}$$

$$v_T = 1,2383 \cdot š_N + 149,55 \text{ (cm)} - \text{ženy}$$

Byly provedeny také výzkumné studie, které prověřovaly vztah mezi délkou kroku a dvojkroku k tělesné výšce osoby. Při subjektivně normální chůzi byla experimentálně zjištěna průměrná délka kroku 70 cm a délka dvojkroku při tomtéž druhu chůze 142 cm. Analytické závislosti se mění okolo těchto statistických průměrů, a to následovně:

**a) délka kroku ( $d_K$ ) - tělesná výška ( $v_T$ )**

- do 70 cm délky kroku platí vztah  $v_T = 0,297 \cdot d_K + 153$
- přes 70 cm délky kroku platí vztah  $v_T = 0,315 \cdot d_K + 163$

**b) délka dvojkroku ( $d_{DK}$ ) - tělesná výška ( $v_T$ )**

- do 142 cm délky dvojkroku platí vztah  $v_T = 0,157 \cdot d_{DK} + 151$
- přes 142 cm délky dvojkroku platí vztah  $v_T = 0,175 \cdot d_{DK} + 155$

Pokud se na místě činu nalezne soubor minimálně čtyř souvisle řazených stop, je možné zjistit tělesnou výšku osoby, jež stopy vytvořila, několika způsoby. Jednak je to možné z rozměrů stopy obuvi, dále je vhodné využít námi uvedené vztahy pro délku kroku či dvojkroku. Pro tyto potřeby existuje i několik funkčních závislostí a podle experimentálního prověření se jako optimální jeví následující dva způsoby zjištění tělesné výšky z parametrů chůze:<sup>64</sup>

**Zjištění tělesné výšky z délky kroku ( $d_K$ ) a dvojkroku ( $d_{DK}$ ):**

$$v_T = 0,153 \cdot d_K + 0,083 \cdot d_{DK} + 155,5 \text{ (cm)}.$$

**Zjištění tělesné výšky z délky kroku, dvojkroku, délky stopy obuvi ( $d_{DO}$ ) a šířky stopy obuvi ( $d_{SO}$ ):**

$$v_T = 0,076 \cdot d_K + 0,041 \cdot d_{DK} + 1,35 \cdot d_{DO} + 2,4 \cdot d_{SO} + 101,25 \text{ (cm)}.$$

Uvedené funkční závislosti platí pro subjektivně přirozenou chůzi po rovné podložce bez vnějšího ovlivňování. Ze známých rovnic můžeme vhodnou matematickou kombinací předložit pro potřeby kriminalistické praxe velké množství různých rovnic pro všechny varianty vstupních proměnných. Tělesnou výšku osoby

<sup>62</sup> STRNADOVÁ, H. *Vybrané parametry lokomoce a chodidla vzhledem k tělesné výšce jedince*. Praha: FTVS UK Praha 2014.

<sup>63</sup> STRAUS, J. *Aplikace forenzní biomechaniky*. Praha: Police history, 2001.

<sup>64</sup> STRAUS, J. *Aplikace forenzní biomechaniky*. Praha: Police history, 2001. VALENTA, J., PORADA, V. STRAUS, J. *Biomechanics*. Praha: Police history, 2004.

pachatele můžeme vypočítat podle měřených parametrů pěšinky lokomoce a přesnost výpočtu je jen závislá na množství změřených vstupních parametrů.

Podobné měření provedla Strnadová (2014), která uvádí regresní rovnice (krok v obuvi  $d_{KBO}$ , krok bez obuvi  $d_{KBO}$ ):<sup>65</sup>

$$v_T = 118,996 + 0,740652 \cdot d_{KBO}$$

$$v_T = 118,975 + 0,373246 \cdot d_{KBO}$$

Pro potřeby širšího využití naznačených závislostí bylo provedeno velké množství experimentů pro chůzi v různém disperzním prostředí, v různých podkladech a v odlišných topografických podmínkách. Pro všechny druhy experimentů se prokázaly jako signifikantní vztahy délky kroku a délky dvojkroku k tělesné výšce. Při všech měřeních se prokázala vyšší korelační závislost délky dvojkroku k tělesné výšce než délky kroku k tělesné výšce. Lineární regrese v závislosti na dvou proměnných při chůzi v různém druhu podkladu jsou uvedeny v následující tabulce:<sup>66</sup>

Tab. 1 - Lineární regrese při chůzi na rovném podkladu

Druh podkladu	Lineárně regresní vztahy
Oranice	$V_T = 0,278 d_K + 0,175 d_{DK} + 134$
Sníh	$V_T = 0,248 d_K + 0,194 d_{DK} + 126$
Písek	$V_T = 0,322 d_K + 0,196 d_{DK} + 118$
Škvára	$V_T = 0,384 d_K + 0,218 d_{DK} + 109$
Asfalt	$V_T = 0,308 d_K + 0,217 d_{DK} + 119$

Tab. 2 - Tabulka korelačních koeficientů délky kroku a dvojkroku k tělesné výšce při chůzi v různém druhu terénu.

Druh podkladu	$r_{VK}$	$r_{VDK}$
Oranice	0,51	0,53
Sníh	0,62	0,66
Písek	0,78	0,81
Škvára	0,76	0,93
Asfalt	0,72	0,88

Analogické signifikantní vztahy se prokázaly při zkoumání závislosti délky dvojkroku a délky kroku k tělesné výšce, např. pro **běh** platí:

$$v_T = 0,379 d_K + 0,161 d_{DK} + 92.$$

Pro **chůzi těsně před rozběhnutím** bylo zjištěno:

$$v_T = 0,178 d_K + 0,086 d_{DK} + 151.$$

Pro **běh v setrvalém stavu**:

$$v_T = 0,380 d_K + 0,190 d_{DK} + 72.$$

Pro predikci tělesné výšky osoby z parametrů pěšinky chůze jsou důležité čtyři proměnné, a to délka kroku, dvojkroku, délka stopy obuvi a šířka stopy obuvi (ve vztahu k druhu podešve a typu obuvi).

<sup>65</sup> STRNADOVÁ, H. *Vybrané parametry lokomoce a chodidla vzhledem k tělesné výšce jedince*. Praha: FTVS UK Praha 2014.

<sup>66</sup> VALENTA, J., PORADA, V., STRAUS, J. *Biomechanics*. Praha: Police history, 2004. PORADA, V. a kol. *Kriminalistika. Technické, forenzní a kybernetické aspekty*. Plzeň: A. Čeněk, 2016.

Tělesná výška je jednou ze základních charakteristik, která slouží k identifikaci osoby. Na konci 19. století byly zkoumány zejména vztahy mezi délkou nohy a tělesnou výškou. Na základě těchto výzkumů byly stanoveny vzorce pro výpočet tělesné výšky z délky bosé nohy. Postupně se zájem rozšířil i na šířku nohy. Kromě tělesné výšky je významná i informace o hmotnosti těla,<sup>67</sup> kterou zatím nelze přesně určit. V biomechanických výzkumech byly provedeny experimenty,<sup>68</sup> ale zatím není tento výzkum ukončen a nejsou známy přesné metody pro predikci hmotnosti těla.

Tyto parametry se dostávají do popředí zejména s rozvojem kriminalistických a forenzních věd přibližně v druhé polovině 20. století. I na všechny tyto vztahy byly stanoveny vzorce. Některé vzorce pro určení tělesné výšky byly stanoveny i před více než sto lety.

V poslední době se také hledají vztahy k určení pohlaví z parametrů chodidla, a ukazuje se, že „Foot index“ (šířka nohy k délce nohy krát 100) může být vhodný ukazatel k určení pohlaví.

Predikce tělesné výšky z uvedených modelů výpočtu má vždy stochastický charakter. Tělesnou výšku osoby lze nejpřesněji predikovat z rovnice, která počítá s délkou bosé nohy, to je pravděpodobně dáno největší lineární závislostí délky bosé nohy vzhledem k tělesné výšce. Vyšší míru závislosti na tělesné výšce má též délka kroku či dvojkroku, proto i tyto vztahy mají uspokojivé výsledky. Model s dvojkrokem je o trochu přesnější než s krokem.

Menší přesnost výpočtu získáme, pokud budeme uvažovat rozměry obuvi nebo stopy obuvi, výsledek je silně závislý na použitém typu obuvi. Jako nejméně vhodná se ukazuje šířka obuvi ve vztahu k tělesné výšce. Pro další výzkum by bylo vhodné uvažovat měření pro více typů obuvi a pro různé věkové skupiny.

Analýzou všech dostupných výzkumů lze konstatovat, že predikce tělesné výšky osoby z rozměrů trasologických stop nohy je závislá na pohlaví, rase, věku a skutečnosti, zda provádíme predikci z délky nebo šířky nohy. Pokud chceme zjistit tělesnou výšku z rozměrů stopy obuvi, pak je významný i typ obuvi.

Postava, věk, hmotnost, pohlaví a rozměry nohou jsou zřejmě vzájemně propojeny a tyto proměnné se mohou vzájemně ovlivňovat. Stupeň tohoto vzájemného vztahu se může lišit mezi obyvatelstvem a jeho zeměpisným původem.

---

<sup>67</sup> Hmotnost těla společně s tělesnou výškou dávají předpoklad k vytvoření představy o pravděpodobném somatotypu osoby, která stopy vytvořila. Odhad tělesné hmotnosti nebyl dosud zcela vyčerpávajícím způsobem řešen v naší kriminalistické literatuře, určité obecné koncepce byly sice provedeny, ale zatím není možné zcela přesně stanovit tělesnou hmotnost pachatele ze stop zajištěných na místě činu.

<sup>68</sup> PORADA, V. *Teorie kriminalistických stop a identifikace*. Praha: Academia, 1987. STRAUS, J. *Aplikace forenzní biomechaniky*. Praha: Police history, 2001. VALENTA, J., PORADA, V., STRAUS, J. *Biomechanics*. Praha: Police history, 2004.

## 5. Reakční čas člověka

Volní reakce na podnět jsou mnohem složitější než reflexy a vyžadují účast vyšších mozkových funkcí. Při volních reakcích je signál z oka nebo jiného smyslového orgánu, resp. několika smyslových orgánů zároveň, poslán do motorických center mozku, která jej zpracují, určí podstatu odezvy a transportují daný pokyn svalům, jež následně vykonají reakci, a to po uplynutí určitého časového intervalu.<sup>69</sup> Na zadaný podnět však nereaguje člověk svalovou reakcí bezprostředně, ale s určitým zpožděním. Délka reakční doby je fyziologicky ohraničena a do jisté míry ovlivňuje rychlost celého pohybového úkonu (fakticky celkového trvání pohybu), což je nesmírně důležité zejména pro pohybové akty velmi krátkého trvání, řádově sekundy. Reakční rychlost je také mimořádně významná při řešení výběrových motorických činností, při nichž dochází k zapojení velkých svalových skupin.<sup>70</sup>

Ve forenzní biomechanice se v posledních letech ukazuje jako velmi aktuální otázka řešení vnějších a vnitřních vlivů na reakční čas. Jako aktuální faktor považujeme zejména vliv alkoholu na čas rozhodování, tj. dobu reakce složitou motorickou odezvou.<sup>71</sup>

### Pojem reakčního času

Nejjednodušeji vzato je reakční doba<sup>72</sup> čas, který uplyne od počátku vnímání podnětu do počátku vykonávání odezvy na tento stimul. Rozšířený pojem reakční schopnosti přinesla publikace *Human Factors Design Handbook*<sup>73</sup> vymezující jednoduchý reakční čas jako nejkratší možný čas mezi momentem, kdy smysly detekují podnět a časem, v němž tělo začne vykonávat odezvu, přičemž komplexní reakční doba zahrnuje aditivně proces lidského myšlení. Dále je charakterizován tím, že úlohu, jejímž výstupem má být komplexní reakční čas, tvoří několik stimulů s odlišnými mody odezev.<sup>74</sup>

Distribuce jednoduchých reakčních časů a výběrových reakčních časů s jednoduchou motorickou odezvou odhaluje ten fakt, že vizuální informační proces je nejdůležitější částí reakční schopnosti člověka. Výběrový reakční čas navíc zahrnuje proces rozhodování, který logicky zapříčiňuje zpoždění, čímž v porovnání s jednoduchým reakčním časem vzrůstá celková reakční rychlost. Navíc čas potřebný pro rozhodnutí je nejvíce variabilní komponenta reakční rychlosti. Nicméně právě tento rozdíl poskytuje aproximaci určení intervalu doby rozhodování,<sup>75</sup> a sice podle konkrétních podmínek, resp. počtu a druhu působících faktorů, jejichž význam bude v této práci dále podrobně rozpracován. Jako nejpodstatnější faktor zde vystupuje druh podnětu, neboť právě potřeba činění rozhodnutí na základě více či méně standardního podnětu činí tuto komponentu nestálou oproti komponentám jiným.<sup>76</sup>

Celkový reakční čas lze vyjádřit jako součet doby trvání vizuální percepce a doby trvání rozhodování, na něž bezprostředně navazuje samotná motorická

<sup>69</sup> Tj. participace perceptuálního, kognitivního a motorického systému v uvedeném pořadí.

<sup>70</sup> STRAUS, J. *Aplikace forenzní biomechaniky*. Praha: Police History, 2001, s. 202.

<sup>71</sup> DANKO, F. Reakční čas na náhodný podnět vyžadující komplexní motorickou odezvu.

<sup>72</sup> Též reakční schopnost, reakční rychlost či rychlost reakce.

<sup>73</sup> WOODSON, W. E., TILLMAN, B., TILLMAN, P. *Human Factors Design Handbook*. New York: McGraw-Hill Professional, 1991, s. 630.

<sup>74</sup> Tamtéž.

<sup>75</sup> DEMIRARSLAN, H. Visual information processing and response time in traffic-signal cognition. [online]. [cit. 9. 10. 2008]. Dostupné na:

< <http://stinet.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA248165&Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf> >

<sup>76</sup> Tamtéž.

odezva. Vizuální percepce zahrnuje interval potřebný pro detekci stimulu od doby, kdy jej bylo možné detekovat, zatímco doba rozhodování reprezentuje čas potřebný pro výběr a rozhodnutí o odezvě. Poté tělo započne výkon příslušné odezvy. Nad rámec definice reakčního času se staví čas potřebný pro svalový pohyb, který nicméně tvoří neopomenutelnou kategorii, neboť zkoumání pouze reakční rychlosti bez zájmu o motorickou odezvu by pozbylo pro forenzní biomechaniku praktického významu.

Vyjádření reakční rychlosti v termínech těchto komponent je následující:

$$t_{rt} = t_p + t_r,$$

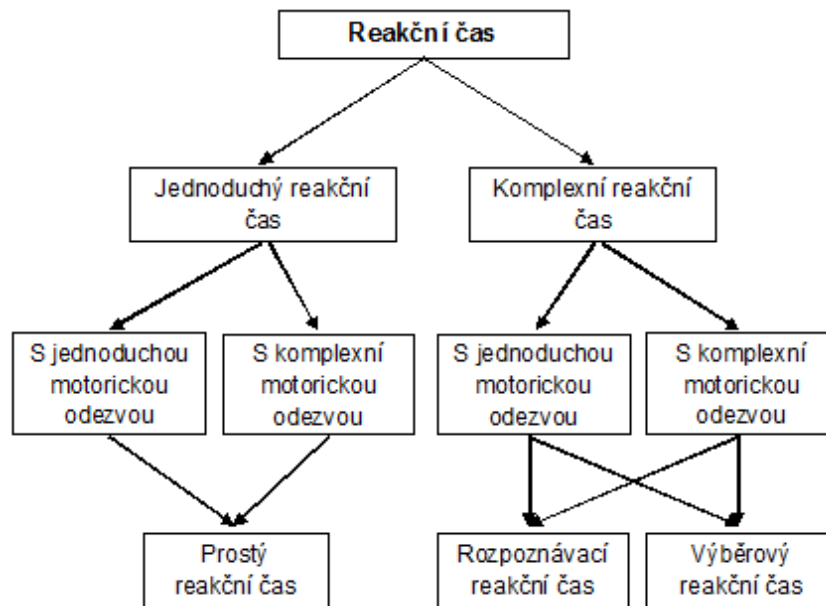
kde  $t_{rt}$ ...reakční čas  
 $t_p$ ...čas potřebný pro percepci  
 $t_r$ ...čas potřebný pro rozhodování

### Kategorizace reakčních časů

Donders ve své publikaci<sup>77</sup> prvně navrhl klasifikační schéma, z něhož experti stále vycházejí při deskripci a rozlišení mezi rychlostmi reakce:

- jednoduché – skládající se ze samotného podnětu, na nějž subjekt odpovídá co nejrychleji je to možné, ihned po objevení daného stimulu
- rozpoznávací – sestávající ze dvou a více stimulů, ale s pouze jednou odpovědí korespondující s jedním stimulem, zatímco na zbylé nesmí reagovat
- výběrové – tvořené dvěma a více podněty, na které subjekt musí tvořit odlišné odezvy, tj. subjekt musí vybrat, jaký signál byl přítomen a poté učinit odpověď vhodnou pro tento podnět.

Schéma se týkalo a nadále týká zejména experimentální psychologie a úzce souvisejících vědních oborů. Zjednodušeně lze tuto větev zahrnout pod reakční časy, jejichž podstatu představuje motoricky jednoduchá odpověď, rozšířené a terminologicky mírně odlišné schéma lze vyjádřit podle obr. 5.



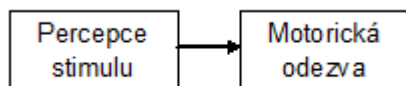
Obr. 5 - Kategorizace reakčních časů (Straus, Danko)<sup>78</sup>

<sup>77</sup> DONDERS, F. C. On the speed of the mental processes. *Acta Psychologica* 30, 1969, s. 412–431.

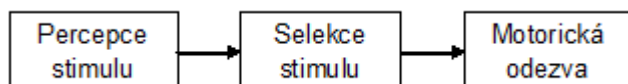
<sup>78</sup> STRAUS, J., DANKO, F. Reakční čas na náhodný podnět vyžadující komplexní motorickou odezvu - pilotní studie. *Pohybové ústrojí*, roč. 16, 2009, č. 1+2, s. 52–63. ISSN 1212-4575.

Reakční rychlost s komplexní motorickou odezvou charakterizuje situaci, kdy subjekt zapojuje při odpovědi velké svalové skupiny, na rozdíl od jednoduchých motorických odpovědí, kde tento znak absentuje.

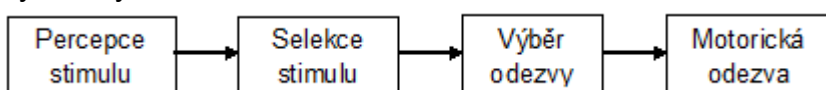
#### Prostý reakční čas



#### Rozpoznávací reakční čas



#### Výběrový reakční čas



Obr. 6 - Proces tvorby motorické odezvy u jednotlivých typů reakčních časů, dle Donderse<sup>79</sup>

### Komponenty významné pro trvání akce

Z hlediska relevantní události, ať už se jedná o dopravní nehody či analýzu střetného boje, může tvořit vedle těchto komponent další významnou kategorii latence způsobená přístrojem. Jestliže člověk totiž vykonává odezvu pomocí přístroje, pak tento tvoří spolu s člověkem nerozdílný systém a nelze pokládat za relevantní výlučně dobu trvání reakce člověka. Nejčastěji se vzhledem k uvedeným příkladům jistě jedná o dopravní prostředek či o palnou zbraň.

Základ pro výklad o komponentách zahrnuje beze sporu objasnění podstat vnímání, neboť vnímání je základním procesem člověka a z hlediska reakce iniciačním procesem při tvorbě odpovědi na kterýkoliv stimul. Nejvýznamnějšími druhy percepce představuje zrakové a sluchové vnímání.

### Zrakové vnímání

Zraková percepce je pro mnoho situací nejpodstatnější. Subjekt jejím prostřednictvím získává základní informace o situaci. Oko má však oblasti s různou rozlišovací schopností. V této souvislosti hovoříme o centrálním a periferním vidění. Centrální, frontální vidění má rozsah pouze několika stupňů při nejvyšší ostrosti. Pro optimální využití tohoto vidění je třeba, aby subjekt stále měnil směr pohledu. Periferní, detekční, celkové vidění naopak zachycuje celkovou plochu mimo kuželového centrálního vidění.<sup>80</sup> Zrakové vnímání je nejdůležitějším pro zjištění informací, důležitých pro další rozhodování, které, jak bylo uvedeno, hraje významnou úlohu.

Obecný proces vidění probíhá v hlavních rysech takto:<sup>81</sup>

- oko se orientuje v pohledovém poli těkavými mikropohyby;
- vnější podnět zaujme pozornost;

<sup>79</sup> DONDERS, F. C. On the speed of the mental processes. *Acta Psychologica* 30, 1969, s. 412–431.

<sup>80</sup> PORADA, V. a kol. Silniční dopravní nehoda v teorii a praxi. Praha: Linde, 2000, s. 86.

<sup>81</sup> Tamtéž, s. 231–232.



- zrakový receptor se zaměří a soustředí na zajímavý optický podnět a na základě zjištěných optických parametrů optické situace (vzdálenosti, jasů aj.) se připraví na recepci;
- podnět zpracovaný optickým systémem oka zasáhne světločivé elementy sítnice;
- transformací optických podnětů v nervové vzruchy vzniká odezva v optickém nervu, po kterém je vedena k mozkovým centrům vidění, kde vzniká počitek;
- syntézou vzniká vjem, na jehož základě se rozhoduje o odpovědi organismu na daný podnět, dochází k tzv. diferenciaci;
- vjem může být pomínut nebo uložen v paměti nebo může být transformován ve vzruch, šířící se pohybovými nervy k nervosvalovým ploténkám;
- v nervosvalových ploténkách je nervový vzruch transformován v nervový stah;
- v průběhu tohoto procesu je centrální nervová soustava neustále informována o změnách vlastností pozorovaného objektu a jeho okolí; vysílá povely, řídí plynule adaptační stav.

Svou roli může teoreticky hrát i percepce v rámci tzv. foveálního vidění, kdy k příjmu obrazu nedochází na celé žluté skvrně, ale jen v její části, která se nazývá ústřední jamka a je vyplněna pouze čípkou. V této části dochází k nejkvalitnějšímu zobrazování předmětů.

### **Sluchové vnímání**

Sluchové vnímání umožňuje subjektu získat informace, které by pomocí zraku těžko detekoval, ať už z důvodu, že by to nešlo, takže by je nestačil pojmout. Zvukové informace na rozdíl od optických jsou vnímány podvědomě, bezděčně, bez úmyslu je registrovat.

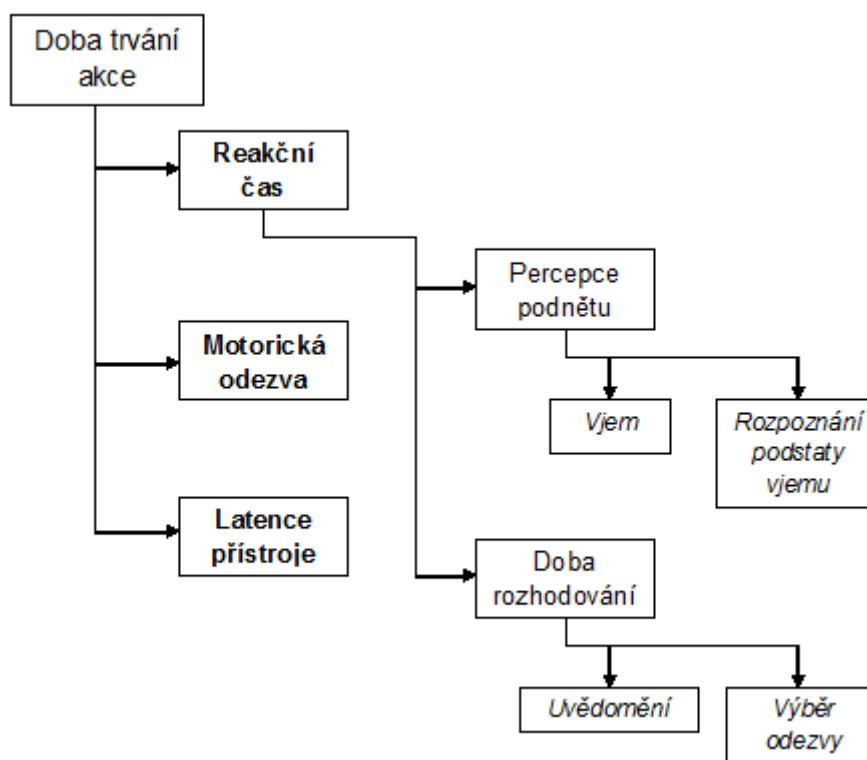
Sluchový orgán sestává ze tří částí: zevního, středního a vnitřního ucha. Zevní ucho se skládá z boltce a zvukovodu a je ukončeno bubínkem. Zevní ucho zachycuje a vede zvuk na bubínek. Tato část sluchového orgánu spolu se stínem hlavy ovlivňuje intenzitu podnětů přicházejících k bubínku z různých směrů, má tedy význam pro směrovou charakteristiku sluchového orgánu. Nejlépe je zvuk přijímán ze strany a poněkud zepředu. Směrový účinek se projevuje u vysokých kmitočtů, kdežto tóny hluboké, do 200 Hz, vnímáme ze všech stran ve stejné hlasitosti. Střední ucho má funkci převodní a ochrannou. Řetězec tří sluchových kůstek přenáší a zesiluje chvění bubínku na oválné okénko vnitřního ucha. Zvuková energie se sbírá z poměrně velké plochy bubínku, koncentruje na malou plošku oválného okénka a prakticky beze ztrát přechází do tekutiny středního ucha. Přichází-li do sluchového orgánu nějaký silný zvuk, oba svaly se reflexně stáhnou. Tím se zvětší napětí bubínku a ztíží se přenos, hlavně hlubokých tónů. Děje se to při hladinách zvuku 65–85 dB. Po celou dobu stimulace se tím snižuje vnímatelnost silných zvuků a labyrint je chráněn před poškozením. Reflex má latenci 10–150 ms. Pro zvuky impulzní povahy (doba trvání do 200 ms) však tato ochranná funkce středního ucha není uváděna do činnosti, takže může snadněji dojít k poškození vnitřního ucha.

Minimální hladina akustického tlaku slyšitelná lidským uchem se nazývá práh slyšitelnosti, což odpovídá hladině akustického tlaku  $10^{-5}$  Pa. Jestliže se intenzita akustických vln dopadajících na ucho zvětšuje, stává se vnímaný hluk hlasitějším a hlasitějším, až vjem slyšení kolem hodnoty 120 dB přestane a změní se v lechtání, takže ve sluchovém orgánu nastane i hmatový vjem, což se označuje pojmem hmatový práh. Působí-li však hluk na sluchový orgán dlouhodobě, vzniká již v prvních minutách posun prahu slyšitelnosti. Nastává adaptace a hluk vnímáme v menší hlasitosti. Na tento adaptační jev navazuje další děj – sluchová únava, která se objevuje již v první minutě a svého nasycení dosahuje v době od 7 až 10 minut. S ní je spojeno i změněné

rozlišování kmitočtů, hlasitosti a změny maskování. Ustupuje během desítek minut, hodin a někdy trvá i celý den.

### Doba trvání akce a její komponenty

Celkovou dobu trvání akce lze pro didaktické účely sekvenčně rozčlenit do jednotlivých úseků. Těmito úseky jsou reakční čas, doba trvání motorické odezvy a fakultativně též latence způsobená přístrojem. Přehledně tento komplex znázorňuje následující schéma:



Obr. 7 - Struktura celkové doby trvání akce<sup>82</sup>

### Reakční čas

Reprezentuje čas, který trvá od okamžiku, kdy reagující osoba zaregistruje podnět, který nastal, a rozhoduje o odpovědi, až do počátku vykonávání odezvy. Jedná se o iniciační fázi celého procesu sestávající z níže uvedených čtyř subkategorii.

Vjem: čas, jenž je potřebný pro detekci stimulu smyslovými senzory. Faktory determinující detekci vjemu a jejich samotný vliv na hodnotu reakčního času popíší rozsáhle v následující kapitole, nicméně zde je třeba učinit určitou introdukci k tomuto tématu. Charakter samotného vjemu signifikantně působí na celkový reakční čas, přičemž nejpodstatnějšího významu dosahuje intenzita podnětu, jeho komplexnost a okolní podmínky, za nichž je podnět vnímán, jakož i připravenost osoby na to, že stimul může nastat.

Rozpoznání podstaty vjemu: čas potřebný pro rozpoznání smyslu vjemu. Tato komponenta vyžaduje aplikaci informací a zkušeností z paměti osoby k interpretaci vzruchu přicházejícího do smyslového senzoru. V některých případech dochází k automatické odpovědi, tzn., že tento úsek je velmi krátký. V těchto případech se

<sup>82</sup> STRAUS, J., DANKO, F. Reakční čas na náhodný podnět vyžadující komplexní motorickou odezvu - pilotní studie. Pohybové ústrojí, roč. 16, 2009, č. 1+2, s. 52–63. ISSN 1212-4575.

jedná samozřejmě o jednoduché reakce, včetně nepodmíněných reflexů. V jiných případech se jedná o kontrolovanou odpověď, což představuje nepoměrně významnější dobu. Obecně lze říci, že nový, subjektu vnímajícímu podnět, neznámý stimul zpomaluje reakční čas, stejného efektu dosahuje méně intenzivní signál a dále např. neurčitost, ať už zdroje podnětu, konkrétní okamžik objevení podnětu nebo jeho forma a samozřejmě překvapení. Nepochybně existuje velice úzká provázanost s předchozími subkategorii vjemu, resp. lze v mnohých experimentech vyslovit závěr o redundantním charakteru subkategorie rozpoznání vjemu. Nicméně její uvedení přináší komplexnější teoretický základ problematiky komponent reakčního času.

V neposlední řadě též výsledky výzkumu opodstatňují začlenění do tohoto teoretického rámce.

Uvědomění: čas potřebný k rozpoznání a interpretování podstaty okolí, extrahování jeho smyslu a predikce eventuálního vývoje do budoucna. Např. jakmile řidič rozezná chodce na silnici a zkombinuje tento vjem se znalostí své vlastní rychlosti a vzdálenosti, představí si sled toho, jak a co nastane. Stejně jako u předchozí subkategorie, nový stimul zpomaluje tuto fázi, která je rozumově zpracovávána.

Výběr reakce: čas nezbytný k rozhodnutí, jakého charakteru bude potřebná odezva. Selektce z možných reakcí zpomaluje reakční čas, jestliže existuje rozmanitější množina možných signálů.

### **Čas potřebný pro pohyb**

Jakmile je vybrána odpověď, subjekt musí provést vyžadovaný svalový pohyb. Z povahy věci je zřejmé, že samotný počátek vykonávání pohybu může být zároveň téměř roven času dokončení pohybu, zejména u prostých reakčních časů. Tyto případy pro nás však nejsou do značné míry zajímavé. Markantnější rozdíl mezi okamžikem počátku vykonávání reakce a okamžikem dokončení reakce je pozorován u komplexních motorických projevů jednání. Pro příklad mohu uvést situace ve střetném boji, kdy je počátek reakce pro účinnou obranu vcelku irelevantní, neboť samotná obrana nabývá účinnosti až po přechodu do určité fáze dané techniky.

Samozřejmě, že na toto stadium působí řada faktorů ovlivňující čas potřebný pro vykonání pohybu. Obecně vzato, čím komplexnější pohyb je vyžadován, tím vyšší latence.

### **Význam komponent reakčního času ve střetném boji**

Obligatorní podmínky nutné obrany při střetném boji, tj. schopnost napadeného ubránit se útoku reagováním, nastávají při splnění nerovnosti úspěšnosti obranné akce:

$$\Delta t_d < \Delta t_a,$$

kde  $\Delta t_d$  ...trvání obranné akce,

$\Delta t_a$  ...trvání útočné akce.

Příčemž trvání akce obranné se skládá ze dvou částí:

$$\Delta t_d = \Delta t_{rt} + \Delta t_m,$$

kde  $\Delta t_{rt}$  ...aktuální reakční doba obránce,

$\Delta t_m$  ...trvání obranného pohybu.

Zároveň lze vyjádřit reakční dobu subjektu vztahem:

$$\Delta t_{rt} = \Delta t_p + \Delta t_r,$$

kde  $\Delta t_p$  ...trvání percepce,

$\Delta t_r$  ...trvání procesu rozhodování.

Pak tedy platí:

$$\Delta t_p + \Delta t_r + \Delta t_m < \Delta t_a.$$

Existuje tedy několik možností pro zvýšení šance na účinnou obranu:

- redukce doby trvání percepce podnětu,
- redukce doby trvání procesu rozhodování,
- redukce doby trvání motorické odezvy.

Časové nároky na jednotlivé komponenty lze rozdělit do tří fází, a to vizuální percepci, proces rozhodování a svalový pohyb. Zhruba 70 % celkové hodnoty reakčního času tvoří čas potřebný pro vizuální percepci, zatímco 30 % vyžaduje motorická odezva. Uvedený poměr se týká motorických odpovědí řidiče v dopravě ve studii Demirarslana.<sup>83</sup> Průměrné rozdělení podle Bradáče<sup>84</sup> činí 28,4 % pro svalový pohyb, 71,6 % pro vizuální percepci, resp. 23,8 % k 76,2 %. Podíl percepce na reakční rychlosti se zvyšoval s tím, zda řidič sledoval jiný objekt, a to buď v rozsahu nepřesahujícím pět stupňů od kolmice vedené k relevantnímu objektu, resp. přesahující tuto hodnotu. Samozřejmě, že v případě střetného boje se vyskytují motoricky složitější odezvy, čímž se význam obou komponent vyrovnává.

Vizuální percepcie jako složka reakční rychlosti je ovlivňována faktory, které uvedu v následující kapitole, kde bude pregnantně vysvětlena jejich podstata působení. Obecně vzato mají na její délku vliv zejména vnější podmínky prostředí, prostorové umístění subjektu vůči zdroji, resp. směr, ze kterého je podnět exponován.

Doba potřebná pro rozhodování tvoří nejvíce variabilní složku reakční doby. Faktory na ní působící lze velmi těžko nějakým způsobem kategorizovat. Jedná se vyloženě o determinaci samotným subjektem vyvolanou zejména psychickými stavy napadeného, tj. emocemi, rozrušením, nezkušeností ve střetném boji atp. Redukce časového trvání této fáze je tudíž možná především nabytými zkušenostmi v těchto situacích, psychickou odolností atd.

Motorickou, pohybovou rychlost určuje čas, který je potřebný k vykonání jednotlivého pohybového aktu, což je dáno především trénovaností svalového aparátu a rychlostí svalové kontrakce zapojených svalů. Trénované subjekty tedy mají lepší předpoklady pro redukci trvání této fáze. Tyto osoby dosáhly stadia nazývaného stabilizace pohybového stereotypu, kdy jsou pohyby prováděny přesně, plynule, koordinovaně a úsporně. V důsledku toho se jednak výrazně snižuje čas potřebný pro motorickou odezvu, jednak osoba dokáže jednat přesně, čímž neporovnatelně vůči netrénovaným osobám zvyšuje šance na účinnou obranu. Další pozitivum z hlediska účinné obrany představuje fakt, že trénované subjekty zpravidla získaly v trénované oblasti schopnost rychlé percepce a díky stabilizovanému dynamickému stereotypu

---

<sup>83</sup> DEMIRARSLAN, H. Visual information processing and response time in traffic-signal cognition. [online]. [cit. 9. 10. 2008]. Dostupné na:

< <http://stinet.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA248165&Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf> >

<sup>84</sup> BRADÁČ, A. a kol. *Soudní inženýrství*. Brno: CERM, 1997.

redukují také dobu potřebnou pro rozhodování. Všechny tyto výhody trénovanosti přispívají k podstatné redukci celkové doby trvání akce.

Mnohá útočná akce však může být provedena na krátké vzdálenosti tak rychle, že se proti ní nelze bránit. Napadený tedy maximálně detekuje podnět, což ale bez příslušné motorické odezvy nemá žádný význam z hlediska jeho účinné obrany. Proto je žádoucí nereagovat na podnět, který již nastal, neboť to činí účinnou obranu nemožnou. Co se týče útoků beze zbraně, nejjednodušším, nejrychlejším prostředkem k dosažení kriminálního cíle násilným způsobem je úder končetinou, tj. úhoz, a kop. Samotná rychlost provedení úderu nehraje tak podstatnou roli, neboť potřebného účinku dosáhne v případě vhodného postoje a optimální vzdálenosti od poškozeného. Účinnost úderu rovněž ovlivňuje správná pronace, resp. supinace předloktí a otáčení a přemístění trupu. Obdobné motorické úkony jsou vyžadovány při použití krátké chladné zbraně či při úderech těžkými předměty. Ovšem upotřebení krátké chladné zbraně dosahuje účinnosti i při samotném pohybu končetiny. Na druhou stranu, úder vedený též pouhým pohybem končetiny nebude natolik efektivní, nicméně v obou případech bude iniciace pohybu a jeho detekce jako podnětu pro poškozeného méně čitelná.

Trvá-li tedy útočná akce dobu výrazně kratší než doba trvání obranné akce napadeného, je jeho obrana jako reakce na ni neuskutečnitelná. Aby byla nějak možná, je nezbytné, aby napadený reagoval nikoliv na začátek útočné akce svého protivníka, nýbrž na něco, co jí dostatečně předcházelo a pomohlo k samotné identifikaci stimulu.<sup>85</sup> Napadený pak ze znaků situace anticipuje budoucí vývoj chování svého protivníka, na základě čehož pak jedná. Předvídat pravděpodobné jednání dává proto i za cenu možného omylu solidní možnost se účinně bránit.

Uvedená determinace komponent psychickými a fyzickými schopnostmi napadeného subjektu byla předmětem výzkumu již zmíněných autorů Olenika, Rožkova, Kargina.<sup>86</sup> Uvádím jimi naměřené hodnoty v závislosti na preferovaných schopnostech subjektu:

Tab. 3 - Průměrné skupinové ukazatele rozvoje psychických vlastností vrcholových zápasníků s různými způsoby vedení boje

Typ	Prostý reakční čas (ms)	Složitá pohybová reakce (ms)	Reakce na pohybující se předmět (ms)	Cit pro čas (s) <sup>87</sup>	Racionalita operativního myšlení (počet tahů)
Hráč	148,2 ± 10,2	200,9 ± 11,2	500 ± 190	3,87 ± 1,86	7,72 ± 0,41
Silák	157,7 ± 11,3	224,9 ± 18,5	610 ± 220	4,93 ± 2,84	8,32 ± 0,71
Tempař	160,1 ± 11,1	223,5 ± 24,1	690 ± 250	7,31 ± 4,20	8,42 ± 0,66

<sup>85</sup> Multisignální reakce.

<sup>86</sup> OLENIK, V. G., ROŽKOV, P. A., KARGIN, N. N. Specifika mistrovství zápasníků s různými způsoby vedení boje. *Sportivnaja borba*, 1984, s. 8–11.

<sup>87</sup> Anglicky „interval timing“; jednoduše řečeno se jedná o schopnost odhadnout časový interval, plynutí času, tj. jedna z intelektových schopností člověka.

Pro ilustraci dále přikládám výsledky měření (viz následující tabulky) Nováka, Skoupého, Špičky (1991) týkající se úzce této problematiky.<sup>88</sup> Z uvedených reakčních dob je patrné, že pokusná osoba reaguje na něco, co předchází vzdalování protivníkovi nohy od podložky. Tato měření byla prováděna v tělocvičně při běžném večerním osvětlení.<sup>89</sup> Měřením bylo potvrzeno, že úroveň osvětlení a jeho umístění značně ovlivňují schopnost pokusné osoby reagovat. Při dobrém osvětlení ze správného směru prostá reakční doba na nestandardní signál, jehož substrátem je výpad následovaný kopem, nabývá i záporných hodnot. Za konvenční počátek akce je brán okamžik, kdy se noha útočníka začala vzdalovat od podložky. Poslední nevratné změny přípravy pokusné osoby k provedení následné akce se však dají za těchto podmínek velmi spolehlivě identifikovat již 0,5–2 sekundy před stanoveným počátkem pohybu útočníka, což pro potřeby praxe stačí.

Tab. 4 - Konvenční prostá reakční doba před vybranými bojovými akcemi

Druh reakce po expozici standardního vizuálního signálu	Konvenční prostá reakční doba (ms)	
	Nejkratší	Běžné
Stisknutí tlačítka	153	180–200
Přímý úhoz vzdálenější paží	211	270–330
Úhoz stranou	229	270–330
Vnější rotační úhoz	228	260–290
Obloukový kop zdola vzdálenější nohou z bojového střehu	220	240–280
Kružný kop zdola do výšky holeně protivníka bližší nohou	300	300–380
Výpad z bojového střehu o stopu vpřed	226	260–300
Výpad z bojového střehu o stopu vzad	210	260–280
Kryt zdola předsunutou paží z bojového střehu	203	220–250
Kryt shora předsunutou paží z bojového střehu	211	230–250
Úhyb hlavou vzad	211	230–260
Úhyb hlavou stranou	201	230–280

<sup>88</sup> NOVÁK, J., SKOUPÝ, O., ŠPIČKA, I. Sebeobrana a zákon. Praha: Klavis, 1991, s. 16–21.

<sup>89</sup> Vnější determinant vizuální percepce.

Tab. 5 - Konvenční prostá reakční doba před vybranými bojovými akcemi

Druh bojové akce	Trvání akce (ms)	
	Nejkratší	Běžné
Přímý úhoz	91	120–150
Úhoz stranou	120	130–150
Vnější rotační úhoz beznáprahový	181	190–200
Vnější úhoz vzdálenější paží z bojového střehu	139	150–170
Úhoz shora z bojového střehu předsunutou paží	105	110–120
Přímý kop stranou z bojového střehu předsunutou nohou do výšky kolena	241	270–290
Koncový kop zdola bližší nohou na holeň protivníka	143	150–160
Obloukový kop zdola z bojového střehu vzdálenější nohou do 90°	277	300–320
Kyvný kop stranou z bojového střehu bližší nohou do výšky pasu	334	350–370
Vnější kop z bojového střehu vzdálenější nohou do výšky pasu	345	360–380
Přehoz přes záda (seoi-nage) ze vzdálenosti na dosah paže z čelného postoje (analogicky u dalších porazů)	467	550–590
Přehoz přes lýtko (tai-otoši)	441	500–550
Podraz vnější (o-soto-gari)	643	670–720
Podraz zepředu (učí-mata)	338	470–560
Vnější kryt (dle školy Šotokan)	159	180–190
Vnitřní kryt (dle školy Šotokan)	111	150–190
Úhyb hlavou vzad	100	–
Úhyb hlavou stranou	110	–

Tab. 6 - Trvání bojových akcí

Pokusná osoba č. 2 provádí:	Trvání prosté reakční doby pokusné osoby č. 1 (průměr z naměřených hodnot v ms)
Výpad vpřed + obloukový kop do výšky pasu	48
Koncový kop zdola vzdálenější nohou na holeň	62
Koncový kop bližší nohou na holeň	93
Kop zdola ze stoje spatného do výšky pasu	88
Kop zdola z čelného postoje do výšky pasu	37
Kyvný kop stranou z čelného postoje do výšky pasu	6
Výpad vpřed + obloukový kop zdola do výšky pasu	115

## **Faktory ovlivňující reakční čas**

Činitele determinující reakční čas lze klasifikovat podle mnoha kritérií, přičemž mezi relevantní jak z hlediska teorie, tak z hlediska praxe považují – alkohol, stimulační léky, resp. drogy, věk, trénink, únava, prostorová orientace vůči podnětu, varování přicházejícího stimulu a tenze. V dalším nás primárně zajímala otázka změny reakční doby vlivem hladiny alkoholu.

Alkohol snižuje rychlost informačních procesů, jednoduchých, výběrových a rozpoznávacích reakčních časů v rámci experimentů vyžadujících jako odezvu jednoduchou motorickou reakci. V neposlední řadě též rozdílně narušuje kognitivní schopnosti vyššího řádu, což je předpokladem pro negativní determinaci komplexních motorických odpovědí.

## **Experimentální část**

Hlavním cílem experimentu bylo zjištění reakčních časů člověka v experimentu zaměřeném na komplexní reakční čas výběrový s komplexní motorickou odezvou. Vedle tohoto cíle jsme se zaměřili na kvantifikování a vyjádření závislostí reakčního času na množství požitého alkoholu, připravenosti způsobené distrakcí subjektu a intenzitou audiálního stimulu. Další úkol spočíval ve vyjádření časového trvání prováděného úhozu z klidové pozice, a to jednak do volného prostoru, jednak do tuhého tělesa. Cílem naopak nebylo následovat výzkumy spočívající v analýze jednoduchých reakčních časů, ať už s komplexní motorickou odezvou nebo pouze s jednoduchým typem motorické odezvy. Stejně tak se jevila jako žádoucí, vzhledem ke stanoveným cílům, konfigurace experimentu tak, aby podnět charakterizovala jeho náhodnost, způsobená prostorovou a časovou neurčeností při exponování.

Znaky náhodného podnětu pro účely tohoto pokusu: podnět z definované množiny stimulů, s jejímž obsahem byl subjekt před započítím experimentu seznámen, přičemž každému z těchto podnětů byla přiřčena jediná správná odezva, jejíž nejdůležitější charakteristikou je komplexní motorická odezva na rozdíl od typických schémat používaných v experimentální psychologii, zde mezi podněty nejsou konstantní časové intervaly, resp. téměř konstantní intervaly (experimentální psychologie používá časové intervaly mezi podněty, jejichž trvání se pohybuje v rozmezí cca 500–3500 ms, čímž subjekt zákonitě, alespoň v některých případech, sníží reakční dobu díky sekvenčnímu efektu), čímž dochází k eliminaci tzv. sekvenčního efektu; v tomto experimentu jsme naproti tomu pracovali s časovými intervaly se spodní hranicí řádově od desítek milisekund až po více než minutové horní hranice.

Taktéž důležitým faktorem pro náhodnost podnětu se jeví skutečnost, že docházelo ke změně charakteru stimulu, tj. střídavě byl exponován podnět audiální (z hlediska komplexnosti unimodální) s audiovizuálním (z hlediska komplexnosti bimodální) a zcela náhodně participoval též podnět nedefinovaný, na nějž subjekt neměl reagovat vůbec. Průběžně docházelo i k substituci prostorového umístění zdroje podnětu, opět z důvodu zachování variability vzhledem k subjektu.

Experimentu se zúčastnilo 25 dobrovolníků reprezentujících skupinu velmi dobře trénovaných osob. Praktická část výzkumu byla uskutečněna v úpolové tělocvičně Policejní akademie ČR. Experimenty a měření u všech dobrovolníků trvaly celkově zhruba 60 minut. Vzhledem k charakteru experimentu se vyskytoval pouze komplexní reakční čas prostý a výběrový, který vyžadoval komplexní motorickou odezvu.

Instrukce byly subjektům prezentovány před započítím experimentu. Jednalo se o nástin zaměření experimentu, tj. orientace na výzkum reakčních časů na náhodný podnět, který vyžaduje složitou motorickou reakci. Dále instrukce spočívala ve



vymezení podnětů: Úder, toč, kop, záda, natažení závěru pistole CZ vz. 75, břicho, sed, leh, klik.

Výslovně bylo určeno, že na jakýkoliv další podnět nemají reagovat. Takové instrukce zakládají charakter experimentu výběrového typu – subjekt reaguje na podněty, na něž musí vybrat správnou reakci a navíc odlišit nežádoucí podněty. Pokud docházelo k typům prostým, docházelo k tomu takovým způsobem, kdy subjekt vykonal „neutrální reakci, prostý pohyb“ a teprve během pohybu modifikoval celý proces ke korektní odezvě. V takovém případě jsem určil hodnotu prosté reakční rychlosti a následně též latenci, která určuje, za jaký časový interval subjekt od počátku jednoduché reakce začal vykonávat samotnou reakci relevantní k danému pokynu. Za výběrovou reakční dobu pak pokládám samozřejmě čas souhrnný, s nímž nadále v rámci analýzy závislostí pracuji.

Exponování zvuku závěru nastávalo výlučně v dorsálním směru vůči subjektu. Kritériem pro zvolení uvedených podnětů spočívajících ve slovním vyjádření byl požadavek na relativně stejnou délku trvání pokynů, čemuž byl podřízen i způsob formulace zadání, jehož objektivní podstata nemusela být ihned zřejmá. Proto subjekt dostal patřičné poučení o příslušné správné odpovědi. V případě užití výstižnějších, avšak výrazně odlišných signálů co se týče délky, by mohlo mnohem pravděpodobněji docházet k detekci neurčitěho signálu, čímž by subjekt získal podmínky pro vykonání prostého reakčního času a v rámci jeho výkonu by mezitím došlo k exponování celé informace, čímž by „upřesnil“ svou odezvu, tj. vykonal požadovanou odpověď. Jinými slovy lze říci, že ve prospěch subjektu by působil faktor varování přicházejícího stimulu, jímž je výlučně pozitivně determinující činitel reakční rychlosti.

Hladina alkoholu v krvi byla měřena přístrojem pro detekci alkoholu v dechu – Alkohol Tester, nicméně pro eliminaci alkoholu v dechu subjekt po dobu zhruba 10 minut prováděl cvičení, jehož cílem bylo odstranit alkohol z dechu a urychlit vstřebání alkoholu do krve.

### **Metody analýzy dat**

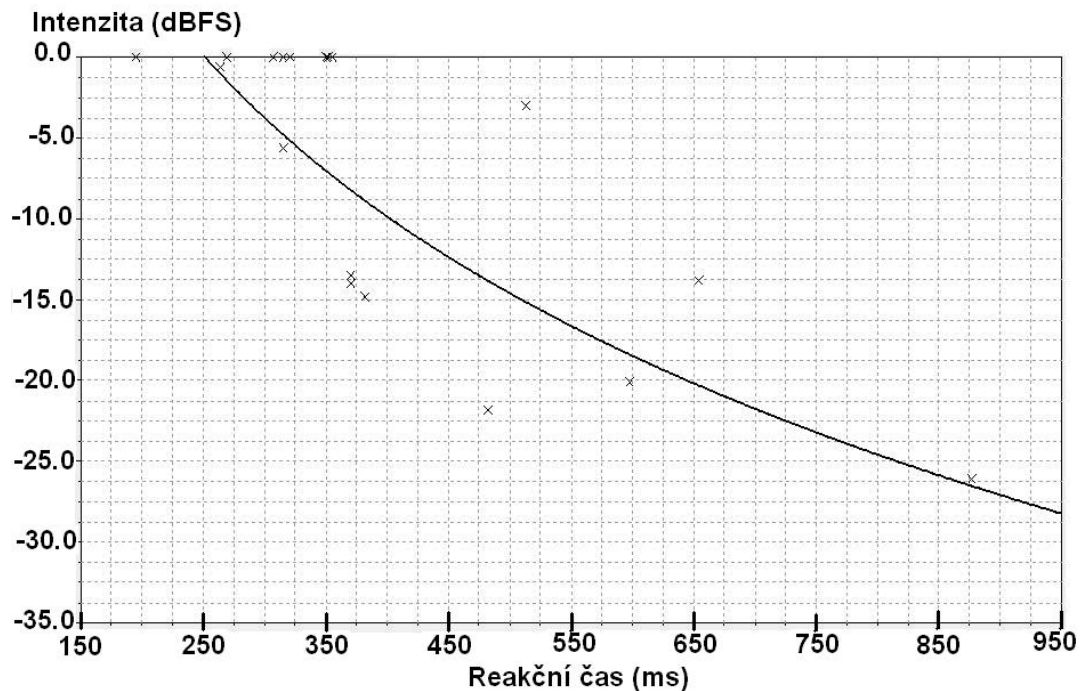
Samotné metody analýzy dat spočívaly v tom, že ze získaného videozáznamu jsem extrahoval v maximální kvalitě nezměněnou zvukovou stopu. Videozáznam jsem analyzoval v programu VirtualDubMod 1.5.10.2 build 2540. Záznam sloužil k určení okamžiku, v němž subjekt začal reagovat, což vzhledem k použitým metodám videozáznamu znamenalo přesnost 40 ms. Díky funkci zrušení prokládání byla nakonec vytvořena sekvence po 20 ms znamenající tuto mezní chybu při měření výstupu. Vstup, tj. počátek exponování stimulu, jehož podstatou byl audiální signál jsem pro vyšší přesnost a pro možnost další analýzy stopy analyzoval programem Audacity 1.2.6., který již pracoval pouze se zvukovou stopou, a umožnil bez problémů pracovat na časové ose s rozlišením i nižším než 1 ms, tato citlivost vzhledem k okolnostem byla optimální.

U každého ze stimulů byla požitá analýza zvuku, která zahrnovala zjištění intenzity audiálního podnětu (vyjádřeno v jednotkách dBFS, hladina 0 dBFS odpovídá maximální intenzitě), analýzu frekvencí signálu (frekvenční analýza) a jeho kompletního spektra (spektrogram). Frekvenční analýzy a spektrogramy samozřejmě nenabývají primárního významu z hlediska účelu práce, avšak v rámci komplexního zpracování zadaného tématu pokládám jejich zařazení za významné.

### **Výsledky**

Průměrný reakční čas všech subjektů při nulové hladině alkoholu dosahoval hodnoty 395,27 ms ( $\sigma = 113,37$ ). Tato hodnota reprezentuje průměr všech hodnot bez rozlišení.

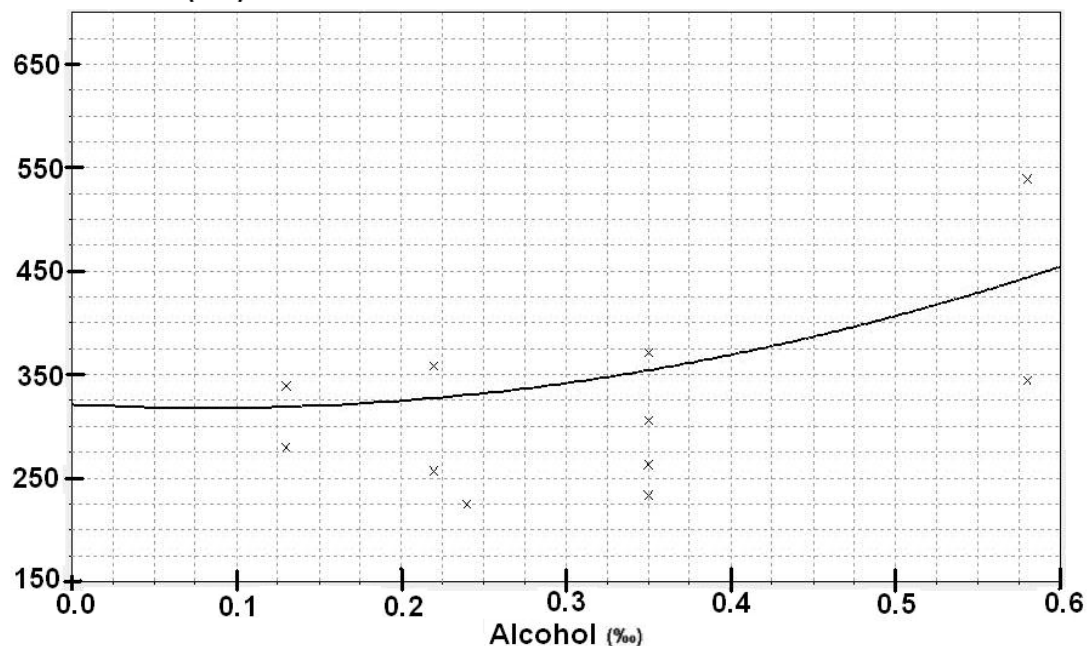
Pro unimodální audiální stimul o intenzitě 0 dBFS byl průměr všech subjektů 342,65 ms.



Obr. 8 - Závislost reakčního času na intenzitě audiálního stimulu

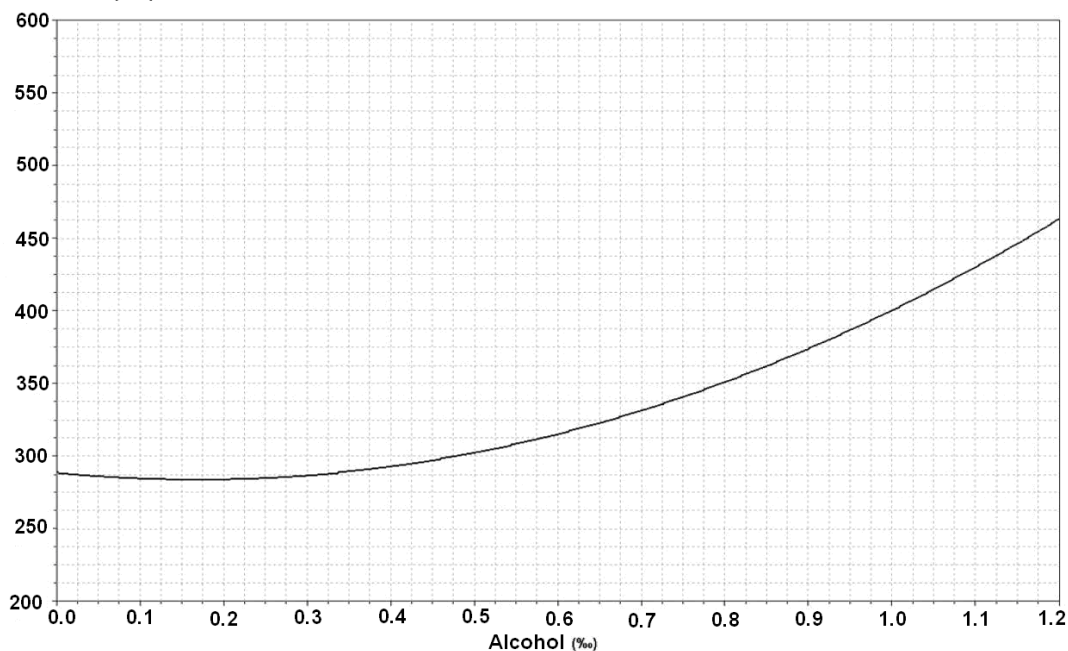
Charakter závislosti je tedy zřejmý – rychlejších reakčních dob dosáhne subjekt, pokud stimul nabývá vyšší intenzity a naopak. Avšak křivka vytvořená z námi naměřených hodnot se netýká stimulů, které nedosáhly takové intenzity, aby byly detekovány. Takové podněty se v našem experimentu nevyskytovaly. Z podstaty věci je zřejmé, že hodnota reakčního času by se nezvyšovala, resp. nesnižovala donekonečna, pokud by teoreticky podnět nabyl nekonečně malé, resp. velké intenzity. V grafu by taková okolnost byla znázorněna asymptotami, přičemž každá z nich by byla rovnoběžná s příslušnou osou.

Reakční čas (ms)



Obr. 9 - Graf závislosti reakčního času na hladině alkoholu – maximální hladina alkoholu 0,6 ‰<sup>90</sup>

Reakční čas (ms)



Obr. 10 - Graf závislosti reakčního času na hladině alkoholu – maximální hladina alkoholu 1,2 ‰<sup>91</sup>

<sup>90</sup> STRAUS, J., DANKO, F. Reakční čas na náhodný podnět vyžadující komplexní motorickou odezvu - pilotní studie. Pohybové ústrojí, roč. 16, 2009, č. 1+2, s. 52–63. ISSN 1212-4575.

<sup>91</sup> STRAUS, J., DANKO, F. Reakční čas na náhodný podnět vyžadující komplexní motorickou odezvu - pilotní studie. Pohybové ústrojí, roč. 16, 2009, č. 1+2, s. 52–63. ISSN 1212-4575.

Grafické znázornění, stejně jako samotné koeficienty rovnice, vypovídá o tom, že funkce nabývá minima nikoliv v nule, nýbrž dále ve směru ke kladným hodnotám osy  $x$ . Jinými slovy, tato analýza experimentálně zjištěných hodnot naznačuje excitační efekt alkoholu pro velmi nízké hladiny alkoholu v krvi, konkrétně pro 0,17-0,23 g/kg.

## Diskuse

Provedené experimenty a měření byly provedeny pouze na souboru mužů, nelze tedy s jistotou tvrdit, jakých konkrétních hodnot reakčních dob by ženy dosahovaly. Z pilotního výzkumu vyplynula potřeba učinit v rámci následného výzkumu následující kroky: provedení většího počtu měření z frontálních pozic vůči subjektu, jednak s vizuálními, jednak s audiovizuálními podněty. Cílem tohoto experimentu by pak bylo zkompletování souboru reakčních časů na audiální, vizuální a audiovizuální podnět, což jsou pro potřeby praxe nejpodstatnější poznatky pro znalecké zkoumání v oblasti. Ve všech relevantních okruzích zkoumání získávat další data, jež jenom pomohou k upřesnění daných závislostí, a která ujasní reakční možnosti běžné populace, stejně jako ukážou hraniční fyziologické možnosti vysoce trénovaných subjektů. Pro zjištění vlivu alkoholu se jeví jako nezbytné dále určovat vliv alkoholu na reakční schopnost, popř. na další komponenty reakční schopnosti. Dále pokládáme za potřebné získat hodnoty reakčních dob i pro vyšší hladiny alkoholu v krvi, než cca 0,6 ‰.

## Závěr

Hypotéza o podmíněnosti reakční rychlosti v závislosti na intenzitě stimulu se potvrdila. Jednalo se zatím pouze o audiální stimul, nicméně na zvukový podnět člověk reaguje nejrychleji z uvedených druhů podnětů. Byly získány nejlepší možné průměrné hodnoty reakčních časů, které budou následně ještě nápomocny při analýze odezev na audiovizuální podněty, resp. při celkovém komplexním posouzení reakčních schopností člověka z běžné populace či trénovaných osob.

Analýza vlivu distrakce na připravenost a tím na hodnotu reakční doby potvrdila očekávání a tvořila determinant nezanedbatelného charakteru. Získaná data opět poskytují solidní základ pro zkoumání připravenosti a jejího vlivu na reakční čas. Zajímavé výsledky poskytla analýza vlivu alkoholu na reakční rychlost, kdy subjekty byly v průměru nízkými hladinami dokonce excitovány, konkrétně při hladině alkoholu v krvi cca 0,08 ‰. Následně docházelo k negativní determinaci dosahující při cca. 0,4 ‰ a výše poměrně vysokých hodnot. Analýza experimentálně zjištěných hodnot naznačuje excitační efekt alkoholu pro velmi malé hladiny alkoholu v krvi, pro 0,17-0,23 g/kg. Grafy na (obr. 9 a 10) poměrně přesně ukazují predikci reakčního času na náhodný podnět vyžadující komplexní motorickou odezvu v závislosti na hladině alkoholu v krvi.

Alkohol ovlivňoval celý soubor komponent reakčního času, resp. i celkového trvání akce. Zhoršovala se percepce, rozhodování, reakční rychlost, stejně jako další charakteristiky nespádající do této kategorie jako např. motorika, přesnost provedení odezvy atp.

Rychlejších reakčních dob dosáhne subjekt, jestliže stimul nabývá vyšší intenzity a naopak. Samozřejmě, že křivka (obr. 8) vytvořená z námi naměřených hodnot se netýká stimulů, které nedosáhly takové intenzity, aby byly detekovány. Takové podněty se v našem experimentu nevyskytovaly. Z podstaty věci je zřejmé, že hodnota reakčního času by se nezvyšovala, resp. nesnižovala donekonečna, pokud by teoreticky podnět nabyl nekonečně malé, resp. velké intenzity.

## 6. Časová relace kopu a úderu

Volní reakce na podnět jsou mnohem složitější než reflexy a vyžadují účast vyšších mozkových funkcí. Při volních reakcích je signál z oka nebo jiného smyslového orgánu, resp. několika smyslových orgánů zároveň, posílán do motorických center mozku, která jej zpracují, určí podstatu odezvy a transportují daný pokyn svalům, jež následně vykonají reakci, a to po uplynutí určitého časového intervalu.<sup>92</sup> Na zadaný podnět nereaguje člověk svalovou reakcí bezprostředně, ale s určitým zpožděním. Délka reakční doby je fyziologicky ohraničena a do jisté míry ovlivňuje rychlost celého pohybového úkonu (fakticky celkového trvání pohybu), což je nesmírně důležité zejména pro pohybové akty velmi krátkého trvání, řádově sekundy. Reakční rychlost je také mimořádně významná při řešení výběrových motorických činností, při nichž dochází k zapojení velkých svalových skupin.<sup>93</sup>

Reakční rychlost je také mimořádně významná při řešení výběrových motorických činností, při nichž dochází k zapojení velkých svalových skupin. Ve forenzní biomechanice se v posledních letech ukazuje jako velmi aktuální otázka řešení vnějších a vnitřních vlivů na reakční čas a vlastní motorickou činnost. Pro napsání tohoto článku byly využity výstupy z výzkumu.<sup>94, 95, 96</sup>

### Časová relace kopu a úderu

Časové relace představuje měřený časový úsek a vztah měřeného časového úseku mezi prováděnou technikou kopu a prováděnou technikou úderu. Při měření byly položeny následující základní otázky:

Jak dlouho trvá jednotlivá technika kopu či úderu jako celku?

Jak dlouho trvá urazit dráhu samotného úderu či kopu?

Jsou rychlejší techniky kopu nebo úderu?

V první etapě výzkumu byly definovány základní techniky kopu, čas jednotlivých technik kopů označíme  $t_k$ :

$t_{kg}$  = časová relace kopu vedeného do oblasti genitálií,

$t_{ko}$  = časová relace kopu obloukového,

$t_{kp}$  = časová relace kopu přímého.

Čas jednotlivých technik úderů ponese značku  $t_u$ :

$t_{úp}$  = časová relace úderu vedeného přímo,

$t_{ús}$  = časová relace úderu obloukového,

$t_{úf}$  = časová relace úderu fackou.

Pro tento experiment bylo zvoleno dvanáct figurantů, z čehož polovinu tvoří profesionální sportovci v oblasti bojových sportů a druhou polovinu tvoří neprofesionálové, tj. osoby bez osvojené techniky kopů. Je obecně známo, že sportovní dovednost rozvíjí jak dynamickou, technickou, tak svalovou stránku. Věková

<sup>92</sup> Tj. participace perceptuálního, kognitivního a motorického systému v uvedeném pořadí.

<sup>93</sup> STRAUS, J. Aplikace forenzní biomechaniky. Praha: Police History, 2001, s. 202.

<sup>94</sup> DANKO, F. Reakční čas na náhodný podnět vyžadující komplexní motorickou odezvu. Bakalářská práce (vedoucí J. Straus). Praha: PA ČR, 2009, 94 s.

<sup>95</sup> HRICAN, M. Biomechanická analýza kriminalistických stop odrážejících funkční a dynamické vlastnosti. Diplomová práce (vedoucí J. Straus). Praha: PA ČR, 2009, 76 s.

<sup>96</sup> STRAUS, J., DANKO, F. Reakční čas na náhodný podnět vyžadující komplexní motorickou odezvu-pilotní studie. Pohybové ústrojí, roč. 16, 2009, č. 1+2, s. 52–63. ISSN 1212-4575.

hranice figurantů dosahuje 19-35 let. Reprezentativní vzorek zahrnuje z 58 % muže a ze 42 % ženy běžného somatotypu.

### **Jednotlivé techniky kopů a úderů**

Při výběru jednotlivých technik se vzala v úvahu četnost výskytu technik v praktické stránce, tedy četnost výskytu pouliční. Níže vybrané techniky úderů a kopů považuji za nejčastěji prováděné při boji zblízka beze zbraně, které vyplynuly z mých zkušeností z oblasti bojových sportů. Vzhledem k nepřehlednému množství technik kopů a úderů byly tyto jednotlivé techniky také voleny z hlediska možnosti proveditelnosti u figurantů. Většina úderů a kopů vychází ze základního bojového postoje, ale berme v potaz, že každý sportovec v dané oblasti si vytříbí jemu nejpřirozenější bojový postoj a tedy ze základního bojového postoje spíše vychází neprofesionálové.

### **Úder přímý**

Vychází ze základního bojového postoje. Úder přímý je veden ze zadní pokrčené paže přímo k cíli, to jest tou nejkratší možnou cestou. Cíl u zkoumaného úderu se nachází v úrovni hlavy figuranta provádějícího akci. Úder přímý zpravidla zasahuje nos či bradu v oblasti obličeje. Úderovou plochou je, pěst respektive pěstní klouby.



Obr. 11 - Technika přímého úderu

### **Úder obloukový**

Vychází ze základního bojového postoje, kde před prováděnou akcí se nachází paže v zadní poloze. Úder stranou je veden ze zadní polohy pokrčené paže obloukem k cíli v úrovni hlavy figuranta provádějícího akci. Tento úder zasahuje oblast tváře, lícní kost, popřípadě spánek. Mezi sportovci se nazývá levý či pravý hák. Úderová plocha je obdobná jako u přímého úderu.

### **Boční úder otevřenou dlaní („facka“)**

Vychází ze základního postoje, to jest postoj, který není bojový, mírně rozkročený, kde jsou obě nohy téměř v jedné rovině. Můžeme ho považovat za postoj přirozený individuálnímu jedinci. Facka vychází z natažené paže podél těla, jejíž dráha během

akce opisuje obloukový tvar. Úder je zpravidla zacílen do oblasti tváře, úderovou plochou je dlaň.

### **Kop do genitálií**

Kop vedený zadní nohou ze základního bojového postoje do oblasti a výše genitálií. Kop se provádí přímo, tedy tou nejkratší možnou cestou. Úderová plocha u této prováděné techniky je různá v závislosti na druhu bojového umění. Zpravidla je úderovou plochou nárt nebo spodní část kosti holenní.

### **Kop obloukový**

Jak už z názvu vyplývá, jedná se o kop ze zadní nohy vedený ze základního bojového postoje, který směřuje k cíli v závislosti na technice daného bojového umění. Buď to je technika prováděna nejkratší možnou cestou, to jest přes rotaci boků, kde nárt se stává úderovou plochou, nebo kop vedený obloukem k cíli, kde se stává úderovou plochou holeň.

### **Kop přímý**

Tato technika se provádí ze základního bojového postoje přímou cestou k cíli do oblasti břicha ze zadní nohy. Úderovou plochou techniky je vrchní část chodidla. Ve světě bojových sportů je znám jako „push kick“.

### **Metoda měření času**

Měření se provádělo pomocí vysokorychlostní kamery v režimu 300 fps (snímků za sekundu). Experiment byl proveden v úpolové tělocvičně. Kamera byla ukotvena na stativu a umístěna tak, aby snímala figuranty z profilu, kteří prováděli akce ve vyměřeném prostoru na tatami do lap a odražečů. Každý kop či úder byl třikrát zaznamenán a vybrán ten nejlepší možný. Nejprve byly zaznamenány všechny údery u každého figuranta zvlášť a poté všechny kopy. Každý figurant byl s danou technikou prakticky seznámen. Po oznámení zapnutí režimu záznamu se figurant připravil a ze své vlastní iniciativy provedl akci, kterou vícekrát neopakoval. Během měření byl figurantům navlečen reflexní proužek pro lepší vyhodnocování zkoumané oblasti.

Do takto zaznamenaných a upravených sekvencí byl vložen časový měřič (stopky), který pracoval ve 30 fps. Z toho vyplývá, že pracovní čas 30 fps byl 10krát rychlejší než reálný čas 300 fps záznamu. Protože záznamy kamery i vložená sekvence stopek pracovaly na bázi snímků za sekundu, bylo nutno dané snímky přepočítat na setiny sekundy. Jestliže 30 snímků je úměrné jedné sekundě záznamu a sekunda reálného času se nachází ve stovkové soustavě, tak podílem stovkové soustavy a 30snímkové soustavy lze dosáhnout koeficientu pro přepočet 30 snímkové soustavy na soustavu stovkovou. Lze zapsat:  $30\text{fps} = \text{sec}$ ,  $100\text{set} = \text{sec}$ ,  $100/30 = 3,33$  setin za snímek.

### **Počátek měření jednotlivých technik**

Jednotlivé techniky byly zkoumány v profesionálním programu na úpravu a zpracování videí, kde byla možná orientace po jednom snímku za sekundu. Zkoumán byl zejména první pohyb či impulz, z kterého bezprostředně vycházela prováděná akce. Tento počín se zkoumal jak u úderů paže, tak u kopů, nepřihlíželo se k vrchní nebo spodní části těla, nýbrž k tělu jako celku.

**Druhý měřený časový úsek** u jednotlivých technik kopů byla dráha kopu samotného. Měřený časový úsek začínal ztrátou kontaktu chodidla, nevyjímaje prsty u chodidla,

a končil zasažením daného cíle úderovou plochou prováděné techniky. Tento časový úsek byl měřen proto, že se zde projevuje technická zdatnost jedince zkrátit takovýto úsek nebo tento úsek urazit za co možná nejkratší čas. Tento časový úsek byl také zkoumán z důvodů reakce schopnosti neprofesionálního protivníka, který není vytrénován sledovat impulz prvotní.

Třetí měřený časový úsek. Zde byla zaměřena pozornost na údery, jelikož prvním impulzem úderu byl zpravidla pohyb přední nohy v kolenu, tak za třetí měřený úsek se zvolil počáteční pohyb ruky dané techniky k cíli. Za počáteční pohyb ruky k cíli se dá považovat takový pohyb, který ruka urazí s tělem jako celkem, nebo pohyb, který není prodlužován ostatními pohyby těla, tedy není veden v rámci pohybu trupu, kolen, ale je veden přímo z dané útočné paže.

## **Dráha**

Vymezení pojmu dráhy je známé, přesto si dovolíme tento pojem blíže specifikovat. Představme si dráhu jako úsečku s krajními body A, B, mezi kterými je vztah vzdálenosti, tedy prostor mezi A, B je délkou úsečky. Vzdálenost v této práci se nachází mezi prováděnou jednotlivou technikou a cílem. Přesněji řečeno od prvotního impulzu nebo třetího měřeného časového úseku k prvotní zpozorované deformaci cíle objektu. Takto vymezená vzdálenost urazí jednotlivá technika po individuální křivce, která je právě dráhou dané techniky. Dráha byla především měřena z důvodu stanovení okamžité rychlosti jednotlivých technik.

## **Metoda trasování**

Trasování neboli „track motion“ slouží ke sledování předem zvoleného bodu ve video sekvenci v profesionálním programu na úpravu videí. Proces track motion spočívá v orientaci systému barev R, G, B (red, green, blue). Tyto barvy červená, zelená, modrá jsou základní barvy, které jsou procentuálně obsaženy v každé barevné části videa, a podle procentuálního poměru těchto barev program rozezná, o kterou barvu se jedná. Z tohoto vyplývá, jestliže umístím trasovací bod na jakoukoli barevnou část videa (např. ruku), program pozná, o jakou barvu se jedná a této barvy se drží. Trasovací bod se nalézá v prostoru dvou odstupňovaných geometrických tvarů jako je čtverec nebo obdélník podle nastavení geometrického tvaru. První stupeň čtverce či obdélníku má menší poměr stran a je vložen do druhého stupně čtverce či obdélníku. Prvním stupněm tedy vymezujeme barevné spektrum barev, v kterém se nachází trasovací bod, a druhý stupeň toto spektrum rozšiřuje o barvy již méně podobné a tím zajišťuje lepší orientaci programu v komparaci barev. Představme si tedy dvě do sebe vložené čtvercové ohrady, kde platí, že obsah první ohrady je menší než obsah druhé ohrady. Pro představu neberme v potaz povrchovou úpravu prostoru ohrady a ohrady samotné. V první ohradě se nachází koně hnědé barvy (tzv. hnědáci) a v druhé ohradě se nachází koně bílé barvy (tzv. bělouši). Za trasovací bod si zvolíme jednoho "hnědáka", který je porovnáván s ostatními a sledován při jakémkoliv přesunu v prvním čtverci. Jelikož je zde znatelný barevný rozdíl mezi prvním a druhým čtvercem, můžeme říci, že "hnědák" nám mezi "bělouše" ohradu nepřeskočí, avšak může se stát, že v prvním čtverci bude velice podobný hnědák, zde již nezbyvá nic jiného než tuto odchylku ručně opravit.

Takto vymezený trasovací bod snímek po snímku sledujeme a tím nadefinujeme křivku pohybu bodu v prostoru. Do trasované videosekvence vložíme příslušný efekt, který upneme na trasovací bod. Video efekt po částečné úpravě zanechává tenkou čáru za trasovaným bodem, a tím nám vzniká viditelná křivka pohybu bodu. Takto to bylo provedeno celkem u 72 video sekvencí.





Obr. 12 - Dráha a čas při přímém úderu



Obr. 13 - Dráha a čas při přímém kopu

### Výsledky měření

Výsledky byly rozděleny podle druhu akce a schopností figuranta. Tabulka č. 7 obsahuje výsledky měřených akcí počátečního impulzu ( $t_1$ ), druhého časového úseku u kopů ( $t_2$ ), třetího časového úseku u úderů ( $t_2$ ) a okamžité rychlosti ( $v$ ). Jednotlivé časové úseky uvedené v tabulce č. 7 jsou zapsány v sekundách zaokrouhlené na dvě desetinná místa. Okamžitá rychlost v tabulce č. 7 je zapsána v uražených metrech za jednu sekundu zaokrouhlená na jedno desetinné místo. K výpočtu okamžité rychlosti bylo potřeba změření dráhy jednotlivých technik, ale vzhledem k nedostatku objektivních znaků u techniky obloukového úderu, facky a obloukového kopu tak měřeno nebylo. Výsledky v tabulce 6 u okamžité rychlosti se týkají tedy úderu přímého, kopu do oblasti genitálií a kopu přímého.

Tab. 6 - Měření akce počátečního impulzu

Druh akce	Muž profi			Žena profi			Muž neprofi			Žena neprofi		
	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	v	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	V	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	v	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	v
Úder přímý	0,43	0,28	11,9	0,52	0,34	8,3	0,45	0,33	9,8	0,61	0,43	8
Úder obloukový	0,48	0,38	x	0,49	0,35	X	0,49	0,36	x	0,73	0,65	x
Facka	0,42	0,25	x	0,73	0,57	X	0,48	0,39	x	0,83	0,77	x
Kop do oblasti genitálií	0,52	0,21	15,8	0,57	0,19	12,3	0,56	0,18	14,6	0,67	0,28	10,4
Kop obloukový	0,69	0,23	x	0,67	0,22	X	0,65	0,21	x	0,85	0,29	x
Kop přímý	0,70	0,29	8,5	0,68	0,29	8,5	0,72	0,25	11,2	0,74	0,32	8,7

### Závěr

Studiem, experimentálním měřením a vyhodnocováním naměřených výsledků jsme získali hodnoty, které exaktně dokazují časové relace kopu a úderu. Obecně tedy lze říci, že doba trvání jednotlivých technik nepřesahuje jednu sekundu. Také můžeme konstatovat spodní hranici jednotlivých technik, které nepřeklenou dobu trvání pod 0,3 sekundy. Shrnutím jednotlivých výsledků profesionálních a neprofesionálních figurantů dospějeme k závěru, že doba trvání jednotlivých technik uvnitř skupiny mužů a žen se až tak neliší. Rozdíl můžeme spíše zpozorovat v naměřené okamžité rychlosti, kde dlouhodobým cvičením prováděné techniky dosáhneme lepších výsledků.

Průběžným cvičením daných technik dokážeme pohyb zkoordinovat, zapojit více svalů, a hlavně dosahovat maximální rychlosti těsně před zásahem do cílového objektu. Je to také jeden z důvodů proč někteří figuranti ve výsledných tabulkách s menší dobou trvání celé bojové akce dosahují menší rychlosti. Takovýto figurant dosahuje maximální rychlosti úderu daleko před zásahem, potom lze i běžným okem zpozorovat mnohem menší sílu úderu.

U druhotných měřených časových úseků t<sub>2</sub>, které výrazně zkracují dobu akce od předem stanoveného bodu do zásahu cíle, naleznou své využití při studování reakčních dob, což není předmětem práce, a tudíž tomu nebyla věnována pozornost.

## 7. Časová bilance trvání vybraných bojových akcí

Představte si osobu, která na vás útočí. V prvním okamžiku je nutno posoudit vše z právní stránky, kde nám trestní zákoník říká, že trestný čin, jako protiprávní, je v rozporu s celým právním řádem. Každé protiprávní jednání nemusí být pro společnost nebezpečné takovou měrou, aby se jednalo o trestný čin, ale například o přestupek. Protiprávnost je v nauce řazena ke znakům skutkové podstaty trestného činu. Schází-li, není naplněna skutková podstata (schází formální znak trestného činu a rovněž i požadovaný stupeň nebezpečnosti činu pro společnost, a proto nejde o trestný čin).<sup>97</sup> Vytasíte zbraň, zamíříte, srovnáte dokonale hledí s muškou a vytřelíte. Jestliže máte takovouto představu, jste na omylu a pravděpodobně budete mrtví nebo v lepším případě zranění. Mířená střelba v sebeobraně situaci na 90 % nebude použita.<sup>98</sup> Zejména z důvodů známých v konkrétních situacích vyskytujících se v drtivé většině obrany na útok.

Podle statistik NYPD (Policie New York)<sup>99</sup> je v podstatě nemožné uplatnit mířenou střelbu. Vychází to ze 4000 případů, které se odehrály v New Yorku, kde policisté museli čelit bezprostřední hrozbě ohrožující jejich život. Při otázce, zda při střelbě mířili, odpovědělo pouze 20 % policistů, že použili nějaký druh mířené střelby. 10 % policistů nedokázalo odpovědět, zda mířili nebo stříleli instinktivně, a 70 % policistů uvedlo, že stříleli instinktivně. Dále bylo uvedeno, že většina incidentů se stala za špatných světelných podmínek, za kterých není možné přesně mířit, pokud pomineme tritiová mířidla, která nám umožňují lepší viditelnost.

Přidáme-li k tomu obrovský stres, který nastane v situaci, kdy, nám jde o život, ztrácíme pak jemnou koordinaci pohybů, tím pádem nejsme schopni přesně zamířit. Použití mířeného výstřelu je velmi diskutabilní a v bezprostředních situacích z malých vzdáleností téměř nemožné.

Zajímavá je i vzdálenost incidentů. Pokud byla vzdálenost alespoň 6 m, policisté v 75 % případů přežili. Při vzdálenosti menší než 4,5 m v 90 % případů policisté na své zranění zemřeli. V našem výzkumu jsme zvolili vzdálenost 5 m, která se nám jevila jako posledně možná účinná reagovat a odrazit útok na svou osobu s velkou šancí uspět.

Dalším prvkem v reálném střetnutí je kryt. Policisté uvedli, že velmi důležitým prvkem, který jim pomohl přežít během ozbrojeného konfliktu, byl právě kryt. Ve stresové situaci reagovali pravděpodobně tak, jak byli vycvičeni. Asi málokdy nastane reálná situace, kde bude střelba na vzdálenost 15 m nebo 20 m. Určitě je potřeba umět střílet i na tuto vzdálenost, ale v reálném střetnutí se tato technika nepoužije. Technika zamíření bude pouze okamžité ukázání zbraní na nepřítele a následný okamžitý výstřel!

Sebeobraná situace s použitím střelné zbraně, je taková situace, v níž je obránce z důvodů společensky a eticky závažných oprávněn použít k jejímu řešení krajních forem násilí, tedy taková, v níž jde obránci o život. Situace, při jejímž řešení je ochránce nucen použít i násilí, je-li to třeba, ale ne v jeho krajních formách, se nazývají situacemi sebeochrannou.

<sup>97</sup> NOVOTNÝ, F. a kol. *Trestní právo hmotné*. 1. vyd. Plzeň: Aleš Čeněk 2004, s. 98.

<sup>98</sup> LIBOVICKÝ, R. *Míření při obranné situaci?* [cit. 25.1.2009]. Dostupné na: <[http://www.obranna-strelba.cz/Mireni-pri-obranne-situaci\\_\\_s110x136.html](http://www.obranna-strelba.cz/Mireni-pri-obranne-situaci__s110x136.html)>

<sup>99</sup> NYPD (Police New York), *Speed by aiming at the targets* [cit. 8.1.2009]. Dostupné na: <<http://www.nyc.gov/html/nypd/html/home/home.shtml>>

Rozlišování sebeobránných a sebeochranných situací je nutné pro zdárné provedení účinné obranné kontraakce. Pokud dokážeme identifikovat typ konfliktu dostatečně rychle, je pravděpodobnější že bude naše obrana dostatečná, úspěšná a v neposlední řadě i adekvátní záměrům útočníka.

Oprávněné použití zbraně (§ 15 trestního zákona č. 140/1991 Sb. ve znění pozdějších předpisů), které je jednou z okolností vylučujících protiprávnost spolu s nutnou obranou (§ 13 trestního zákona č. 140/1991 Sb. ve znění pozdějších předpisů) a krajní nouzí (§ 14 trestního zákona č. 140/1991 Sb. ve znění pozdějších předpisů) a zvládnutí techniky střelby spočívá v podstatě v tom, že dokážeme v dané situaci vyřadit záporné vlivy a kladné vlivy co nejvíc využít. Rušivé vlivy mohou být např. útočnickovy zbraně, nepříznivý terén, počasí, únava, dispozice obránce, alkohol, cigarety, neznalost zákonných oprávnění, převážně absolutní neznalost paragrafového znění "Nutné obrany" dle § 13 trestního zákona, které nám říká: "Nutnou obranou podle § 13 trestního zákona se rozumí odvrácení útoku, který bezprostředně hrozí (trvá) některému ze zájmů chráněných trestním zákonem.

Podmínkou nutné obrany je odvrácení hrozícího nebo trvajících útoku na zájem chráněný trestním zákonem a dále obrana nesmí být zcela zjevně nepřiměřena způsobu útoku. Obě podmínky jsou dány kumulativně. Prvním předpokladem toho, aby mohlo jít o nutnou obranu, je útok. Učebnice trestního práva definují útok jako úmyslné, protiprávní jednání člověka, jež je nebezpečné pro společnost<sup>100</sup> a další. Obrana proti tomu, kdo porušuje některý ze zájmů chráněných trestním zákonem, je zákonným oprávněním občanů. Někteří občané však mají povinnost zakročit proti útočníkovi (policisté, strážníci aj.). Kladné vlivy jsou např. kvalitní zbraň, trénink, kondice, právní znalost použitelné v náš prospěch, úkryty, ale i únava nebo zranění soupeře. Kladným vlivem může být také známý terén nebo prostředí.

Současná odborná literatura zabývající se sebeobranou technikou použití střelné zbraně má společný jeden fakt. Akce, které doporučuje pro řešení simulovaných konfliktních situací, jsou zdoluhavé a čas, který má obránce fakticky k uskutečnění doporučovaných akcí, k tomu nestačí. Je více než pravděpodobné, že pokud má člověk zvýšenou hladinu adrenalinu, je mimořádně odolný vůči bolesti. Boj a úspěšné dokončení akce proto málokdy končí po jedné ráně.

Tyto velmi zajímavé výsledky statistik NYPD (Policie New York)<sup>101</sup> jsme prověřili v analogických podmínkách z pohledu rychlosti reakce, možnosti odrazení útoku z dané vzdálenosti.

Je-li signál, na nějž reaguje pokusná osoba, přesně v čase a prostoru definovaný (např. povel, rozsvícení světla, pípnutí timerem atd.), nazýváme jej standardní. V pokusech psychologů se až na výjimky setkáváme právě s takovými signály. V sebeobránné praxi, jak za použití i bez použití zbraně však máme většinou co činit se signály, jejichž substrátem je pohyb útočníka ukazující na počátek útoku či jeho setrvání v libovolné pozici. Tento druh signálů nazýváme nestandardní.

U standardních signálů lze jejich počátek docela dobře identifikovat. U nestandardních signálů je tomu jinak. Kdy začíná útok, na nějž má obránce reagovat? Kdy začíná reakce obránce na možný útok?

Aby bylo možno získat nějaké číselné údaje o trvání bojových akcí a reakčních dob při reakci na nestandardní signál, je nutné znát reálné hodnoty těchto veličin.

<sup>100</sup> NOVOTNÝ, F. a kol. *Trestní právo hmotné*. 1. vyd. Plzeň: Aleš Čeněk 2004, s. 99.

<sup>101</sup> NYPD (Police New York), *Speed by aiming at the targets* [cit. 8.1.2009]. Dostupné na: <<http://www.nyc.gov/html/nypd/html/home/home.shtml> >

Přímý úhoz je běžně proveditelný za 0,12–0,15 sekundy. Obranné akce, jako například úhyb hlavou vzad, za dobu nepříliš odlišnou – asi od 0,1 sekundy. Kryty jsme schopni vykonat za stejnou dobu jako úhozy, pokud je nevedeme nohou. Musíme však brát v úvahu fakt, že obránce, ať je jakkoliv vyspělý, není schopen na útok reagovat okamžitě, ale až po uplynutí tzv. reakční doby. Prostá reakční doba na běžný zrakový podnět je přibližně 0,2 sekundy. Složitější akce ovšem vyžadují delší přípravu, čímž se prodlužuje i reakční doba. Abychom mohli reagovat na útok, fundovaně a úspěšně zahájit obranu, musíme mít na manévrování čas. Doba útočné akce (0,12 s) by měla být delší než reakční doba obránce (0,18 s) plus doba trvání obranné akce obránce (0,10 s), ale zjevně to není možné.

Z toho vyplývá, že obránce se nikdy nestihne účinně bránit. Tento stav však neplatí, pokud útočník, který vychází z postavení, z něhož vás nemůže napadnout, učiní pohyb, z kterého je zřejmé, že bezprostředně následuje útok. Útok musí hrozit bezprostředně nebo trvat. Na to, že útok hrozí bezprostředně, je možno usuzovat z okolností případu, např. hrozby. Hrozbou není ovšem pouze slovní vyhrožování, ale veškeré jednání útočníka, z kterého lze usuzovat na budoucí útok. Tím se doba trvání útoku podstatně prodlouží. Obránce má čas se připravit a získat výhody na svoji stranu. Jasně nám z toho vyplývá, že samostatný laický trénink nám pro sebeobranou střetnou situaci nebude postačovat.

Při vyšetřování řady trestných činů je často žádoucí znát problém možnosti reakce se střelnou zbraní na útok z určité vzdálenosti, kdy pachatel napadl poškozenou osobu při pomoci v nutné obraně nebo osobu, které je poskytována ochrana dle zákonných ustanovení a mezinárodních dohod ratifikovaných Českou republikou. V biomechanických analýzách se řeší jednak vlastní technika provedení, tak možnost reakce na určitou vzdálenost, tak rychlost samotné reakční doby.

Pro posuzování reakce obránce při střetném boji se střelnou zbraní je velice důležité znát možnost rychlosti reakce obránce na útok, jak viditelný (front), tak zprostředkovaný (back) třetí osobou a možnost zareagování, zasažení a odražení útočníka od jeho protiprávního jednání.

### **Stanovení cílů, metodiky měření a hypotéz**

Cílem práce bylo experimentálně změřit rychlost reakce v závislosti na určené vzdálenosti a stanovit její nejrychlejší, nejpomalejší a průměrné hodnoty pro sledované skupiny. Těžiště tohoto experimentu spočívalo zejména v důkladné analýze dynamiky rychlosti reakce při střetném boji za použití střelné zbraně a možnost, úspěšnost reakce na danou vzdálenost. Pilotní výzkum jsme provedli na 3 probandech s následující charakteristikou:

- **Účastník č. 1** – nar. 1971, 7 let praxe u sboru, 306 dní bez střeleckého výcviku (z důvodu dlouhodobé nemoci),
- **Účastník č. 2** – nar. 1970, 15 let praxe u sboru, 180 dní bez střeleckého výcviku (pracovní zaneprázdněnost),
- **Účastník č. 3** – nar. 1957, 32 let praxe u sboru, 89 dní bez střeleckého výcviku (operace kýly – 14 dní po návratu z pracovní neschopnosti).

Materiální vybavení k zabezpečení střelby – ochranné prostředky před účinkem střeliva, video technika s možností kvalitního uložení záznamu a jeho dalšího zpracování.

#### Materiální zajištění výzkumu:

- a) Pistole vzor CZ 75 D Compact – FX.
- b) Speciální střelivo FX 9 mm, určené pouze k použití u policie nebo armády.
- c) Ochranná přilba Simunition FX 8000 – Helmet.
- d) Ochranná bezpečnostní vesta – Simunition – FX 8000 Protective jacket.
- e) Útočná dřevěná tyč.
- f) Video kamera s kazetovým záznamovým médiem, stativ.
- g) Programové vybavení systém PAL General, Editing mode: DV Playback, Timebase: 25,00 fps, Video Settings, Frame size: 720h 576v (1.067), Frame rate: 25,00 frames/second, Pixel Aspect Ratio: D1/DV PAL (1.067), Color depth: Millions of colors, Quality: 100 (out of 100), Fields: Lower Field First, Audio Settings, Sample rate: 48000 samples/second pro zpracování měření výzkumu, PC.
- h) Stříhový program ADOBE PREMIERE PRO (Adobe Premiere Pro je částí balíku Adobe Creative Suite, sady aplikací na tvorbu a práci s grafikou. Jedná se o velmi profesionální nástroj podporující mnohé plug-iny přidávající podporu dalších formátů, ty či ony funkce a v neposlední řadě rovněž i efekty. Samozřejmostí je i kvalitní podpora pro práci se zvukem (VST audio plug-iny, 5.1 mixing.) 1.51.

V první sérii záznamů rychlosti reakce na útok testovaný účastník výzkumu přistoupí na požadovanou vzdálenost 5 m od útočníka a postaví se do střeleckého postroje, kdy jeho pohled směřuje k útočníkovi – viditelný (front) útok. Testovaný účastník dle vlastního uvážení se připraví k použití zbraně tím, že provede kontrolu zbraně, její nabití s dostatečným počtem nábojů, a to s nábojem v nábojové komoře nebo bez náboje na určeném místě, a čeká připraven na útok útočníka. Ve vzdálenosti 5 m je útočník, vybavený útočnou dřevěnou holí, připraven kdykoliv bez výzvy zaútočit rychlostí přizpůsobenou terénním podmínkám a úspěšně bez zásahu vystřelenou střelou obránce překonat tuto vzdálenost. Po náhlém útoku útočníka obránce reaguje tasaním zbraně a střelbou v co možná nejkratším časovém úseku umožňujícím zasáhnout útočníka a odrazit útok.

V druhé sérii záznamů rychlosti reakce na útok testovaný účastník výzkumu přistoupí na požadovanou vzdálenost 5 m od útočníka a postaví se do střeleckého postroje obráceného zády k útočníku – zprostředkovaný (back) útok. Testovaný účastník dle vlastního uvážení se připraví k použití zbraně tím, že provede kontrolu zbraně, její nabití s dostatečným počtem nábojů, a to s nábojem v nábojové komoře nebo bez náboje na určeném místě, a čeká na výzvu třetí osoby oznamující zahájení útoku útočníka. Ve jmenované vzdálenosti je připraven útočník, vybavený útočnou dřevěnou holí, kdykoliv bez výzvy zaútočit rychlostí přizpůsobenou terénním podmínkám bez zásahu vystřelenou kulkou obránce překonat tuto vzdálenost. V tomto případě dochází k zprostředkovanému zjištění, že útok je zahájen třetí osobou a následné reakci obránce na tuto výzvu. Obránce po výzvě provede obrat, co možná nejrychleji vzhledem k povrchu, tréninku techniky, svým možnostem a při dokončování obratu, kdy se již nachází čelem k útočníku, tasí zbraň a střílí v co možná nejkratším časovém úseku umožňujícím zasáhnout útočníka a odrazit útok.

Uváděné série každý účastník výzkumu provedl třikrát, jak postojem čelem s výhledem na útočníka, tzv. viditelný (front) útok, tak otočen k útočníku zády čekající na výzvu zprostředkovaného (back) útoku.

Pro všechny účastníky byla používána stejná zbraň, střelivo, povětrnostní podmínky. Nikomu z účastníků nebylo umožněno před samotným měřením provést cvičné výstřely z důvodu objektivnosti a přiblížení měření k reálné situaci. Došlo

celkem ke třem měřeným pokusům, z nichž byly následně vybrány tři nejrychlejší reakce s viditelným (front) útokem čelem k útočníku a tři nejrychlejší reakce na zprostředkovaný (back) zády k útočníku. Poté z těchto sérií byla vybrána nejrychlejší reakce na útok, jak s viditelným (front) útokem čelem k útočníku, tak reakce na zprostředkovaný (back) útok.

Poznámka: V této druhé části příspěvku se nejedná o čistou reakci jako u řidičů vozidel, ale o celkovou akci, která zahrnuje reakci, zásah a odražení útoku na policisty s pistolí. Svědčí o tom naměřené časy od 1,28 až po 2,12 s. Zjištěné časy reakce v tomto příspěvku nelze uplatňovat při analýze nehod silničních vozidel.

### **Predikce času reakce na útok**

Všechna pokusná měření byla zaznamenána pomocí videotechniky. Následně došlo na pracovišti videoexpertů OTES ÚOÚČ PČR k rozčlenění videostopy na jednotlivé úseky, kdy k přesnému označení zahájení útoku a následné reakci došlo jejím zpomalením a následně k jeho následnému rozfázování. Jedná se o rozfázování určité části videozáznamu na 25 snímků za sekundu, což je 0,04 sekundy na snímek. Přesnost měření je polovina snímku, 0,02 sekundy, což je 1/50 snímku. Touto metodou docílíme přesného změření daných reakčních rychlostí určením počátku měření, následně změřením reakce v sekundách a zbytek reakční doby přepočítáme počtem obrázků na sekundy změřením na zvukové ose. Uvedenou metodou použití videozáznamu jsme maximálně eliminovali možnost subjektivního zkreslení měřící osobou stopkami nebo timerem, ke kterému dochází velmi často. Pokud by mělo dojít k absolutnímu měření a dosažení minimální odchylky, půjde o maximální odchylku, která je 1/50 snímku, což je 0,02 sekundy.



Obr. 14 - Útok – back



Obr. 15 - Útok – front

Významnou aplikací forenzní biomechaniky je posouzení rychlosti obranné reakce při střetném boji s použitím střelné zbraně a vzdálenost, ze které je tato reakce s úspěšným odražením, zasažením útočníka možná. Jedná se většinou o situace, kdy útočník svým úmyslným protiprávním jednáním napadne oběť za použití zbraně všech možných kategorií. V případech těchto biomechanických analýz se jedná o posouzení skutečnosti, zda napadená osoba byla schopna zareagovat na útok, jakou rychlostí, z jaké vzdálenosti byl útok veden a bylo by teoreticky možné útok z uvedené vzdálenosti odrazit, zasáhnout a zastavit. Principiálně je třeba stanovit a kvantifikovat hranici důležitou pro posouzení rychlosti reakce a potvrzení, že daná vzdálenost je dostatečná k odražení útoku.

Následně uvádím metodu výpočtu uváděných reakčních rychlostí jednotlivých účastníků výzkumu:

**Rychlost reakce na útok účastníka na viditelný (front) útok:**

***Rychlost reakce na útok účastníka č. 1 na viditelný (front) útok:***

- Pokus č. 1: Celkový výsledek rychlosti reakce je 1,56 s.
- Pokus č. 2: Celkový výsledek rychlosti reakce je 1,52 s.
- Pokus č. 3: Celkový výsledek rychlosti reakce je 1,68 s.
- Průměrná hodnota rychlosti reakce – 1,59 s.

***Rychlost reakce na útok účastníka č. 2 na viditelný (front) útok:***

- Pokus č. 1: Celkový výsledek rychlosti reakce je 1,48 s.
- Pokus č. 2: Celkový výsledek rychlosti reakce je 1,64 s.
- Pokus č. 3: Celkový výsledek rychlosti reakce je 1,52 s.
- Průměrná hodnota rychlosti reakce – 1,54 s.

***Rychlost reakce na útok účastníka č. 3 na viditelný (front) útok:***

- Pokus č. 1: Celkový výsledek rychlosti reakce je 1,96 sekundy.
- Pokus č. 2: Celkový výsledek rychlosti reakce je 1,68 sekundy.
- Pokus č. 3: Celkový výsledek rychlosti reakce je 1,48 sekundy.
- Průměrná hodnota rychlosti reakce – 1,70 s.

- **Celková průměrná hodnota byla zjištěna – 1,61 s.**



## **Rychlost reakce na zprostředkovaný (back) útok třetí osobou:**

### **Rychlost reakce na útok (back) účastníka č. 1:**

- Pokus č. 1: Celkový výsledek rychlosti reakce je 1,80 s.
- Pokus č. 2: Celkový výsledek rychlosti reakce je 1,64 s.
- Pokus č. 3: Celkový výsledek rychlosti reakce je 1,28 s.
- Průměrná hodnota rychlosti reakce – 1,57 s.

### **Rychlost reakce účastníka na útok (back) č. 2:**

- Pokus č. 1: Celkový výsledek rychlosti reakce je 1,92 s.
- Pokus č. 2: Celkový výsledek rychlosti reakce je 1,80 s.
- Pokus č. 3: Celkový výsledek rychlosti reakce je 1,72 s.
- Průměrná hodnota rychlosti reakce – 1,81 s.

### **Rychlost reakce účastníka na útok (back) č. 3:**

- Pokus č. 1: Celkový výsledek rychlosti reakce je 1,80 s.
- Pokus č. 2: Celkový výsledek rychlosti reakce je 2,12 s.
- Pokus č. 3: Celkový výsledek rychlosti reakce je 1,68 s.
- Průměrná hodnota rychlosti reakce – 1,87 s.

- **Celková průměrná hodnota byla zjištěna – 1,75 s.**

Uvedené výpočty a technika měření dovolují přesný výpočet ve znalecké činnosti.<sup>102</sup> Zejména při hodnocení rychlosti reakce na útok a možnosti aktivní obrany, jak viditelného (front), tak zprostředkovaného (back) útoku. Statistické vyhodnocení naměřených hodnot je předkládáno v následujících tabulkách a grafech. Následkem analýz lze výsledky formulovat do následujících závěrů:

- Zaznamenat a změřit rychlost reakce obránce na viditelný (front), tak zprostředkovaný (back) útok. Pro změření této reakce je nutné vymezit počátek, kdy útočník započne viditelný (front) útok a následnou reakci obránce v určité vzdálenosti, zde dané 5 m, od útočníka. Zda obránce je schopen zareagovat, zasáhnout a odrazit tento útok. Dále zda obránce je schopen reagovat na zprostředkovaný (back) útok, který obránce není schopen zaznamenat. Změření rychlosti této reakce a možnost zareagovat, zasáhnout a odrazit útok z uváděné vzdálenosti. Měření a komparace s výsledky všech účastníků výzkumu nám ukázaly, že zareagovat, zasáhnout a odrazit útok z této vzdálenosti je možné. Dle záznamu a jeho následného zpomalení všichni účastníci uspěli.
- Na zareagování, zasáhnutí a odražení se podílejí následující faktory:
  - vliv vnějších podmínek na dobu reakce,
  - subjektivní ovlivnění pozornosti osoby a její vliv na reakční čas,
  - překonání syndromu tzv. zamrznutí,
  - trénovanost techniky střelby účastníku,
  - vzdálenost obránce od útočníka,
  - kvalitní materiální vybavení (zbraň, střelivo, atd.),
  - vliv handicapů na obránce,
  - destrukční síla dopadu střely na útočníka,
  - počet výstřelů do doby, kdy útočník překoná uvedenou vzdálenost.

<sup>102</sup> Sborník Policejní akademie ČR 2002, číslo 1, *Bezpečnostní teorie a praxe*, Praha 2002, s. 97.

Dle daných údajů lze jednoznačně konstatovat, že vliv vnějších podmínek, handicapů, ovlivnění pozornosti střelby, materiální vybavení, uváděná vzdálenost nemá podstatný vliv na reakční dobu nebo ovlivnění střelce.

- Podstatné pro studium latence rychlosti reakce obránce na útok je sledování vztahů mezi vzdálenostmi, viditelného vjemu, mozkového zpracování, že se jedná o útok, tréninkem techniky střelby, jež následně zakládá, z několika subsystémů, do požadovaného systému činností k úspěšnému zvládnutí požadované rychlosti reakce na útok. Pro posouzení latence rychlosti reakce obránce na útok má význam zejména zjištění mechanických dat:
  - rychlost reakce na viditelný (front) útok,
  - rychlost reakce na zprostředkovaný (back) útok,
  - vzdálenost,
  - tzv. zamrznutí při viditelném (front) útoku,
  - impuls jako tzv. upozornění na zprostředkovaný (back) útok a jeho zpracování.
- Vstupní parametry nutné pro objektivní výpočet rychlosti reakce obránce na útok, jak viditelný (front), tak zprostředkovaný (back):
  - vzdálenost od útočníka,
  - rychlost reakce obránce,
  - technika tasení, nošení zbraně,
  - zvolené oblečení,
  - použitá zbraň a střelivo.

## 8. Biomechanika pádu z výšky

Studium pádu lidského těla z výšky je významnou aplikací forenzní biomechaniky a využívá se v kriminalistické praxi velmi často. Studium biomechaniky pádu z výšky vychází z dlouhodobých výzkumů a experimentální práce autora.<sup>103</sup>

Pád lidského těla z výšky vychází principiálně z fyzikální podstaty hodnocení vodorovného vrhu tělesa. Jde o složený pohyb, skládá se z pohybu vodorovným směrem (ve směru osy  $x$ ) a volného pádu. Koná jej těleso, kterému udělíme počáteční rychlost vodorovným směrem. Trajektorii pohybu je část paraboly s vrcholem v místě hodu. Délka vrhu je závislá na počáteční rychlosti  $v_0$  a na výšce  $h$ , 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.

Pro forenzní řešení biomechaniky pádů je nutné vymezit základní klasifikaci pádů a definovat některé terminologické problémy úrazů a traumat vznikajících při pádech z výšky. Podle výšky pádu lze pády rozdělit v zásadě do tří skupin, a to na pád ze stoje, pád z výšky a volný pád. Pro forenzní biomechaniku mají největší význam pády z výšky a pády ze stoje.

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. Tuto figurínu je možné nechat padat z vhodné výšky a posuzovat podmínky vlastního pádu a podmínky dopadu. Pro získání seriózních vědeckých poznatků je pak optimální komparace teoretických simulací s experimentálními údaji pádu biomechanické figuríny.

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.<sup>104</sup>

K pádům byly zjištěny informace, například v jednom případě otec držel své dítě v náručí na balkoně svého domu, když dítě vyklouzlo z náručí a zároveň se snažil zachránit dítě před pádem z balkonu. V jiném případě 10letý chlapec v dětském domově se klouzal na zábradlí podél schodiště, když spadl z výšky 5,1 metru. Zloděj vylezl po okapu na terasu domu a byl odhalen paní, která spala na terase. Když spustila křik, zloděj se ze strachu pokusil spěšně sestoupit stejnou cestou zpět a spadl z výšky 14,4 metru.

---

<sup>103</sup> STRAUS, J. *Aplikace forenzní biomechaniky*. Praha: Police History, 2001. 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.

<sup>104</sup> KIRAN KUMAR, J. V., SRIVASTAVA, A. K., Pattern of Injuries in Fall from Height. J Indian Acad. Forensic Med. Jan-March 2013, Vol. 35, No. 1, pp. 47–50.

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 oběť 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. 7 - Vztah mezi výškou pádu a horizontální vzdáleností dopadu těla<sup>105</sup>

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

### Biomechanická klasifikace pádů

Z pohledu biomechaniky lze třídit pády člověka do nejrůznějších kategorií. Uvedeme z nich pouze dvě. Teorie odlišuje především pád ze stoje, pád z výšky a volný pád. Toto rozdělení logicky vychází ze specifických rozdílných faktorů, které na průběh pádu působí v jednotlivých případech.<sup>106</sup> **Pád ze stoje** vzniká při překlopení těla kolem překlopné hrany tvořené přímkou, která prochází plochou opory chodidel. Tělo poté padá buď na frontální část či vzad. V těchto případech jsou hodnoty odporu vzduchu naprosto marginální a výška pádu jednotlivých částí těla je rozdílná. Výška, ze které na podložku dopadá hlava, je při pádu vzpřímeného těla přirozeně největší, výška, ze které padají níže umístěné části těla, se pak přímo úměrně snižuje. Nejčastějším úkolem forenzní biomechaniky ve vztahu k pádům ze stoje bývá určení, zda byl pád spontánní či zda byl způsoben úderem. K **pádu z výšky** dochází, pokud se tělo nachází na vyvýšené podložce vzhledem k rovině a dojde-li k překlopení těla kolem překlopné hrany a jeho odpoutání od podložky a následnému pádu. V závislosti na přítomnosti přiložených sil a jejich velikosti se tělo pohybuje buď po parabole, vertikále, ve výjimečných případech po obecné křivce. Jedná se o pády z relativně malých výšek, tedy výšek do sto padesáti metrů. Po celou dobu pádu se pohyb těla rovnoměrně zrychluje v závislosti na tíhové konstantě, zároveň lze zanedbat působení odporu vzduchu.

Jako **volný pád** je označován pád těla z velkých výšek nad sto padesát metrů. Pád těla odpovídá do určitého bodu modelu rovnoměrně zrychleného pohybu, jeho rychlost se tedy neustále zvyšuje, až dosáhne svého maxima. Experimentálně bylo

<sup>105</sup> KIRAN KUMAR, J. V., SRIVASTAVA, A. K., Pattern of Injuries in Fall from Height. J Indian Acad. Forensic Med. Jan-March 2013, Vol. 35, No. 1, pp. 47–50.

<sup>106</sup> STRAUS, J. *Aplikace forenzní biomechaniky*. Praha: Police History, 2001. 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.

prokázáno, že odpor vzduchu stabilizuje vertikální rychlost při pádech z výšky, která je větší než 152 m. Poté se odpor vzduchu vyrovná tíhové síle  $F_G = mg$  a rychlost pohybu těla se již dále nezvyšuje.

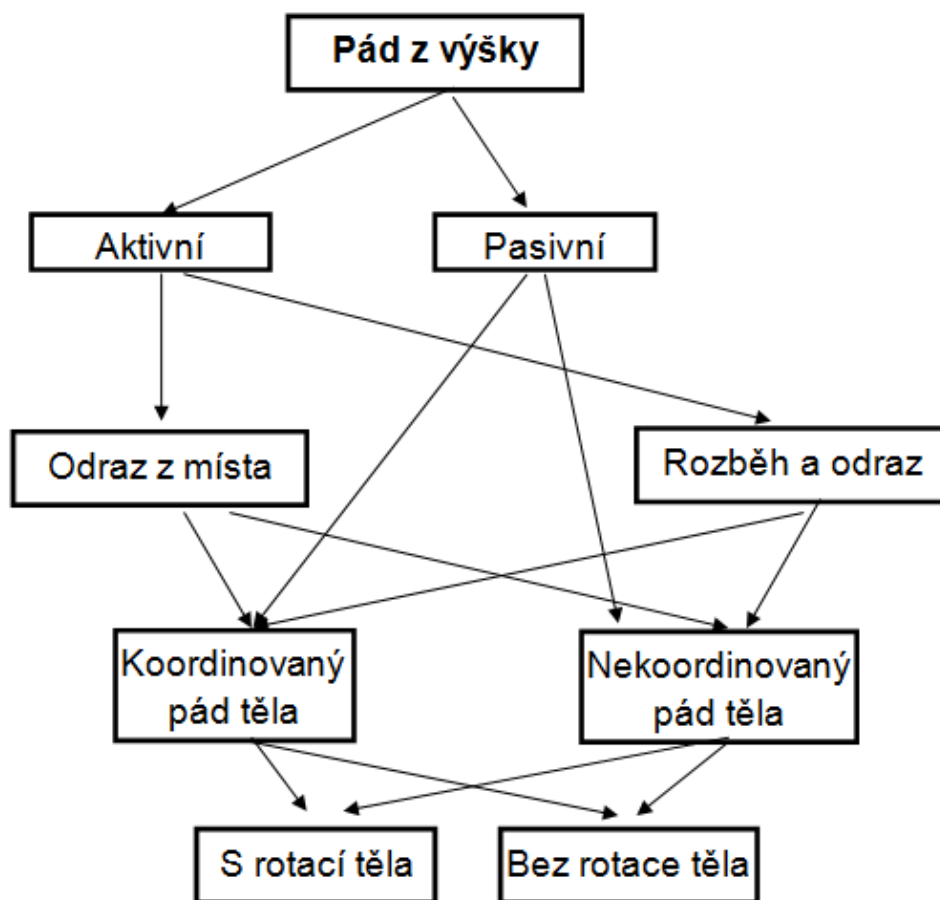
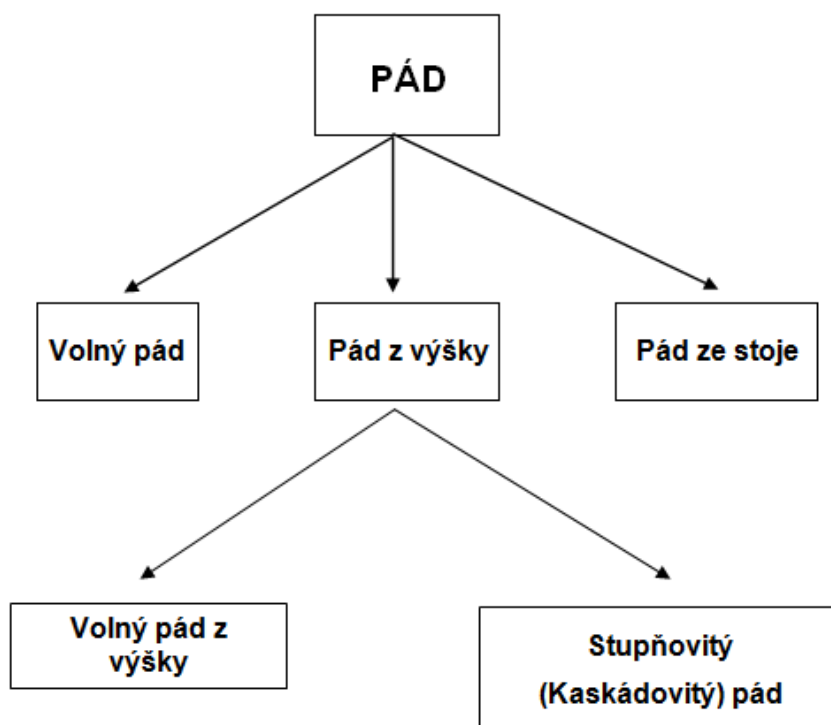
Dále je možné pády klasifikovat podle toho, zda je tělo před vlastním pádem v klidu či v pohybu, na pády pasivní a aktivní. Při **pasivních pádech** je tělo před opuštěním opory v klidu a jeho pád je v podstatě determinován pouze tíhovým zrychlením. Při **pádech aktivních** je tělo před pádem a v okamžiku odpoutání od podložky v pohybu a kromě tíhového zrychlení je dále urychlováno dalšími silami. Tyto působící síly vznikají buď vlastní aktivní činností člověka, nebo působením jiných subjektů, nejčastěji druhé osoby. Průběh pádu závisí zejména na působišti a orientaci vektoru působící síly a na tom, jakým způsobem je přidáno jeho urychlení.

Průběh pádu je determinován již při odpoutání těla od podložky. Od tohoto okamžiku může tělo až do okamžiku dopadu nabývat vertikální nebo horizontální polohu, během pádu může také rotovat. Rotace může nastat jak u pasivních, tak aktivních pádů. Její přítomnost závisí na různých faktorech, nejčastěji však na poloze těžiště těla při odpoutání od podložky a na velikosti, směru a působišti přiložených sil, zejména jestli tyto síly působí na těžiště těla či mimo něj. Pokud v cestě pádu stojí jiná tělesa tvořící překážky, například části terénu, budov, balkony, vozidla, apod., dochází k tzv. **kaskádovitému pádu**, při němž dojde k naražení těla do překážky a ke změně jeho dráhy. Tělu je tak udělena sekundární rotace. Vlivem nárazu může dojít ke zpomalení pádu. Při dopadu těla na zem většinou vlivem silného úderu na určitou část těla dochází v závislosti na výšce, ze které tělo padá, k různě závažným poraněním. První kontakt těla po pádu s podložkou označujeme jako **primární dopad**. V místě primárního dopadu působí na lidské tělo zpravidla velmi vysoká dynamická složka vektoru síly, která je dána dopadovou rychlostí, hmotností těla a mechanickými vlastnostmi (např. elasticitou) dopadové plochy.<sup>107</sup> Následný dopad ostatních částí těla označujeme jako **sekundární dopad**. Při sekundárním dopadu již zpravidla působí na dopadající části těla menší rázové složky síly, protože největší energie již byla pohlcena v místě primárního dopadu. Při vertikální poloze těla v průběhu pádu dochází nejčastěji k dopadu na nohy (zejména na paty), na oblast kolen, hýždě či hlavu. Pokud tělo padá v horizontální poloze, připadá v úvahu dopad na přední, zadní či boční část těla.<sup>108</sup> Rozsah poranění závisí na síle úderu, která je dána rychlostí těla v době dopadu, kontaktní ploše těla a podložky, mechanických vlastnostech a tvaru dopadové plochy, úhlu dopadu a charakteru tkání, které byly úderem zasaženy. Síla úderu působícího destrukci organismu je kromě výše uvedených faktorů, jako je hmotnost těla a jeho dopadová rychlost, závislá také na délce časového úseku, během něhož rychlost těla nabývá nulovou hodnotu. Z toho plyne, že čím tvrdší bude dopadová plocha, tím větší destrukční účinek nastane.

---

<sup>107</sup> PORTER, K. *Free fall trauma*. Trauma. 2006, č. 8. 157–167. ISSN 1460-4086 [online]. 2012 [cit. 20.2.2012]. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1556.4029.2005.00026.x/abstract>

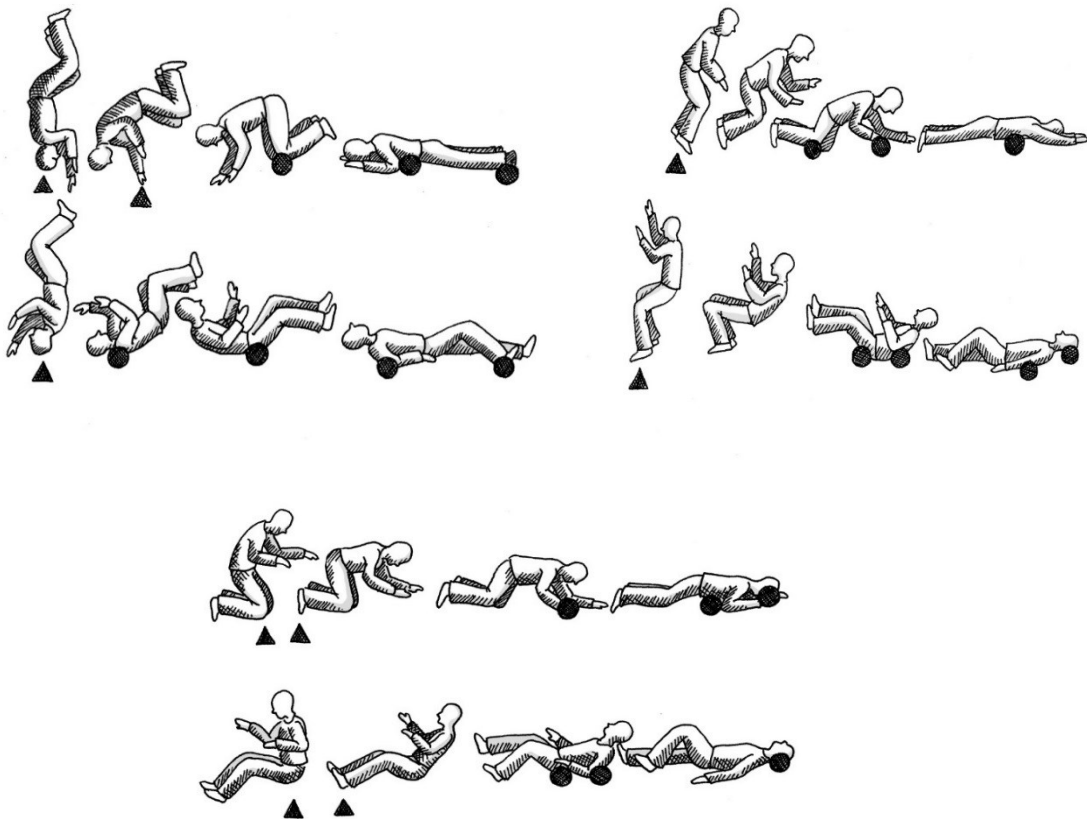
<sup>108</sup> STRAUS, J. *Biomechanika pádu z výšky*. Praha: Policejní akademie České republiky, 2004. ISBN 80-7251-149-1. S. 26.



Obr. 16 - Klasifikace pádů

## Poranění způsobená pády

Následkem pádu vznikají nezávisle na druhu pádu dvě kategorie poranění: místní neboli primární a vzdálená, jinak označovaná jako sekundární. Místní (primární) poranění vzniká v místech bezprostředního působení destrukčních sil v okamžiku dopadu na podložku. Sekundární či vzdálená poranění vznikají v místech sekundárního dopadu ostatních částí těla. Při dopadu se síla úderu přenáší z místa primárního dopadu na navazující části těla ještě dříve, než dojde k sekundárnímu dopadu ostatních částí těla. Zřetelné je toto působení například při dopadu ve vertikální poloze, kdy tělo dopadá na hlavu či dolní končetiny. V obou případech dochází při pádech z výšky k devastujícím poraněním míst primárního dopadu, tedy hlavy či dolních končetin. Vzhledem ke konstrukci opěrného aparátu člověka se ale síla při nárazu přenáší na páteř, pánevní oblast a vnitřní orgány.

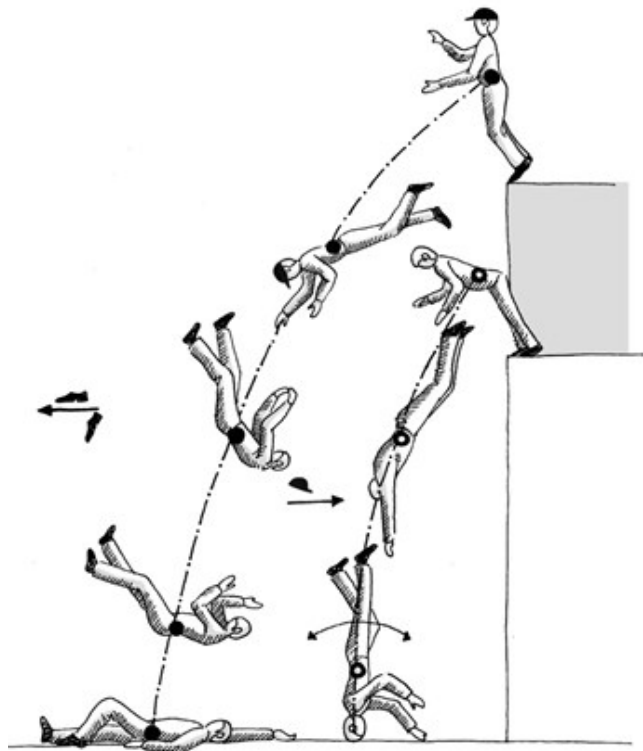


Obr. 17 - Dopad těla a znázornění primárního (trojúhelník) a sekundárního zranění (kolečko)<sup>109</sup>

<sup>109</sup> 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 1986. PORADA a kolektiv. *Kriminalistika. Technické, forenzní a kybernetické aspekty*. Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2016.

## Pád z výšky

K **pádu z výšky** dochází, pokud se tělo nachází na vyvýšené podložce vzhledem k rovině a dojde-li k překlopení těla kolem překlopné hrany a jeho odpoutání od podložky a následnému pádu. V závislosti na přítomnosti přiložených sil a jejich velikosti se tělo pohybuje buď po parabole, vertikále, ve výjimečných případech po obecné křivce. Jedná se o pády z relativně malých výšek, tedy výšek do sto padesáti metrů. Po celou dobu pádu se pohyb těla rovnoměrně zrychluje v závislosti na tíhové konstantě, zároveň lze zanedbat působení odporu vzduchu.



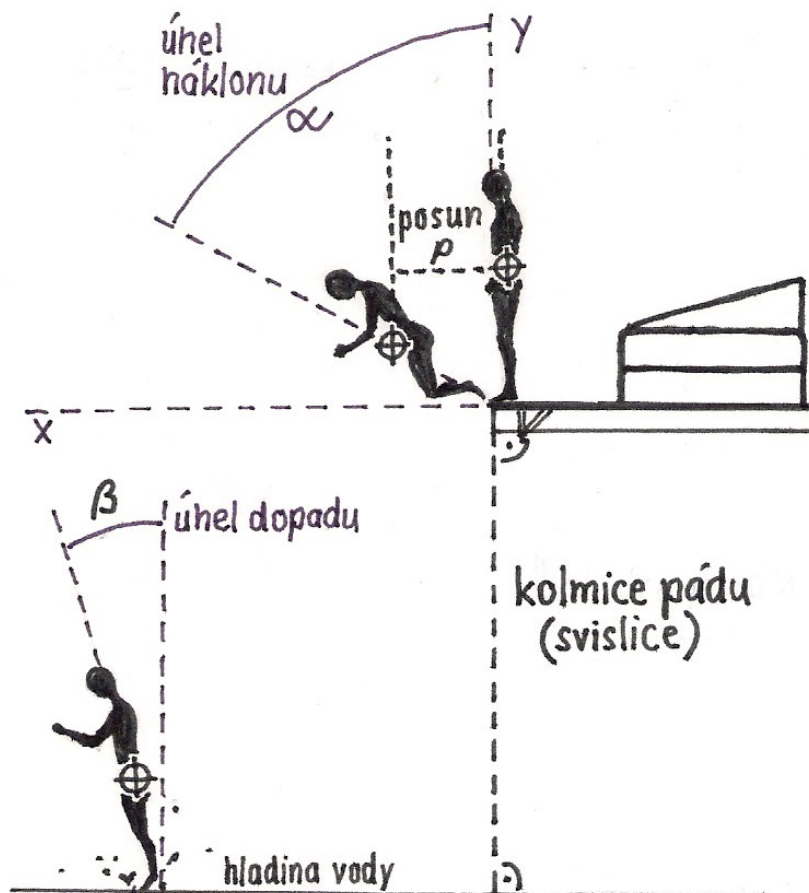
Obr. 18 - Schéma pádu lidského těla z výšky<sup>110</sup>

Při biomechanickém posuzování pádů lidského těla z výšky uvažujeme poměrně často o pádu těla s přiloženou vnější silou. Termín **přiložená síla** či **působící síla** označuje sílu, která působí na lidské tělo v okamžiku odpoutání od podložky, a může ji vyvinout sám člověk, který padá, svým pohybem, nebo jiná osoba, která na něj působí silou. **Kolmice pádu** či **svislice** je označení pro myšlenou přímku, která představuje kolmici vedenou od okraje podložky, z níž tělo padá, na dopadovou plochu. Budeme-li se při vyhodnocování průběhu pádů zmiňovat o **posunu**, máme na mysli vzdálenost, o kterou se posune těžiště těla z výchozí pozice do okamžiku, kdy tělo opustí oporu podložky. **Úhel náklonu  $\alpha$**  při opuštění opory je úhel, který svírá kolmice pádu s přímkou, která je spojnicí hrany (okraje) podložky, z níž tělo padá, a celkového těžiště těla. **Úhel dopadu  $\beta$**  představuje úhel, který je při dopadu těla na hladinu vody svírán dvěma přímkami. První z nich prochází bodem, ve kterém došlo k prvnímu kontaktu těla s hladinou, a je zároveň rovnoběžná s kolmicí pádu. Druhá

<sup>110</sup> 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 1986.



přímka je spojnicí celkového těžiště těla a průsečíku roviny hladiny vody a první přímky.



Obr. 19 - Vyhodnocení průběhu pádu těla z výšky<sup>111</sup>

Pro všechny následné úvahy předpokládejme, že tělo se při pádu chová jako otevřený kinematický řetězec. Těžiště těla se při pádu pohybuje po parabole. Z polohy stoj do okamžiku ztráty kontaktu (zpravidla horizontální poloha) se tělo pohybuje po kružnici. Na tělo působí jen ty síly, které vznikly v okamžiku odrazu. Pád těla je z relativně malé výšky, a proto sílu odporu vzduchu lze zanedbat.

### Fyzikální základy pádu z výšky

1. Vodorovný vrh – je složený pohyb, skládá se z pohybu vodorovným směrem (ve směru osy  $x$ ) a volného pádu. Koná jej těleso, kterému udělíme počáteční rychlost  $\vec{v}_0$  vodorovným směrem.

*Trajektorii pohybu je část paraboly s vrcholem v místě hodu. Pokud tuto parabolu zakreslíme do systému souřadnic s vrcholem v bodech  $x = 0$ ;  $y = h$ , tak bod B, v němž se těleso ocitne za dobu  $t$ , má souřadnice:*

<sup>111</sup> 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.

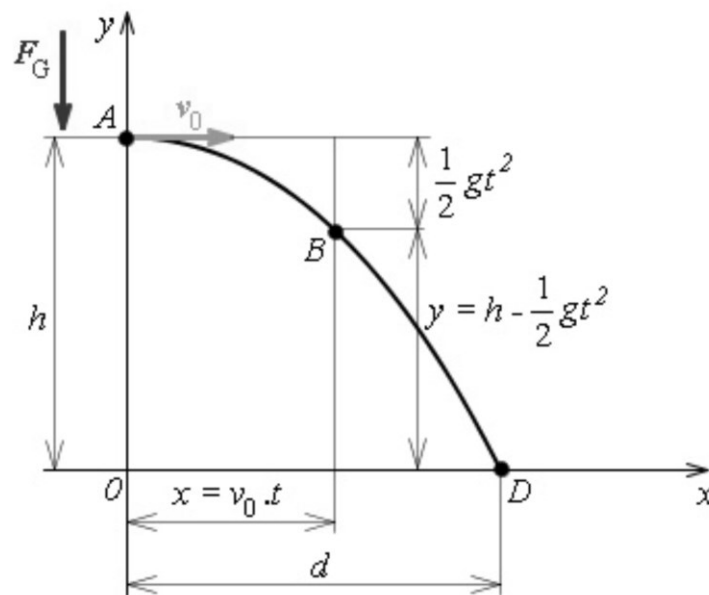
$$x = v_0 t$$

$$y = h - \frac{1}{2} g t^2$$

Největší vzdálenost od místa vrhu se nazývá **délka vrhu**  $d$  (bod D, v kterém  $x = d, y = 0$ ).

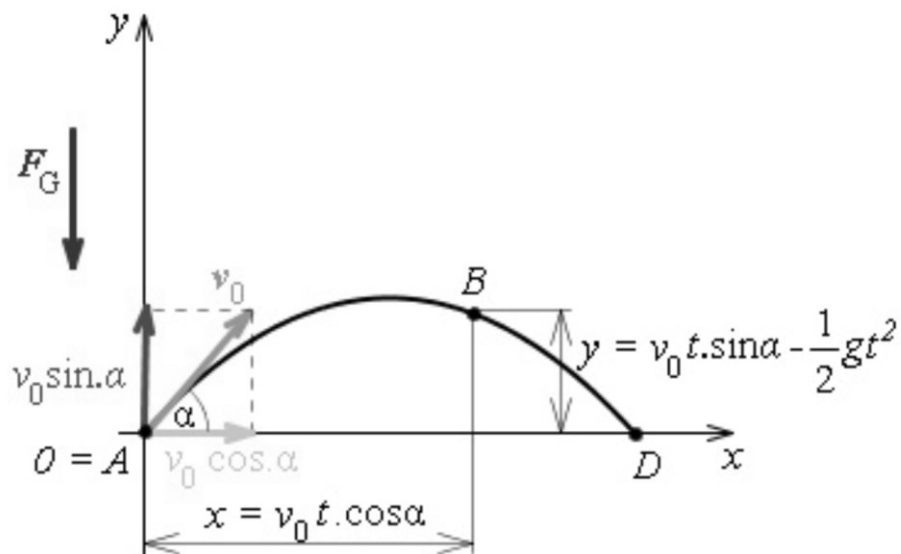
$$d = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Trajektorie závisí na velikosti počáteční rychlosti  $v_0$  a výšce  $h$ .



Obr. 20 - Vodorovný vrh

2. Šikmý vrh vzhůru – pohyb složený z pohybu šikmo vzhůru a volného pádu.



Obr. 21 - Šikmý vrh

Počáteční rychlost  $\vec{v}_0$  má směr, který s vodorovným směrem svírá úhel  $\alpha$ ; tento úhel se nazývá **elevační úhel**. Trajektorie pohybu je **parabola** (pouze ve vakuu), jejíž vrchol je nejvyšší bod trajektorie. Ve vzduchu těleso opisuje tzv. **balistickou křivku** (vlivem odporu vzduchu).

Po zakreslení paraboly do systému souřadnic zjistíme, že pro libovolný bod trajektorie platí:

$$x = v_0 t \cos \alpha$$

$$y = v_0 t \sin \alpha - \frac{1}{2} g t^2$$

Délka vrhu:

Platí  $x = d$  a  $y = 0$ , tedy:  $v_0 t \sin \alpha - \frac{1}{2} g t^2 = 0$ .

Z této rovnice vypočteme čas dopadu:  $t_d = \frac{2v_0}{g} \sin \alpha$ .

Po dosazení získáme délku vrhu:  $d = x_d = v_0 t_d \cos \alpha = \frac{2v_0^2}{g} \sin \alpha \cos \alpha = \frac{v_0^2}{g} \sin 2\alpha$ .

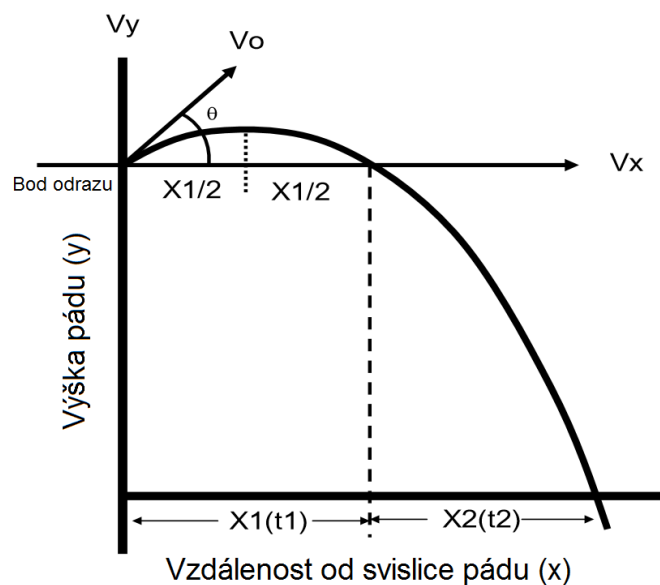
Dobu výstupu určíme z podmínky, že v tomto bodě je  $v_y = 0$ .

Tedy:  $v_y = v_0 \sin \alpha - g t_v = 0$ ,  $t_v = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$ .

Výška výstupu je potom po dosazení za  $t_v$  ve vztahu  $y = v_0 t_v - \frac{1}{2} g t_v^2$  rovna

$$h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

Lidské tělo má ovšem odlišné mechanické vlastnosti než tuhé fyzikální těleso. Pro pád lidského těla budou sice platit obecné vlastnosti a fyzikální zákony, ale je potřeba je mírně korigovat podle biologických vlastností lidského těla. Proto je nutné celou situaci schematizovat, únosně zjednodušit a dále realizovat modelové experimenty s biomechanickou figurínou, jejíž hmotnostní poměry jednotlivých segmentů těla budou shodné s živým tělem. Analyzujeme-li podrobněji celou situaci pádu těla člověka z výšky, pak při přirozeném, nekoordinovaném pádu se tělo nejprve překlápí kolem osy vpřed a k vlastnímu pádu dochází až v okamžiku, kdy se přeruší kontakt chodidel s místem pádu. Tělo (a tedy i těžiště těla) opisuje v ideálním případě čtvrtkružnici a až se dostane délková osa těla do horizontální polohy, trajektorie těžiště těla se mění na parabolu.



Obr. 22 - Schéma pádu<sup>112</sup>

Počáteční rychlost lze vypočítat z výšky a horizontální pohyb v případě pádu v různých úhlech spekulativním vzorcem:

$$v_0 = \left( \frac{gx^2}{2(x \cdot \sin\theta - y \cos\theta)} \right)^{1/2}$$

Řešení otázky posouzení biomechaniky pádu z výšky je pro znalecké zkoumání v oblasti forenzní biomechaniky velmi důležité a zásadní. Má-li být odpověď seriózní, objektivní a odpovídající reálným podmínkám, je nutné mít k dispozici dostatečné množství vstupních informací pro následné biomechanické řešení otázky pádu. Tato problematika dosud nebyla zcela uspokojivě řešena, současné výsledky odpovídají experimentům, při nichž byl modelován pád z výšky s cvičnou figurínou, jejíž hmotnostní parametry, rozměry a umístění těžiště těla byly shodné s živým člověkem.

Pro experimenty se použila cvičná figurína, kterou využívají zápasníci pro nácvik technicko-taktických chvatových akcí v zápase. Biomechanická figurína byla konstruována tak, že jednotlivé segmenty těla odpovídaly hmotnostním poměrům živého člověka a poloha celkového těžiště figuríny odpovídala umístění těžiště živého člověka.

Zobecněné výsledky odpovídají dostatečnému množství experimentů – volných nekoordinovaných pádů ze dvou různých, pevně stanovených výšek, a to 7–8 metrů a 10–11 metrů, což odpovídá pádu z druhého nebo třetího patra standardní budovy. Při experimentech bylo cílem zjistit a precizovat trajektorii volného nekoordinovaného pádu v závislosti na výšce pádu, výchozí pozici těla při začátku pádu, místu primárního dopadu, vzdálenosti těžiště těla od svislice procházející místem počátku pádu, poloze těla při sekundárním dopadu, velikostí a orientace vektoru vnější přiložené síly, místu působení vektoru přiložené vnější síly.

Pro experimenty a situace modelování pádů byly zvoleny tři výchozí pozice pro počátek pádu, a to:

<sup>112</sup> Upraveno podle KIRAN KUMAR, J. V., SRIVASTAVA A. K. Pattern of Injuries in Fall from Height. J. Indian Acad. Forensic Med. Jan-March 2013, Vol. 35, No. 1, pp. 47–50.

1. Pád z parapetu okna, figurína byla nakloněna z vertikální osy do  $10^\circ$  vpřed a dále následoval volný nekoordinovaný pád z výšek 7,3–8,1 metru nebo 10,4–11 metrů.
2. Pád ze zábradlí balkonu z výšky 10,4–11 metrů, s přiloženými vnějšími silami (úder) o velikosti 10 kg (98,1 N). Vektor vnější síly byl přiložen do ramen, do těžiště nebo do kolen. Takto se simulovala situace, kdy je do člověka udeřeno silou 10 kg do ramen, těžiště nebo do kolen.
3. Pád z polohy „vis na rukou“ ze zábradlí balkonu z výšky 10,4–11 metrů.

V prvním případě je dopředná rychlost  $v_1 = 1,37$  m/s, ve druhém případě je dopředná rychlost  $v_2 = 1,78$  m/s. Pro tyto hodnoty je možné vyjádřit lineární vztah pro výpočet pravděpodobné dopředné rychlosti těžiště těla při volném nekoordinovaném pádu.

Jedna z forem možného pádu z výšky je ta, že v okamžiku ztráty kontaktu s podložkou je tělu přiložena vnější síla. Tato situace nastane v těch případech, kdy se člověk před pádem odrazí. Pro volný pád platí fyzikální zákony, které lze popsat rovnicemi pro pohyb rovnoměrně zrychlený daný gravitačním zrychlením ( $g$ ). Uvažujeme-li, že na osobu v okamžiku působí vnější síly, pak budeme pro následné úvahy uvažovat situaci, že se musí odrazit buď z místa, nebo s rozběhem, a tedy je tělu udělena vnější síla, která způsobuje počáteční rychlost odrazu  $v_0$ .

Při skoku s přiloženou vnější silou dochází k tomu, že se skokan odrazí vpřed nahoru, trajektorie těžiště těla (a celé tělo) nejprve letí po parabolické křivce vpřed vzhůru a po dosažení kulminačního bodu padá dolů. Maximální horizontální délku skoku je možné ovlivnit jednak velikostí vektoru počáteční rychlosti skoku a úhlu  $\alpha$ . Délka dopadu je deterministicky dána třemi faktory, a to výškou skoku, velikostí odrazové rychlosti a velikostí úhlu odrazu.

V zásadě se může jednat o dva druhy 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 z místa  $2,70 \pm 0,11$  m/s, úhel odrazu byl zjištěn u skoku do dálky s rozběhem  $21^\circ \pm 0,40^\circ$  a pro skok z místa  $38^\circ \pm 1,33^\circ$ .<sup>113</sup>

Skoky z velkých výšek představují buď sebevražedné skoky, nebo nešťastné náhody, kdy osoba chtěla překonat nějakou vzdálenost. Bod odrazu, úhel odrazu, bod dopadu a výška jsou hlavní determinanty, jejichž zhodnocením je možno určit typ pádu. Střední hodnota počáteční rychlosti je u skoků s rozběhem 9,15 m/s, u skoku z místa to je 2,7 m/s. Úhel odrazu bývá  $21^\circ$ , resp.  $38^\circ$ . Skok s rozběhem a následným pádem ukazuje na dobrovolný skok (buď s úmyslem zemřít, nebo překonat nějakou překážku). Proto zjištění, že se oběť před skokem pohybovala rychlostí vyšší než 2,7 m/s nasvědčuje tomu, že šlo o sebevraha. Délku skoku v závislosti na odrazové rychlosti a úhlu odrazu je možné graficky vyjádřit a zjistit tak i zpětně pravděpodobnou výšku skoku.

V literatuře byly publikovány studie, které zkoumaly dva druhy skoků a měřily se biomechanické faktory skoků.<sup>114</sup> 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

<sup>113</sup> SHAW, K. P., HSU, S. Y. Horizontal distance and height determining falling pattern. Journal of Forensic Sciences. 1998; 43/4, s. 765–771.

<sup>114</sup> SHAW, K. P., HSU, S. Y. Horizontal distance and height determining falling pattern. Journal of Forensic Sciences. 1998; 43/4, s. 765–771.

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. 8 - Přehled biomechanických faktorů u jednotlivých druhů skoku<sup>115</sup>

	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, v této fázi skoku se právě 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 synchronizovali pohyb 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  $41,03^\circ$ , což bylo také změřeno u studentů atletů.

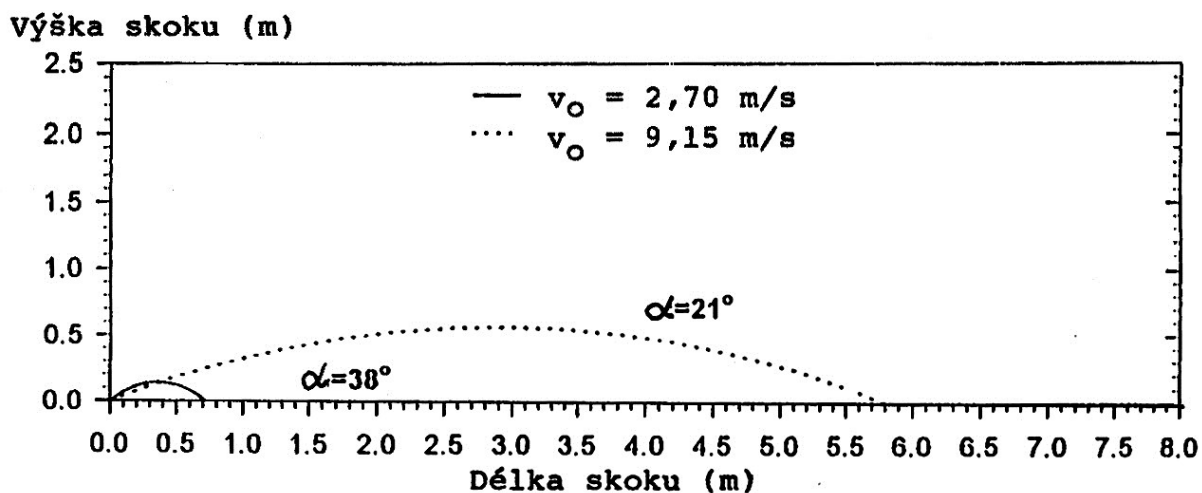
**Skok s rozběhem** - uvažujeme situaci, při které se člověk rozeběhne a skáče z výšky cíleně, úmysl skokana jednoznačně směřuje pro skok z výšky. Vlastnímu skoku předchází krátký rozběh a energický odraz vpřed vzhůru. Jestliže se jednatel skutečně odrazí maximální silou, může maximální horizontální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

Tab. 9 - Biomechanické parametry u jednotlivých druhů skoku

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

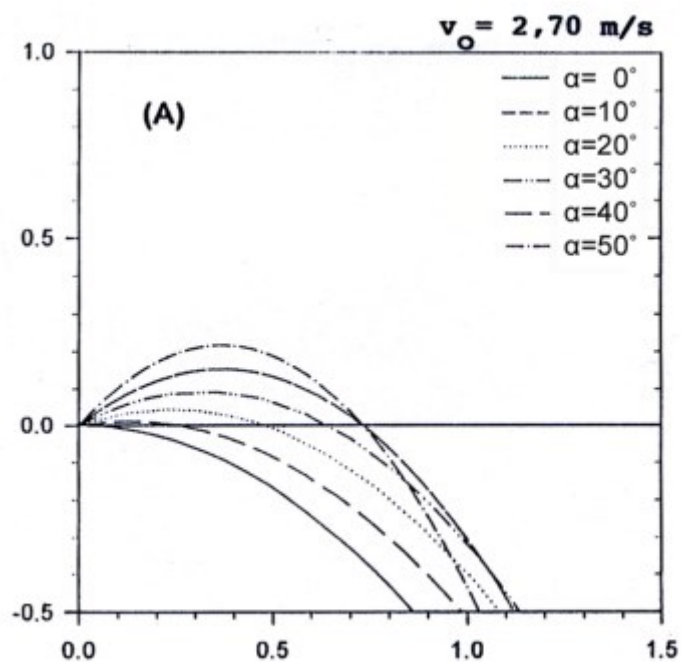
Na obr. 23 a 24 je znázorněn průběh první fáze skoku, při němž se těžiště těla pohybuje nad horizontální rovinou odrazu. Také je znázorněna délka skoku  $x_1$  ( $t_1$ ).

<sup>115</sup> SHAW, K. P., HSU, S. Y. Horizontal distance and height determining falling pattern. Journal of Forensic Sciences. 1998; 43/4, s. 765–771.



Obr. 23 - Průběh těžiště těla nad horizontální rovinou pro dva druhy skoku<sup>116</sup>

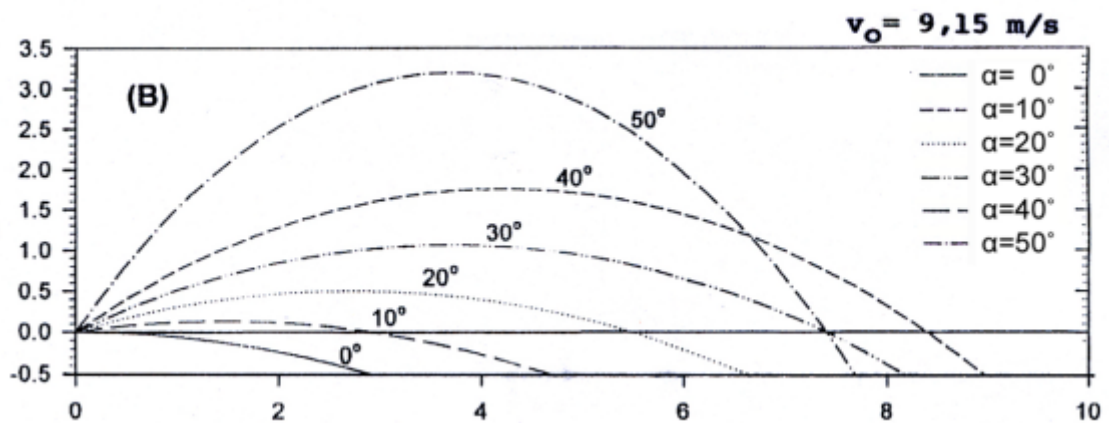
Měření, matematické zpracování a počítačové modelování skoků dovoluje vyjádřit polohu těžiště těla nad horizontální rovinou skoku a především pod bodem odrazu a tedy i stanovit délku skoku. Výsledky jsou přehledně vyjádřeny na obrázcích.



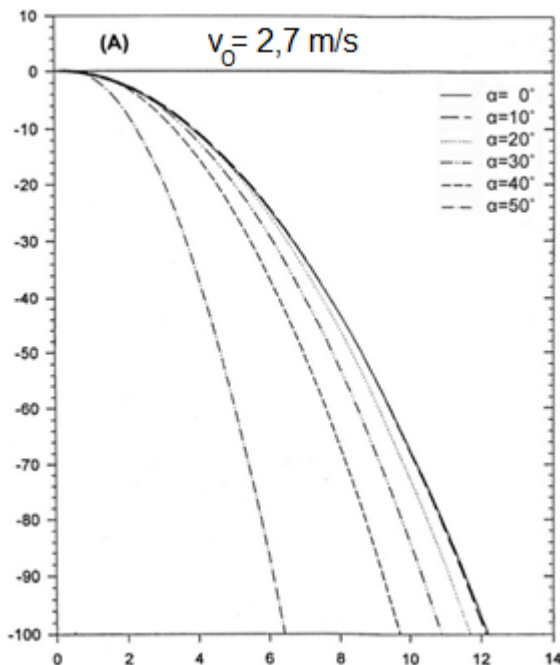
Obr. 24 - Počítačové modelování délky skoku nad horizontální rovinou v závislosti na úhlu odrazu a odrazové rychlosti – 2,70 m/s<sup>117</sup>

<sup>116</sup> SHAW, K. P., HSU, S. Y. Horizontal distance and height determining falling pattern. Journal of Forensic Sciences. 1998; 43/4, s. 765–771.

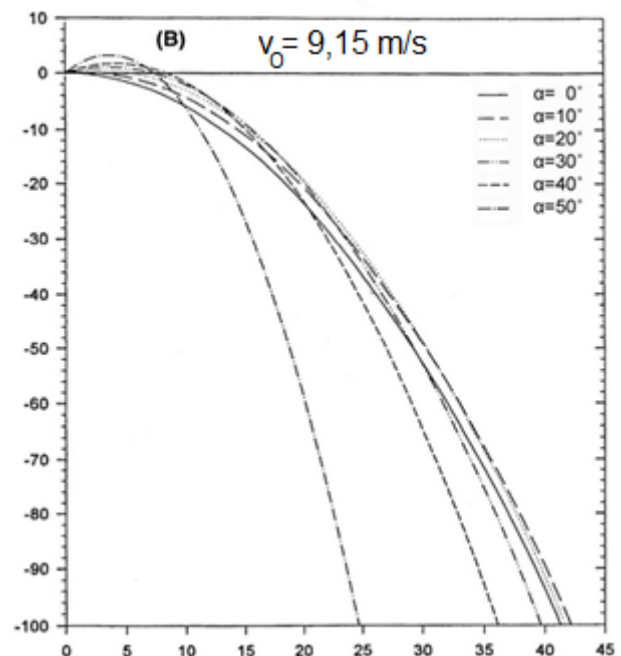
<sup>117</sup> SHAW, K. P., HSU, S. Y. Horizontal distance and height determining falling pattern. Journal of Forensic Sciences. 1998; 43/4, s. 765–771.



Obr. 25 - Počítačové modelování délky skoku nad horizontální rovinou v závislosti na úhlu odrazu a odrazové rychlosti – 9,15 m/s (B)<sup>118</sup>



Obr. 26 - Vzdálenost délky dopadu (x) na výšce pádu (y) a úhlu odrazu ( $\alpha$ ) pro odrazovou rychlost skok z místa 2,7 m/s<sup>119</sup>



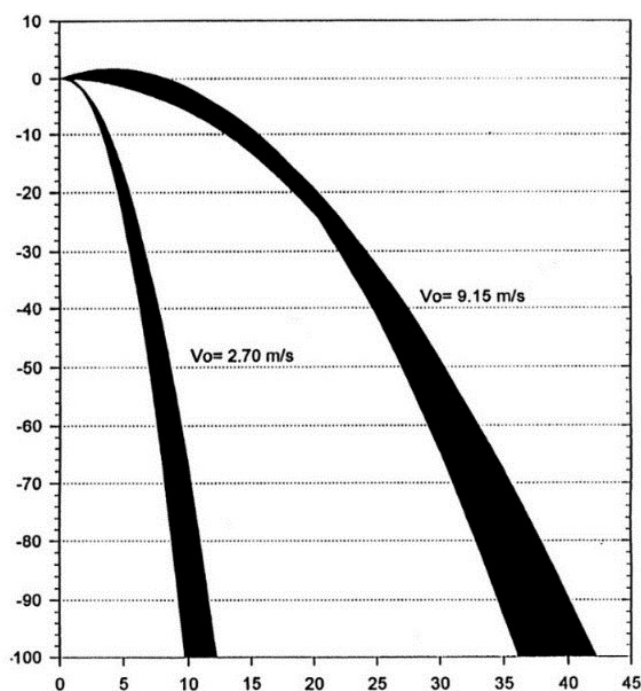
Obr. 27 - Vzdálenost délky dopadu (x) na výšce pádu (y) a úhlu odrazu ( $\alpha$ ) pro odrazovou rychlost skoku s rozběhem 9,15 m/s<sup>120</sup>

<sup>118</sup> SHAW, K. P., HSU, S. Y. Horizontal distance and height determining falling pattern. Journal of Forensic Sciences. 1998; 43/4, s. 765–771.

<sup>119</sup> SHAW, K. P., HSU, S. Y. Horizontal distance and height determining falling pattern. Journal of Forensic Sciences. 1998; 43/4, s. 765–771.

<sup>120</sup> SHAW, K. P., HSU, S. Y. Horizontal distance and height determining falling pattern. Journal of Forensic Sciences. 1998; 43/4, s. 765–771.





Obr. 28 - Oblast maximální horizontální délky dopadu při skoku z místa a skoku s rozběhem v úhlovém rozpětí mezi  $0^\circ$  a  $40^\circ$ <sup>121</sup>

Tab. 10 - Maximální horizontální délka skoku v závislosti na odrazové rychlosti  $v_0$ , výšce skoku a úlu odrazu  $\alpha_{\max}$

Výška skoku (m)	Odrazová rychlost skoku z místa $v_0 = 2,70$ m/s		Odrazová rychlost skoku s rozběhem $v_0 = 9,15$ m/s	
	$\alpha_{\max}$ ( $^\circ$ )	Délka skoku (m)	$\alpha_{\max}$ ( $^\circ$ )	Délka skoku (m)
0,0	45	0,74	45	8,54
0,05	33,15	1,14	43,42	9,03
1,0	27,50	1,43	41,99	9,49
3,0	18,37	2,24	37,47	11,15
5,0	14,74	2,83	34,17	12,59
7,0	12,66	3,31	31,62	13,88
10,0	10,72	3,93	28,68	15,62
20,0	7,7	5,51	22,76	20,36
30,0	6,31	6,72	19,45	24,20
40,0	5,48	7,75	17,26	27,50
50,0	4,91	8,66	15,67	30,45
60,0	4,49	9,48	14,46	33,14
70,0	4,16	10,23	13,46	35,62
80,0	3,89	10,94	12,69	37,95
90,0	3,67	11,60	12,02	40,13
100,0	3,48	12,22	11,44	42,21

<sup>121</sup> SHAW, K. P., HSU, S. Y. Horizontal distance and height determining falling pattern. Journal of Forensic Sciences. 1998; 43/4, s. 765–771.

### **Experimentálně zjištěná data**

Forenzní biomechanika se zabývá kriminalisticky relevantními informacemi, které vznikají při pohybové činnosti v interakci osoby (zpravidla pachatele) s okolím. Mezi významné aplikace forenzního biomechanického výzkumu patří studium pádů lidského těla z výšky. Pády z výšky jsou relativně málo prostudovanou problematikou. Světová literatura uvádí, že téměř 40 % (39,9 %) smrtelných následků vzniká při pádech z výšky a ve vědecké literatuře jsou omezeně prostudovány zákonitosti pohybu lidského těla při ztrátě kontaktu a letu ze zvýšené podložky. Samostatnou kapitolu tvoří pády ze stoje na podložku (např. úrazy starších lidí nebo naopak adolescentů při jízdě na kolečkových bruslích).

Zaměřili jsme se tedy na oblast biomechaniky pádu z výšky, kdy jsme nashromáždili experimentální data námi nasimulovaných pádů lidského těla do bazénu a empirická data ze skutečných případů, které byly řešeny na katedře kriminalistiky za účelem znaleckých posudků.

V průběhu posledních let jsme provedli řadu měření sportovních skoků do jezera z výšky 12 a 16 metrů, videozáznamy jsme provedli na mezinárodních závodech ve skocích do přírodní vody.

Cílem zpracování různých druhů pádů je získat horizontální rychlost pádů figurantů do vody. Video byla pořízena 1. srpna 2008 v zatopeném lomu v Hřiměždicích při příležitosti mezinárodních závodů High Jump 2008. Výška konstrukce byla 16 m a 12 m nad hladinou vody. Závodů se zúčastnili skokani amatéři i profesionálové široké věkové kategorie. Za zmínku stojí zajímavost, že nejmladším skokanům bylo 9 a 13 let.

S cílem získat exaktní data pro pohyb těla při pádu jsem analyzoval skoky aktivních sportovců při soutěži. Jednotlivé skoky byly zaznamenány na kameru, osa objektivu byla kolmo na rovinu pohybu. Pro studované skoky předpokládáme následující mechanické podmínky:

1. Těžiště těla se při volném pádu pohybuje po parabole. Nezávisí na tom, zda figurant mává rukama, kope nohama či jinak mění tvar svého těla. Těžiště soustavy, které se pohybem končetin vzhledem k figurantovi pohybuje, opisuje v každém okamžiku volného pádu tvar paraboly.
2. Během volného pádu působí na tělo pouze tíhová síla a odporová síla vzduchu.
3. Odporovou sílu vzduchu zanedbáváme.
4. Figurantovi byla při odrazu dodána počáteční horizontální rychlost  $v_H$ . Figurant se touto horizontální rychlostí pohybuje po celou dobu pádu. Horizontální rychlost během pádu je neměnná.



Obr. 29 - Trajektorie skoku s rozběhem z výšky 12 m

Pro každý jednotlivý skok byla zjištěna horizontální rychlost. Pro analýzu jsme videonahrávky rozdělili do několika částí podle typu skoků, a to skok ze sedu, skok z místa vpřed, skok z místa vzad a skok s rozběhem.

- Skok ze sedu – maximální hodnota horizontální rychlosti při překlopení ze sedu byla zjištěna:

$$v_H = (1,41 \pm 0,08) \text{ m/s.}$$

- Skok z místa vpřed, skok z místa vzad – maximální hodnota horizontální rychlosti při skoku z místa vpřed a vzad bylo zjištěno:

$$\text{skok vpřed: } v_H = (3,91 \pm 0,08) \text{ m/s,}$$

$$\text{skok vzad: } v_H = (3,35 \pm 0,08) \text{ m/s.}$$

- Skok s rozběhem – maximální hodnota horizontální rychlosti při skoku s rozběhem byla zjištěna:

$$v_H = (4,98 \pm 0,13) \text{ m/s.}$$



Obr. 30 - Biomechanická analýza – nákres celého průběhu skoku

U videa jednoho záznamu skoku s rozběhem měl figurant na hlavě kšiltovku. Během pádu, v okamžiku X, kdy byl figurant hlavou dolů, čepice odstředivou silou z hlavy figuranta odletěla a padala značně ovlivněna odporem vzduchu do vody. Vzdálenost dopadu figuranta:  $x = 6,8$  m od paty kolmice. Vzdálenost dopadu kšiltovky:  $x = 3$  m od paty kolmice. Na fotografiích jsme v programu AviStep současně sledovali trajektorii kšiltovky (zpočátku na hlavě) a trajektorii těžiště figuranta.



Obr. 31 - Okamžik odlétnutí kšiltovky

### Závěr

Z celkového počtu 63 zdokumentovaných a zpracovaných skoků s maximální chybou měření 10 % se výsledky rámcově shodují s hodnotami uváděnými v literatuře. Všechny skoky jsou řízené, tzn. nejedná se o spontánní pád. Získané hodnoty jsou hodnotami maximálními, figuranti – ženy i muži jsou sportovci, kteří se dlouhodobě zabývají skoky do vody, jak na úrovni amatérské, tak profesionální. Konkrétní výsledky jednotlivých skoků lze shrnout do následujících závěrů:

- Maximální hodnota horizontální rychlosti při skoku s rozběhem byla zjištěna  $v_H = (4,98 \pm 0,13)$  m/s.
- Maximální hodnota horizontální rychlosti při skoku z místa vpřed byla zjištěna  $v_H = (3,91 \pm 0,08)$  m/s, při skoku z místa vzad byla horizontální složka rychlosti zjištěna  $v_H = (3,35 \pm 0,08)$  m/s.
- Maximální hodnota horizontální rychlosti při překlopení ze sedu byla zjištěna  $v_H = (1,41 \pm 0,08)$  m/s.

Pro srovnání uvádím hodnoty pro standardní jedince, netréované studenty a dále hodnoty, které byly zjištěny analýzou konkrétních kriminálních případů.

Tab. 11 - Horizontální složky rychlostí vektoru trajektorie těžiště těla zjištěné experimentálně při různých druzích pádu

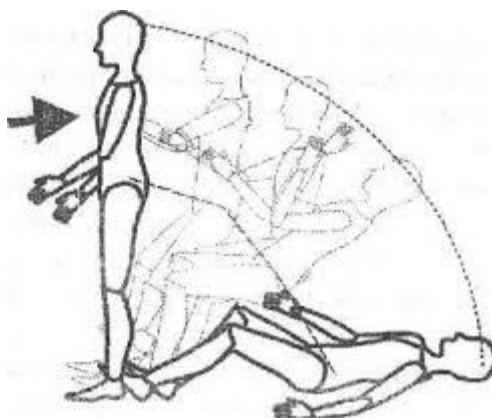
Charakter skoku	Horizontální složka rychlosti [m.s <sup>-1</sup> ]
Odraz, aktivní skok	2,634
Spontánní pád	0,997
Strčení druhou osobou	1,438
Krok vpřed – normální	0,649
Krok vpřed – maximální	1,041
Krok vzad – normální	0,598
Krok vzad – maximální	1,007

Tab. 12 - Kinematické hodnoty z analýzy kriminálních případů

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

## 9. Pády ze stoje na podložku

Při analýze pádů a poranění hlavy při extrémním dynamickém zatížení člověka tvoří samostatný směr zkoumání skupina pádů, které vznikají při překlopení těla kolem překlopné hrany, kterou tvoří přímka procházející plochou opory chodidel.<sup>122</sup> Pokud nedochází k flexi v kolenním kloubu (osoba nepokrčuje kolena) a současně nedochází k flexi v kyčelním kloubu, pak se těžiště těla pohybuje po části kružnice. Při pádu z vertikální polohy stoje do horizontální polohy se délková osa těla sklápí o 90° a těžiště těla se pohybuje po čtvrtkružnici. V těchto případech padá tělo na plochu břicha nebo zad a pro biomechanickou analýzu je dominantní úder do hlavy a s tím související důsledky.



Obr. 32 - Schéma pádu těla ze stoje na podložku<sup>123</sup>

Z hlediska potřeb praxe je nejčastějším způsobem pádu ze stoje, při němž dochází k poranění hlavy, pád vzad. Člověk při něm padá ze stoje vzad, dopadá na záda, a největší síla úderu směřuje na hlavu. Při tomto druhu pádu osoba neudrží krčními svaly hlavu v bezpečné poloze a při dopadu se v důsledku vzniku velmi silných dynamických sil udeří do hlavy. V průběhu pohybu padající osoba ve velké většině pád nekoordinuje, padá zcela spontánně, chaoticky a prohýbá se lukovitě v zádech, zaklání hlavu, v tomto případě padá vzad přímo na hlavu. Nejvyšší dynamickou zátěž pak přijímá pouze týlní část hlavy padající osoby. Výjimky mohou nastat v případě velmi malé skupiny speciálně trénovaných sportovců, především úpolových sportů (džudo, zápas, karate), kteří jsou na tento druh pádů speciálně trénováni a reagují reflexivně, pád tlumí koordinovanými pohyby. Dokonale zvládají pádovou techniku, tlumí náraz, při pádu sbalí tělo a při správně provedené technice pádu vzad nedochází ke kontaktu hlavy s podložkou. V dalších úvahách tento druh pádů nebudeme uvažovat, z hlediska biomechanické analýzy nás bude zajímat krizová varianta pádu, při níž se osoba udeří do hlavy.

Podstatou biomechanického hodnocení je posouzení možného pádu, úderu hlavy o zem a vznik zjištěného zranění. Úhlová rychlost padajícího těla vzad je:

<sup>122</sup> SAŽAJEVA, O. V. Оптимизация судебно-медицинской диагностики механизмов травмы головы при падении на плоскость. Dizertační práce, Судебно-медицинский журнал, Москва 2008.

<sup>123</sup> ZARUBIN, S. V. Экспериментальное моделирование падения человека навзничь. Чабаровск, 2003.

$$\omega = \frac{4,92}{\sqrt{L}}$$

Pro výpočet obvodové rychlosti pohybu těžiště segmentu hlavy ( $v_r$ ) je nutné vycházet z obecného vztahu:

$$v_r = \omega \cdot r_o$$

Známe-li vzdálenost těžiště hlavy od osy otáčení  $r_o$ , pak je možné vyjádřit obvodovou rychlost pohybu těžiště hlavy při spontánním pádu. Podle biomechanických podkladů<sup>124,125</sup> je možné uvažovanou vzdálenost vyjádřit jako:

$$r_o = 0,94 L$$

Pak lze zapsat:

$$v_r = \omega \cdot 0,94 L = \frac{4,92}{\sqrt{L}} \cdot 0,94 \cdot L$$

Po úpravě získáme:<sup>126</sup>

$$v_r = 4,62 \sqrt{L} \text{ nebo velmi přesně } v_r = 4,417 \cdot L^{0,49}$$

Matematickým modelováním celého děje a simulací lidského těla mechanickým modelem můžeme vyjádřit velikost sil, které působí v okamžiku pádu na hlavu osoby. Výpočet síly úderu je nejvhodnější získat cestou teoretického modelování, vycházet z dosud empiricky získaných vstupních hodnot a výsledný výpočet komparovat s těmi literárními údaji, které byly získány např. úderem do hlav mrtvol. Experimenty potvrdily očekávaný a logický závěr, že **doba destrukce hlavy** se měnila v závislosti na tvrdosti povrchu. Bylo zjištěno:<sup>127</sup>

- a) Pro tvrdý povrch je  $t_i = 0,006 - 0,007$  s.
- b) Pro polotvrdý povrch je  $t_i = 0,007 - 0,009$  s.
- c) Pro měkký povrch je  $t_i = 0,021 - 0,030$  s.

Ze známého času destrukce hlavy při pádu je možné vypočítat pravděpodobnou velikost síly, která působí na hlavu člověka při pádu vzad ze stoje na podložku různé pružnosti. Výpočet velikosti síly je závislý na hmotnosti osoby ( $G$ ), resp. tíhové síle a velikosti tělesné výšky ( $L$ ).<sup>128</sup>

- a) Pro tvrdý povrch platí  $F = (7,7 \pm 0,6) \cdot G \cdot \sqrt{L}$
- b) Pro polotvrdý povrch platí  $F = (5,6 \pm 0,7) \cdot G \cdot \sqrt{L}$
- c) Pro měkký povrch platí  $F = (1,6 \pm 0,3) \cdot G \cdot \sqrt{L}$

Experimentálně byly tyto hodnoty, postupy a vzorce verifikovány pomocí pádu biomechanické figuríny na tenzometrickou desku, která snímala velikost síly, která

<sup>124</sup> KORSÁKOV, S. A. Suděbno-medicinskije aspekty biomechaniky udarnovo vzajmodějstvija tupovo tverdovo predmeta i golovy čelověka. Suděbno-medicinskaja ekspertiza. XXXIV, 1991, 3.

<sup>125</sup> SAŽAJEVA, O. V. Оптимизация судебно-медицинской диагностики механизмов травмы головы при падении на плоскость. Dizertační práce, Suděbno-medicinskij žurnal, Moskva 2008.

<sup>126</sup> KORSÁKOV, S. A. Suděbno-medicinskije aspekty biomechaniky udarnovo vzajmodějstvija tupovo tverdovo predmeta i golovy čelověka. Suděbno-medicinskaja ekspertiza. XXXIV, 1991, 3.

<sup>127</sup> GROMOV, A. P. Biomechanika travmy. Moskva: Medicina, 1979.

<sup>128</sup> GROMOV, A. P. Biomechanika travmy. Moskva: Medicina, 1979.



vznikla úderem hlavy při pádu. Diference výpočtu a měřených hodnot byly minimální, a to 50 kg, a lze tedy uvedené vzorce přijmout pro forenzně biomechanické analýzy.

Z hlediska forenzně biomechanického posuzování pádu ze stoje na podložku je nutné uvažovat případ, kdy osoba je před vlastním pádem urychlena přiloženým vektorem síly umístěným nad těžištěm těla. V praxi se jedná o případy, kdy osoba je udeřena do hlavy například úderem pěstí, kopem nohy, úderem otevřenou dlaní případně nějakým předmětem. V důsledku úderu se hlava zaklání, tělo se lukovitě prohne a při dopadu na podložku směřuje hlavní úder na temenní část hlavy. Nejčastější místo destrukce lebky je v oblasti lambdového švu.

### **Zakopnutí a pády ze stoje pohledem forenzní biomechaniky**

Pády způsobené narušením postoje nebo chůze jsou poměrně frekventovaným jevem ve forenzní biomechanice. V české trestní oblasti tvoří 15 % řešených případů v oboru kriminalistika, specializace forenzní biomechanika.<sup>129</sup> Tato problematika nenachází své uplatnění pouze v trestních kauzách, ale i v případech občanskoprávních, např. u pádů způsobených údajným uklouznutím na povrchu, při nichž dojde ke zranění kolena nebo kyčle, kdy je třeba určit mechanismus pádu, který často proběhl bez dalších svědků.<sup>130</sup> Byl popsán i případ, kdy mělo dojít uklouznutím k nárazu do hlavy a následně až k ochrnutí poškozené. Autor došel k závěru: „*Pravděpodobnost uklouznutí jako příčiny pádu, který byl podložen neúplným svědectvím, byla extrémně malá, obzvláště ve srovnání se zavedenými biomechanickými modely*“, proto je nutné znát typické a v úvahu připadající rysy jednotlivých narušení.<sup>131</sup>

### **Narušení postoje a chůze**

K narušení postoje může dojít jednak s přiloženou vnější silou, anebo bez této síly. Dále narušení můžeme členit dle směru pádu na pády vpřed, pády vzad a boční pády. U narušení chůze přichází v úvahu také hned několik variant, jimiž jsou zakopnutí, uklouznutí, došlápnutí na sníženou plochu, popř. omdlení.

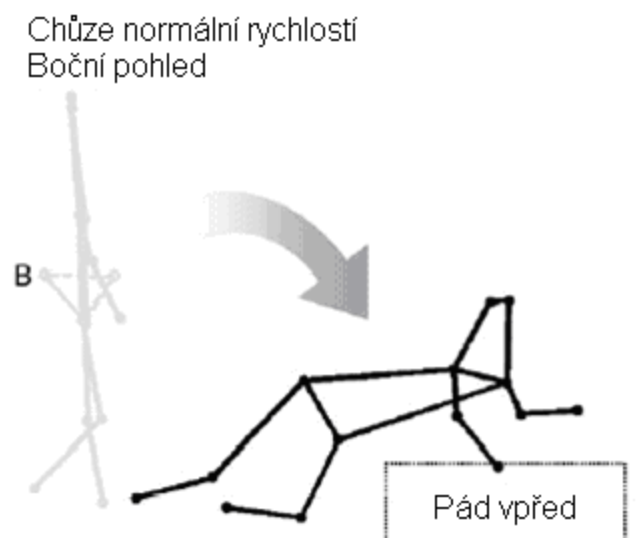
Smeesters a kol.<sup>132</sup> se zabývali směrem pádu a lokacemi nárazu pro různé typy pádů, omdlení, uklouznutí, krok z vyvýšeného místa dolů a uklouznutí při třech různých rychlostech chůze. Probandy přitom poučili o tom, aby se nepokoušeli zabránit následkům pádu. Cílem tedy bylo zjistit, na jakou část těla by náraz směřoval, jestliže by osoba v praxi nereagovala patřičně. Vědci konstatovali, že určitá narušení vedou mnohem pravděpodobněji k možnému zranění kyčle. Zakopnutí téměř vždy způsobí dopředný pád vedoucí k nárazu do oblasti břicha až pánevní oblasti nezávisle na rychlosti chůze figuranta při počátku zakopnutí. Oproti tomu ve srovnání s jinými narušeními představovalo uklouznutí a omdlení větší riziko pro zranění kyčle. Padesát sedm procent pokusů prokázalo dostatečné dopadové rychlosti, aby došlo k fraktuře kyčle u starších osob, u kterých navíc hrozí, konzistentně s naším nastavením experimentu, absence nebo zhoršená reakce na pád.

<sup>129</sup> STRAUS, J. Zkušenosti ze znalecké praxe ve forenzní biomechanice. *Kriminalistika*, roč. 41, č. 2, s. 130–137. ISSN 1210-9150

<sup>130</sup> HAYES, W. C., ERICKSON, M. S., POWER, E. D. Forensic injury biomechanics. *Annual Review of Biomedical Engineering*, 2007, Vol. 9, s. 75.

<sup>131</sup> SACHER, A. The application of forensic biomechanics to the resolution of unwitnessed falling accidents (Abstract). *Journal of forensic sciences*, September 1996, Vol. 41, No. 5. ISSN 0022-1198.

<sup>132</sup> SMEESTERS, C., HAYES, W. C., MCMAHON, T. A. Disturbance type and gait speed affect fall direction and impact location. *Journal of Biomechanics*, 2001, Vol. 34, s. 304–317. ISSN 0021-9290.



Obr. 33 - Model simulujícího zakopnutí

Tyto poznatky použil Zhou a kol. při vytváření modelu simulujícího zakopnutí, který souhlasně s poznatky praxe predikuje pád těla napřed jako důsledek zakopnutí švihové končetiny<sup>133</sup>. Je třeba poznamenat, že obě tyto studie se nezabývaly pokusy člověka o zmírnění následků pádu. Bogert a kol. použil model inverzního kyvadla k simulaci konce zakopnutí, kde byly subjekty modelovány jako tuhé těleso a bylo předpokládáno, že po zakopnutí by tělo rotovalo kolem pevné osy, která je určena hlezenním kloubem stojné nohy.<sup>134</sup> Zjednodušením skutečnosti dosáhli autoři možnosti zkoumat vliv proměnných, jako je rychlost chůze a doba odezvy na následek zakopnutí. Bezpečně vyšlo najevo významné působení rychlosti chůze na rychlost dopředné rotace těla po zakopnutí, zatímco rychlost reakce ovlivňovala délku této rotace před samotnou iniciací zakopnutí. Sklon těla v čase kontaktu podložky s chodidlem dolní končetiny, která prováděla obnovu stability, vykazoval tedy přímo úměrnou závislost na rychlosti chůze a reakčním čase. Na základě dat lze tedy argumentovat, že člověk může zvýšit své šance na úspěšnou obnovu snížením rychlosti chůze nebo zlepšením reakce na zakopnutí. Pomalá reakční doba je proto klíčovým faktorem pro vznik následku. Jako v modelu vyvinutém Zhou<sup>135</sup> a kol. i experimenty provedené Smeesters a kol.<sup>136, 137</sup> predikovaly, že nevýrazná fáze obnovy stability po zakopnutí, kdy dojde k překročení mezního úhlu sklonu těla, zapříčiní pád vpřed.<sup>138</sup>

<sup>133</sup> ZHOU, X., DRAGANICH, L. F., AMIROUCHE, F. A dynamic model for simulating a trip and fall during gait. *Medical Engineering & Physics*, 2002, Vol. 24, s. 121–122. ISSN 1350-4533.

<sup>134</sup> VAN DEN BOGERT, A. J., PAVOL, M. J., GRABINER, M. D. Response time is more important than walking speed for the ability of older adults to avoid a fall after a trip. *Journal of Biomechanics*, February 2002, Vol. 35, No. 2, s. 200. ISSN 0021-9290.

<sup>135</sup> ZHOU, X., DRAGANICH, L. F., AMIROUCHE, F. A dynamic model for simulating a trip and fall during gait. *Medical Engineering & Physics*, 2002, Vol. 24, s. 121–122. ISSN 1350-4533.

<sup>136</sup> SMEESTERS, C., HAYES, W. C., MCMAHON, T. A. Disturbance type and gait speed affect fall direction and impact location. *Journal of Biomechanics*, 2001, Vol. 34, s. 304–317. ISSN 0021-9290.

<sup>137</sup> SMEESTERS, C., HAYES, W. C., MCMAHON, T. A. The threshold trip duration for which recovery is no longer possible is associated with strength and reaction time. *Journal of Biomechanics*, 1999, Vol. 34, No. 5, s. 589–595. ISSN 0021-9290.

<sup>138</sup> VAN DEN BOGERT, A. J., PAVOL, M. J., GRABINER, M. D. Response time is more important than walking speed for the ability of older adults to avoid a fall after a trip. *Journal of Biomechanics*, 2002, Vol. 35, No. 2, s. 203. ISSN 0021-9290.

## Rozdíly ve způsobech obnovy

Uskutečňují se důležité experimenty se subjekty za účelem identifikace rozdílných tendencí obnovy používané jednotlivými subjekty, když se pokoušejí zabránit nebo zmírnit započaté zakopnutí a tím vyvolanou ztrátu stability. Cílem je samozřejmě identifikace takových technik, které jsou nejběžněji užívané a které zároveň vedou k největším úspěchům při zmírnění následků.<sup>139, 140</sup>

Na základě experimentů vědci identifikovali základní strategie obnovy stability po zakopnutí, jejichž použití je závislé nejvíce na fázi kroku, v níž dojde k zakopnutí, či na obratnosti.

1. Snížení zakopávající končetiny („lowering strategy“) – zakopávající končetina poklesne k zemi, přičemž se nedostane přes překážku. Krok přes překážku provádí pak primárně kontralaterální končetina, zatímco zakopávající končetina zůstává v opoře před překážkou.
2. Zvednutí zakopávající končetiny („elevating strategy“) – zakopávající končetina provádí první krok přes překážku. Kontralaterální končetina zůstává v opoře. Podle literatury tvoří podíl obou strategií zhruba 3:1 ve prospěch strategie lowering.<sup>141</sup>

K úspěšné kompenzaci na vzniklou situaci dochází bez ohledu na strategii i vlivem rychlé reakce člověka,<sup>142</sup> a to vhodným způsobem, aby dosáhl kontroly dopředné rotace trupu a vykonal kompenzační krok přiměřené délky a tím dosáhl plné obnovy stability. Biomechanické studie navozeného zakopnutí dospělých ukázaly poměr cca 3:1 pro použití „lowering“ a „elevating“ strategie. Způsob navrácení rovnováhy významně souvisel s fází chůze, v níž nastalo zakopnutí.

## Vliv rychlosti chůze na následek zakopnutí

Důkaz pro tuto závislost je poněkud méně jednoznačný. Smeesters a kol. úspěšně prokázal, že rychlost chůze významně neovlivňuje jakou částí těla člověk narazí do země. V některých případech nelze nicméně zcela vyloučit zranění kyčle.<sup>143</sup> Existují též prokázaná fakta z mnoha studií, že nižší rychlost chůze může pozitivně ovlivnit schopnost člověka zabránit pádu, jež by zakopnutí jinak způsobilo. Práce se zdravými staršími figuranty prokázala, že s největší pravděpodobností dochází k pádu tehdy, je-li chůze úmyslně rázná s vyšší rychlostí a delším krokem. Tyto charakteristiky poskytují lepší predikci, zda subjekt mohl upadnout, než jiné faktory jako například věk nebo pohlaví.<sup>144</sup> Při takovém typu chůze se velmi zvyšuje riziko zakopnutí, obzvláště ve

<sup>139</sup> TOMIOKA, M., OWINGS, T. M., LORD, D., GRABINER, M. D. *Biomechanics of recovery from a backwards fall* [online]. [cit. 2010-02-09]. Dostupné na: <<http://www.asbweb.org/conferences/2001/pdf/099.pdf>>

<sup>140</sup> PAVOL, M. J., OWINGS, T. M., FOLEY, K. T., GRABINER, M. D. The Sex and Age of Older Adults Influence the Outcome of Induced Trips. *Journal of Gerontology*, 1999, Vol. 54A, No. 2, s. 103–108. ISSN 1758-535X.

<sup>141</sup> LOO-MORREY, M., JEFFRIES, S. *Trip feasibility study*, s. 6 [online]. [cit. 13. 2. 2010-02-13]. Dostupné na: <[www.hse.gov.uk/research/hsl\\_pdf/2006/hsl0677.pdf](http://www.hse.gov.uk/research/hsl_pdf/2006/hsl0677.pdf)>

<sup>142</sup> VAN DEN BOGERT, A. J., PAVOL, M. J., GRABINER, M. D. Response time is more important than walking speed for the ability of older adults to avoid a fall after a trip. *Journal of Biomechanics*, 2002, Vol. 35, No. 2, s. 203. ISSN 0021-9290.

<sup>143</sup> SMEESTERS, C., HAYES, W. C., MCMAHON, T. A. Disturbance type and gait speed affect fall direction and impact location. *Journal of Biomechanics*, 2001, Vol. 34, s. 312–315. ISSN 0021-9290

<sup>144</sup> PAVOL, M. J., OWINGS, T. M., FOLEY, K. T., GRABINER, M. D. Gait characteristics as risk factors for falling from trips induced in older adults. *Journal of Gerontology*, 1999, Vol. 54A, No. 11, s. 583–590. ISSN 1758-535X.

starším věku. Nicméně jiné studie ukázaly u pomalé chůze a kratšího kroku spojení se vzrůstajícím rizikem pádu mezi staršími lidmi.<sup>145</sup> Bylo argumentováno, že tyto protichůdné názory lze vysvětlit tím, že epidemiologické studie ne vždy rozlišují mezi zakopnutím, které způsobí pád a pády z jiných příčin, jako uklouznutí a rizikové faktory pro jiné typy pádů jsou mnohdy také odlišné od zakopnutí.<sup>146, 147</sup>

V poměrně rozsáhlém výzkumu se Smeesters<sup>148</sup> a kol. komplexně zaměřili na uvedenou problematiku. Hlavním cílem jejich výzkumu bylo zjištění typických a možných lokací nárazu po „omdlení“, zakopnutí, uklouznutí a šlápnutí na sníženou plochu; dále o možnostech zranění kyčle při uvedených narušeních chůze. Šlo o posouzení vlivu neúspěšné obnovy stability na směr pádu, lokaci nárazu a dopadovou rychlost kyčle. Jejich výsledky prokázaly, že určité typy narušení jako omdlení a uklouznutí vedou mnohem pravděpodobněji k nárazu do kyčle. Navíc uklouznutí a omdlení obzvláště představují riziko nejen proto, že vedou k nárazu do kyčle, ale též 57 % z pokusů prokázalo dostatečné dopadové rychlosti, aby došlo k fraktuře stehenní kosti starších osob. Procentuální rozdělení směrů pádů a lokací nárazu podle typu narušení a rychlosti chůze.

Tab. 13 - Směr a lokace nárazu u jednotlivých typů narušení chůze (Frontální: pád vpřed, Laterální: boční pád, Dorsální: pád vzad)

	Omdlení			Uklouznutí			Šlápnutí na sníženou plochu			Zakopnutí		
	Rychlá	Normální	Pomalá	Rychlá	Normální	Pomalá	Rychlá	Normální	Pomalá	Rychlá	Normální	Pomalá
<b>Směr pádu</b>												
Frontální	93%	71%	50%	64%	29%	21%	100%	79%	71%	100%	100%	93%
Laterální	7%	29%	50%	21%	43%	36%	0%	21%	29%	0%	0%	7%
Dorsální	0%	0%	0%	14%	29%	43%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
<b>Lokace nárazu</b>												
Břicho	79%	64%	71%	64%	43%	29%	93%	86%	71%	100%	93%	93%
Kyčel	21%	36%	29%	29%	29%	36%	7%	14%	29%	0%	7%	7%
Zadní část těla	0%	0%	0%	7%	29%	36%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Pro zakopnutí podle výše uvedené tabulky je třeba uvést, že zakopnutím se rozumí náhlé a neočekávané zbrzdění pohybu nohy s pokračujícím pohybem těla.<sup>149</sup> Vzhledem k obvyklým reakčním schopnostem člověka však dochází k pokusu o obnovu stability a při neúspěchu k primárnímu nárazu rukou, popř. předloktími. Tím dochází k riziku zranění nejčastěji zápěstí či klíční kosti.<sup>150</sup>

## Experimentální část

S ohledem na variabilitu možných narušení chůze bylo provedeno více experimentů, konkrétně byla sledována zakopnutí a pády vpřed a vzad. Pády vzad byly provedeny v několika variantách, bez iniciace a s iniciací (postrčením) druhou osobou zředu, a to jak ve stoji, tak z vyvýšeného místa.

<sup>145</sup> NEVITT, M. C., CUMMINGS, S. R., HUDES, E. S. Risk factors for injurious falls: a prospective study. *Journal of Gerontology*, September 1991, Vol. 46, No. 5, s. 164–170. ISSN 1758-535X.

<sup>146</sup> SMEESTERS, C., HAYES, W. C., MCMAHON, T. A. Disturbance type and gait speed affect fall direction and impact location. *Journal of Biomechanics*, 2001, Vol. 34, s. 312–315. ISSN 0021-9290.

<sup>147</sup> PAVOL, M. J., OWINGS, T. M., FOLEY, K. T., GRABINER, M. D. The Sex and Age of Older Adults Influence the Outcome of Induced Trips. *Journal of Gerontology*, 1999, Vol. 54A, No. 2, s. 103–108. ISSN 1758-535X.

<sup>148</sup> SMEESTERS, C., HAYES, W. C., MCMAHON, T. A. Disturbance type and gait speed affect fall direction and impact location. *Journal of Biomechanics*, 2001, Vol. 34, s. 304–317. ISSN 0021-9290.

<sup>149</sup> ZHOU, X., DRAGANICH, L. F., AMIROUCHE, F. A dynamic model for simulating a trip and fall during gait. *Medical Engineering & Physics*, 2002, Vol. 24, s. 121–122. ISSN 1350-4533.

<sup>150</sup> MANNING, D. P. Deaths and injuries caused by slipping, tripping and falling. *Ergonomics*, 1983, Vol. 26, No.1, s. 3–9. ISSN 1366-5847.

## Cíle experimentu

U pádů vpřed a zakopnutí se jednalo o objasnění těchto otázek:

- Charakteristiku typických reakcí člověka a pádu, popř. obnovy stability, především horních a dolních končetin.
- Průběh rychlosti hlavy vzhledem k rychlosti těžiště figuranta.
- Úhlovou rychlost hlavy vzhledem k vertikální ose procházející těžištěm.
- Úhlovou rychlost končetiny provádějící obnovu stability vzhledem k vertikální ose procházející těžištěm.
- Zda existuje mezní úhel sklonu, z něhož nelze obnovit stabilitu.
- U pádů vzad byla cílem experimentu podrobná biomechanická analýza pohybu částí těla člověka při pádu vzad. Se třemi dobrovolníky jsme zaznamenali celkem 6 pádů vzad a to jak pádů spontánních, tak za působení vnější síly nad centrem tíhy (síla působila na sternum).
- U pádů vzad nás zajímaly následující veličiny: doba pádu  $\Delta t$ , časová závislost rychlosti těžiště a hlavy v průběhu celého pádu, rychlost pádu těžiště těsně před dopadem na zem  $v_T$ , rychlost pádu hlavy těsně před dopadem na zem  $v_H$ , odhad působící vnější síly  $F_{vnější}$ .

## Figuranti a metody

Experimentu zaměřeného na zakopnutí a pád vpřed způsobený strčením druhé osoby se zúčastnilo devět figurantů z Policejní akademie ČR v Praze, přičemž se jednalo o šest mužů (hmotnost:  $81,50 \pm 7,95$  kg; výška:  $1,87 \pm 0,05$  m) a tři ženy (hmotnost:  $57,17 \pm 3,45$  kg; výška:  $1,68 \pm 0,04$  m). Všichni byli instruováni v obecných rysech o charakteru experimentu, tj. o jaké narušení se bude jednat, v případě zakopnutí též o požadavcích na rychlost chůze. Nebyl na ně kladen požadavek ohledně žádoucí odezvy na vzniklou situaci, strategie směřující k obnově stability byla ponechána čistě na jejich přirozené reakci. K navození zakopnutí docházelo jednoduše zastavením pohybu dolní končetiny pomocí pevného tenkého provazu, který figurantovi podle vlastního vyjádření nepřekážel v pohybu a jenž byl uvázan na špičce boty. Jednalo se tedy o vcelku jednoduchou metodu, jak simulovat reálné zakopnutí, a to bez nadbytečných prvků, které se objevují v podobných experimentech. Použitím provazu došlo k eliminaci úzkého vymezení místa možného zakopnutí, jako je tomu například u pevných, popř. různě vysouvacích překážek. Taktéž figurant nebyl obtěžován bezpečnostními popruhy, speciálními brýlemi, přes něž figurant nevidí několik metrů před sebe a tudíž ani překážku etc. Při pádech vzad byl pád rozdělen do dvou fází. První fáze je od počátku pádu vzad do bodu, kdy se figurant dotkl hýžděmi podložky. Ve druhé fázi sedí figurant na podložce a setrvačností se zaklání vzad, dokud se plnou plochou zad nepoloží na podložku. Současně se záklonem vzad zvedá figurant nohy nahoru, a zpomaluje rychlost pádu hlavy na zem. U doby trvání pádu jsme počátek pádu určili v bodě, kdy těžiště tělesa bylo za patou figuranta, a konec pádu jsme definovali dotekem hýžděových svalů na podložku.

Tab. 14 - Charakteristiky figurantů (pády vzad)

<i><b>Figurant</b></i>	<i><b>Pohlaví</b></i>	<i><b>Výška</b></i>	<i><b>Hmotnost</b></i>	<i><b>Věk</b></i>
1	muž	180 cm	93 kg	40 let
2	muž	185 cm	75 kg	22 let
3	žena	165 cm	57 kg	20 let

Pády byly analyzovány pomocí programu Tracker 3.10 (pády vzad pomocí programu AviStep), pro orientační kontrolu vypočtených úhlů sloužil program ImageJ. Korelace a testy hypotéz (Pearson product moment) byly prováděny programem RIPlot Graph Generator 1.4. K záznamu experimentu sloužila rychloběžná kamera Casio Exilim FX-1, s rychlostí snímkování 300 snímků/s. Hmotnosti segmentů těla figurantů byly vypočteny na základě koeficientů De Levy vycházejících ze Zatsiorského a Seluyanova.

## Výsledky

### Zakopnutí

V experimentu zaměřeném na zakopnutí bylo analyzováno 37 zakopnutí, při nichž došlo k pádu nebo obnově stability. Pro rozlišení typických znaků vedoucích k zakopnutí a k obnově stability pak bylo navíc detailně analyzováno 14 ze zakopnutí, které vyhovovaly tomuto účelu. Detailní analýzou se zde rozumí sledování pohybu všech segmentů těla s výpočtem polohy těžiště. Jednalo se o pády, při nichž figurant provedl neúspěšný pokus o obnovu stability použitím strategie snížení, neboť ta představuje aktivní pokus o zabránění pádu, na rozdíl od tzv. „ochranné strategie“, která je typická pro starší osoby s horší pohyblivostí, reakčními schopnostmi, které očekávají pád, nečiní dolními končetinami přílišné pokusy o obnovu a soustředí se na včasné umístění horních končetin do polohy před tělo. Dochází tak k pádu, který by přitom objektivně vzato při aktivním řešení nemusel nastat. Dále se takto zpracovávaly úspěšné pokusy o obnovu stability a následně se srovnávaly obě skupiny za účelem zjištění, zda lze popsat příčiny obnovy, resp. pádu.

Vzhledem k tomu, že figuranti předvíдали jako možné delší zastavení zakopávající končetiny, nebyla zastoupena strategie „zvýšení (elevating)“, neboť u ní je zakopávající končetina též končetinou, jež provádí obnovu stability. Co se týče charakteristiky použité strategie obnovy, přehled podává uvedená tabulka, přičemž strategie ochranná nepředstavuje strategii obnovy.

Tab. 15 - Základní rysy „snížení“ a „ochranné“ strategie

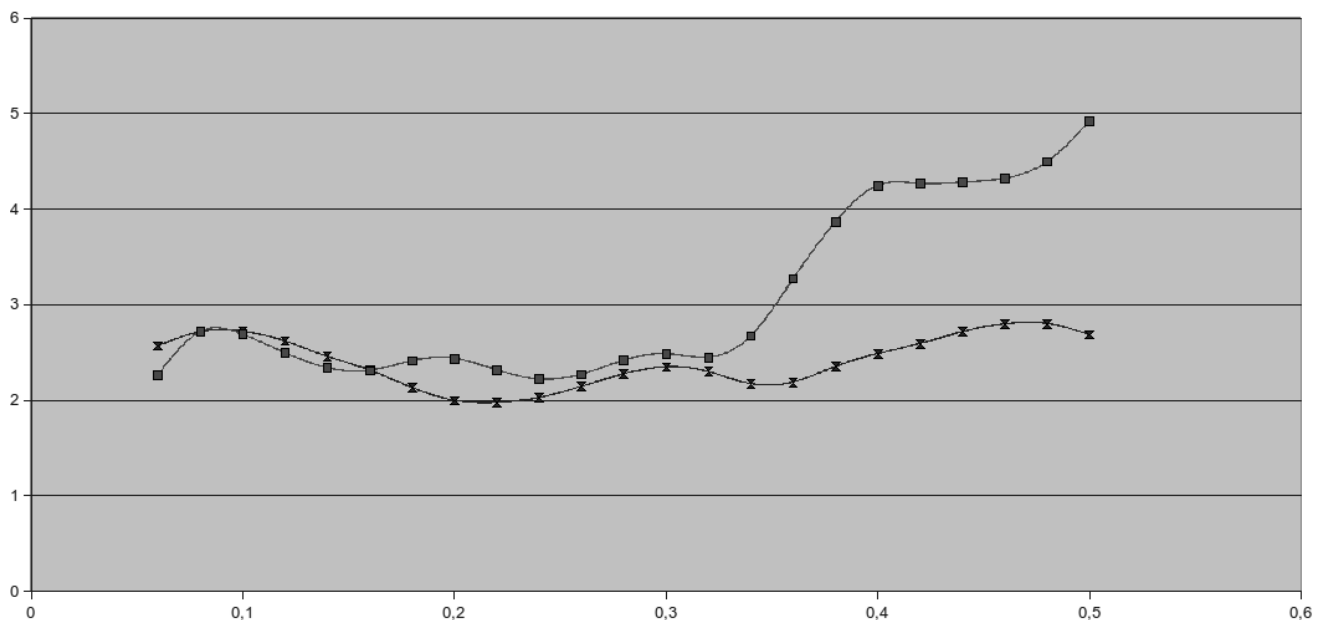
Strategie „snížení“ (aktivní)	Strategie „ochranná“ (pasivní)
Horní končetiny zvyšují svým pohybem po zakopnutí jednak polohu těžiště, postačí byť i krátký čas, který tento pohyb poskytne, a jednak se připravují na možnou ochranu při pádu	Figurant již spoléhá na ochranu horních končetin před nárazem hlavy nebo hrudníku, pohyb vykazuje stejné charakteristiky jako u strategie snížení
Po zakopnutí rychlý pohyb obnovovací končetiny s následnou výraznou flexí v kolenu, po níž následuje rychlý dokrok s cílem umístit končetinu co nejvýrazněji před těžiště	Dolní končetina, která by jinak byla obnovovací, se pohybuje minimálně, koleno se téměř neohýbá nebo dokonce úplná absence flexe



Obr. 34 - Ilustrace „snížení“ (a) a „ochranné“ strategie (b)

Průměrná doba trvání pádu od zakopnutí do nárazu horní nebo dolní končetiny o povrch činila u strategie snížení při neúspěšné obnově  $0,55 \pm 0,08$  s; resp.  $0,57 \pm 0,09$  s u ochranné strategie, tudíž nelze tvrdit, že by dobu trvání pádu bylo možné změnit užitím specifických pohybů. Souhrnná doba odezvy na iniciované zakopnutí činila pak  $0,10 \pm 0,02$  s. Rychlost chůze figurantů, kteří zakopli, byla  $1,92 \pm 0,31$  m/s; všech figurantů  $1,98 \pm 0,29$  m/s. Neukázala se tedy jako hlavní faktor pro to, zda figurant upadne po zakopnutí.

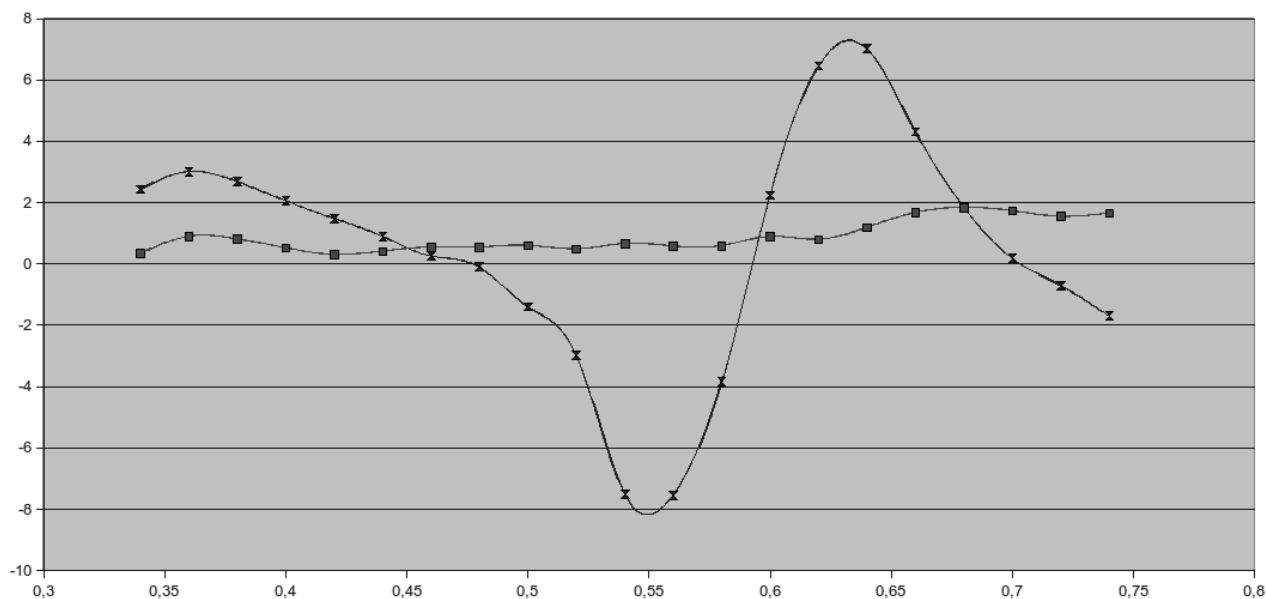
Měření rychlosti hlavy vzhledem k rychlosti těžiště poskytlo zcela konzistentní výsledky. Po iniciovaném zakopnutí docházelo ke zřetelnému zrychlení pohybu hlavy, a to vyššímu nežli u těžiště. Během sestupné fáze pak rychlost dosáhla svého maxima a po nárazu rukou k velice rychlému zpomalení. U pádů činila maximální rychlost hlavy  $4,43 \pm 0,56$  m/s. Typický průběh rychlosti hlavy a těžiště pak ilustruje uvedený graf:



Obr. 35 - Typický průběh rychlosti hlavy a rychlosti těžiště v čase. Osa y: rychlost (m/s), osa x: čas (s)

Jako velmi podstatný faktor z hlediska zabránění pádu se ukázala aktivita obnovovací končetiny. Tento fakt byl zjištěn výpočtem úhlové rychlosti vzhledem k vertikální ose procházející kyčlí figuranta. Šlo tedy o výpočet úhlu, který svírala

vertikála a vektor definovaný souřadnicemi kyčle a těžištěm chodidla obnovovací končetiny, a to od okamžiku zakopnutí. A právě kvalita provedené odezvy obnovovací končetinou skvěle odlišila úspěšné pokusy od těch neúspěšných. Po, pro „lowering“ strategii typické fázi ohýbání kolena, bylo třeba, aby figurant dokázal vyvinout končetinou maximální úhlovou rychlost alespoň 6,5 rad/s, a to bezprostředně po flexi kolena, jinak nebylo následně možné umístit obnovovací končetinu před těžiště, resp. jeho průmět na podlaze. Je však třeba říci, že ani toto nemusí postačovat, pokud se těžiště pohybuje příliš rychle, a figurant tak umístí končetinu pouze pod těžiště, nikoliv před něj. Konkrétně se tento jev vyskytl u dvou pokusů, kdy figurant šel rychlostí  $2,14 \pm 0,11$  m/s, resp.  $2,47 \pm 0,13$  m/s. Níže uvedený graf pak ilustruje klasické průběhy úhlových rychlostí hlavy a obnovovací končetiny v čase u obnovené stability.



Obr. 36 - Typický průběh úhlové rychlosti hlavy a úhlové rychlosti obnovovací končetiny v čase, pro případ obnovené stability (rychlost chůze: 6,9 km/h; doba odezvy: 0,08 s). Osa y: úhlová rychlost (rad/s), osa x: čas (s)

Co se týče mezního úhlu sklonu, ten byl určen dvěma přímkami, první byla vertikála procházející těžištěm a druhá byla definována souřadnicemi těžiště těla a těžiště segmentu hlavy v čase, kdy figurant došlápl na zem. Výsledky slušně naznačují, že od jistých hodnot úhlu sklonu existuje pravděpodobnost nemožnosti obnovy stability. V tabulce jsou uvedeny konkrétní hodnoty zaznamenané u pádů a obnovení stability se značným úsilím (s použitím strategie „lowering“). Úhly nižší než  $29^\circ$  se vyskytly výhradně u zakopnutí, při nichž ani vzdáleně nehrozil pád, tj. figurant spolehlivě odvrátil všechny náznaky nestability.

Tab. 16 - Rozdělení úhlů sklonu těla podle úspěšnosti obnovy

Obnovená stabilita	Pád
od $29^\circ$ do $50^\circ$ (5 případů)	od $51^\circ$ do $57^\circ$ (7 případů)



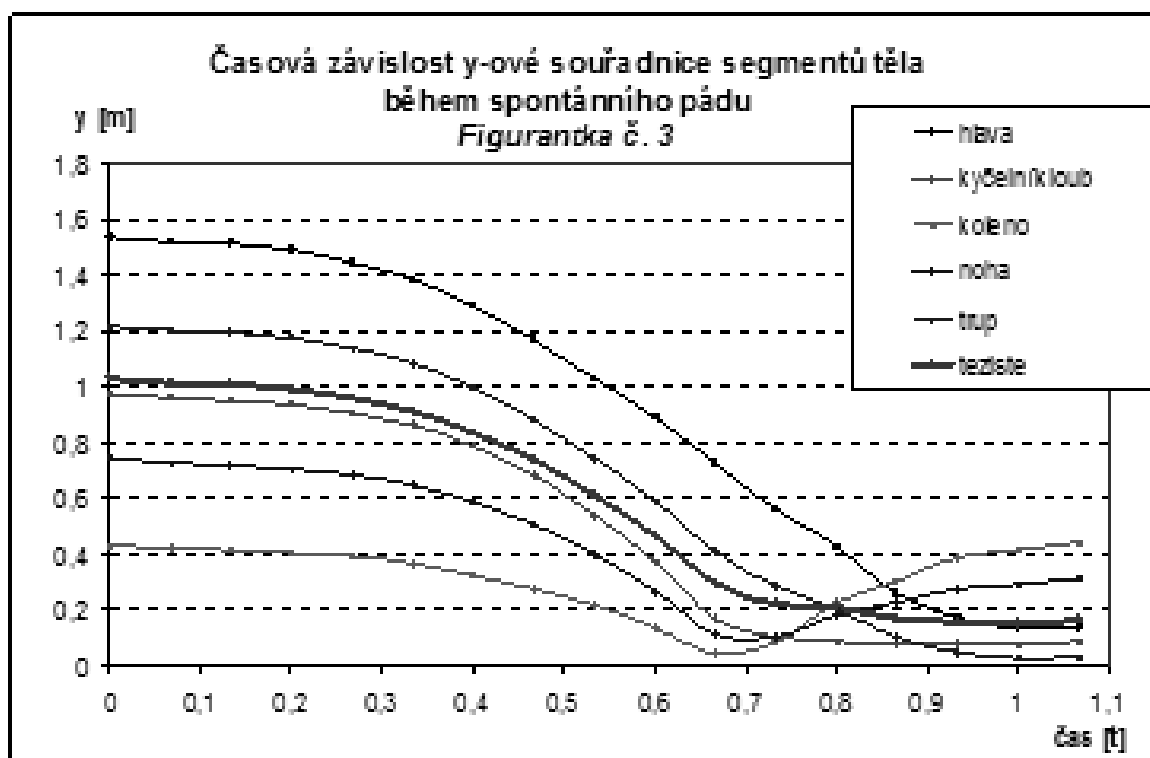
### Pád vpřed

V případě strčení měření rychlosti hlavy vzhledem k rychlosti těžiště poskytlo taktéž konzistentní výsledky. Po iniciaci docházelo ke zřetelným vyšším rychlostem pohybu hlavy nežli u těžiště. Během sestupné fáze pak rychlost dosáhla svého maxima a po obnovení stability došlo ke zpomalení. Mezní úhlu sklonu jsme určili opět dvěma přímkami, první byla vertikála procházející těžištěm a druhá byla definována souřadnicemi těžiště těla a těžiště segmentu hlavy, a to v čase, kdy figurant došlápl na zem. Po strčení figurant vykonal první rychlý krok směřující k obnově, přičemž flexe kolena hrála naprosto shodnou úlohu jako u zakopnutí, včetně průběhu úhlové rychlosti obnovovací končetiny. Doba trvání přesunu končetiny z původního postoje do dotyku se zemí po prvním kroku činila  $0,31 \pm 0,05$  s. Iniciační síla působila do zad, cca v 70 % tělesné výšky figurantů ( $71 \pm 2$  %). K dotyku nohy po prvním kroku docházelo výlučně celou plochou, nejednalo se tedy o dotyk jako při klasické chůzi, tj. patou napřed, tzv. „heel strike“. Nejvyšší dosažený úhel sklonu při došlapu obnovovací končetiny měl velikost  $44^\circ$  (síla působící do zad odhadem 710 N, což odpovídalo opravdu silnému strčení do zad mužem o hmotnosti 86 kg), přesto figurant neupadl.

### Pád vzad



Obr. 36 - Průběh spontánního pádu figurantky č. 3



Obr. 37 - Časová závislost y souřadnice center tíhy segmentů těla během spontánního pádu

Tab. 17 - Spontánní pád vzad

<i>Figurant</i>	<i>Celková doba pádu [s]</i>	<i>Rychlost centra tíhy těla po primárním nárazu (konec 1. fáze) [m/s]</i>	<i>Rychlost hlavy po primárním nárazu (konec 1. fáze) [m/s]</i>	<i>Rychlost hlavy 10 cm nad podložkou [m/s]</i>
1	0,95 ± 0,01	2,9 ± 0,2	4,2 ± 0,2	1,1 ± 0,1
2	0,80 ± 0,01	3,1 ± 0,2	4,3 ± 0,2	1,9 ± 0,1
3	0,79 ± 0,01	2,8 ± 0,2	4,3 ± 0,2	2,3 ± 0,1

Tab. 18 - Pád vzad s působením vnější síly nad těžiště

<i>Figurant</i>	<i>Celková doba pádu [s]</i>	<i>Rychlost centra tíhy těla po primárním nárazu (konec 1. fáze) [m/s]</i>	<i>Rychlost hlavy po primárním nárazu (konec 1. fáze) [m/s]</i>	<i>Rychlost hlavy 10 cm nad podložkou [m/s]</i>	<i>Doba působení vnější síly [s]</i>	<i>Velikost působící síly [N]</i>
1	0,55 ± 0,01	3,2 ± 0,2	4,5 ± 0,3	0,9 ± 0,1	0,20 ± 0,03	340 ± 100
2	0,46 ± 0,01	2,9 ± 0,2	4,2 ± 0,3	1,2 ± 0,1	0,20 ± 0,03	400 ± 120
3	0,43 ± 0,01	2,5 ± 0,2	3,9 ± 0,2	2,1 ± 0,1	0,23 ± 0,03	230 ± 80

Analyzovali jsme hlavní rysy použitých strategií obnovy stability. Je zřejmé, že pády dosahují krátkých trvání, u zakopnutí  $0,55 \pm 0,08$  s, resp.  $0,43 \pm 0,01$  s až po  $0,55 \pm 0,01$  s u pádu ze stoje vzad. Doba odezvy horní nebo dolní končetiny při zakopnutí dosahovala v souhrnu jednu desetinu sekundy, proto lze úspěšnou obnovu těžko účinně provést bez automatizovaného, „reflexivního“, způsobu odezvy.

Druh narušení výrazně ovlivňuje směr pádu a tedy charakter zranění. Avšak navzdory tomu jisté narušení chůze automaticky neznamená určitý směr pádu. Jak jsme uvedli, především zakopnutí, šlápnutí a částečně i omdlení mají své typické následky. Toho lze využít při analýze pádů beze svědků, kdy svědectví poskytuje nanejvýš poškozený. Zejména podle způsobených zranění a výpovědi je možné se poté vyjádřit, zda popsany průběh události je či není biomechanicky přijatelný. Analýzou experimentu a literatury jsme došli k závěru, že náraz po zakopnutí směřuje téměř výlučně do oblasti břicha až pánve. Provádí-li člověk pokus o obnovu stability, pak hrozí zranění předloktí. U šlápnutí na sníženou úroveň a omdlení platí rovněž posledně jmenované, nadto se zvyšuje riziko zranění kyčle.

Jak náš výzkum, tak i studie uvádějí neodmyslitelný vliv reakční schopnosti člověka na riziko neobnovení stability. V našem experimentu se hodnota reakčního času pohybovala na úrovni jedné desetiny vteřiny, což odpovídá jak reflexivní povaze, tak případné prosté reakci na jeden možný podnět („simple reaction time“). Ve forenzní praxi může znamenat zaviněné zhoršení reakční schopnosti ze strany zraněné osoby zvýšení podílu jejího zavinění na události. Máme zde na mysli především požití alkoholu a jiných látek způsobilých nepříznivě ovlivnit jednání člověka. Jinými slovy, jakékoliv jednání zakládající zaviněné zhoršení reakční schopnosti může vést k přehodnocení míry zavinění. Zejména spolu s údajem o běžném trvání pádu poskytne laikům v soudním řízení představu o nezbytnosti posouzení reakcí osoby. S ohledem na povahu tohoto faktoru jej lze uvažovat při narušení chůze u uklouznutí a došlapu na sníženou úroveň podložky; u pádů ze stoje bez omezení.

Rychlost chůze vcelku souhlasně označují biomechanické výzkumy za podstatný, leč ne nejkřičovější faktor působící na riziko upadnutí při pádech vpřed a vzad. V našem experimentu bez spojitosti s údajem o úhlové rychlosti končetiny, která provádí obnovu, nevypovídala kategoricky ani o negativním, ani o pozitivním vlivu na riziko upadnutí, spíše jen o mírné tendenci riziko zvyšovat. Takový závěr je nicméně pro forenzní praxi příliš neurčitý a posouzení samotné otázky o vlivu rychlosti chůze neupotřebitelné z hlediska posouzení míry zavinění.

Nejnižší rychlost hlavy před dopadem jsme zaznamenali 3,6 m/s. Běžně rychlosti hlavy před dopadem činily  $4,43 \pm 0,56$  m/s. Náraz do hlavy by tedy podle konkrétních okolností způsobil lehce zranění. K zajímavému výsledku vyústilo měření úhlů sklonu. Úhel sklonu o velikosti  $51^\circ$  v čase dotyku dolní končetiny s podložkou vymezil hranici pádu. Žádný figurant, který použil strategii „lowering“ a zároveň překročil uvedenou velikost úhlu sklonu, nebyl schopen pádu zabránit.

U pádů ze stoje vzad všichni figuranti dosahovali v rámci přesnosti měření shodné dopadové rychlosti těžiště na zem. Také se velmi dobře shodují rychlosti hlavy v první fázi pohybu. U spontánního pádu se však výrazně liší rychlosti hlavy 10 cm nad podložkou. Nejvyšší rychlosti dosáhla figurantka č. 3, která byla nejméně schopna snížit rychlost hlavy ve druhé fázi pohybu. Srovnáme-li výsledky se studií, kterou uveřejnili Nagata, Ohno,<sup>151</sup> a v níž autoři publikovali výzkum pádů za použití figuríny, zjistíme, že dopadové rychlosti hlavy figuríny se velmi dobře shodují s naměřenými

---

<sup>151</sup> NAGATA, H., OHNO, H. Analysis of backward falls caused by accelerated floor movements using a dummy. *Industrial Health*, 2007, Vol. 45, s. 462–466. ISSN 1880-8026.

dopadovými rychlostmi hlavy těsně po dopadu figuranta hýžděmi na zem. Po dotyku hýždí s podložkou („squat response“) docházelo v záklonu k výraznému snížení rychlosti hlavy, bez něhož by následek pádu při nárazu hlavy o podložku byl závažný, hlavně jde-li o pády ze schodů. Zmírnění pádu figuranti dosáhli pomocí práce svalů a průběh rychlosti v této fázi tedy nekoresponduje s měřením na pasivní figuríně. Jestliže se tedy člověk během pádu vzad nepokouší tlumit pád, např. je-li dezorientován po úderu do obličeje etc., pak závažnost nárazu citelně vzrůstá, především při pádech ze schodů. Posledně jmenovaný fakt může tedy hrát důležitou roli při posouzení příčin, které vedly k následku trestného činu a tím hrát rozhodující úlohu.

V pilotní studii jsme analyzovali tři podstatné druhy narušení postoje a chůze: zakopnutí, pád ze stoje vpřed a pád ze stoje vzad. Videoanalýzou jsme zjistili podstatné charakteristiky zkoumaných narušení a aplikaci zjištěných poznatků spatřujeme v níže jmenovaných ohledech.

Pád ze stoje na zem, případně i pád ze schodů jsou poměrně frekventovaným biomechanickým problémem. Z hlediska biomechaniky rozlišujeme tři druhy nehod při chůzi, které vedou k pádům. Jednak je to uklouznutí, dále zakopnutí, a nakonec klopýtnutí s následným pádem. V biomechanické literatuře jsou tyto tři druhy nehod popsány a jasně rozlišeny nejenom podle způsobu vzniku, ale i podle určujícího kroku – směr pádu, vzdálenost dopadu od vzniku pádu, místo dopadu těla, konečná poloha nebo orientace těla a povaha a rozsah zranění. Tyto detailní informace musejí být podobně zjištěny pro objektivní posouzení průběhu a příčiny pádu. Uvedený druh pádů je frekventovaný u dvou věkově odlišných skupin. Často se objevuje u mladých teenagerů jako důsledek pádu jízdy na in-line bruslích nebo skateboardu a dále jsou pády časté u starých lidí, kteří klopýtnou v důsledku špatné motoriky a koordinace pohybů při chůzi. V kriminalistice jsou důležité také případy, kdy útočník udeří oběť, ta spadne, zraní se a je důležité posoudit, zda pád napadené osoby byl v přímém důsledku úderu nebo vznikl jako sekundární jev.

Biomechanické analýzy pádů ze stoje na zem (do roviny země, podlah) a pády ze schodů (ze skloněných ploch) umožňují:

- (a) posuzovat mechanismy pádů;
- (b) analyzovat spontánnost pádů bez cizího zavinění;
- (c) analyzovat dominanci příčin pádů (z hlediska silových a momentových účinků);
- (d) analyzovat (dle druhu zranění), zda došlo jednoznačně ke spontánnímu pádu, bez vlivu druhé osoby;
- (e) analyzovat uplatnění možného vlivu jiné osoby;
- (f) determinovat velikost a směr sil vyvozených dalšími osobami;
- (g) verifikovat zranění a jeho afinitu k teoretickému modelu pádu.

Přestože řešení této problematiky, která má místy stochastický charakter, může být z hlediska forenzní biomechaniky ne zcela jednoznačné, nelze tvrdit, že by bylo prosté významu. Znalecký posudek nebo odborné vyjádření není jediným důkazem v soudním řízení, ať již v trestním nebo civilním. Obzvláště u pádů beze svědků se nelze divit absenci rozsáhlých podkladů; zde i pravděpodobnostní závěr může přispět k objasnění věci.

Přínosem dalšího zkoumání problematiky zakopnutí jistě bude komplexnější určení pravděpodobných dopadových rychlosti hlavy, kyčle, kolena, či zápěstí. Stejně tak rozšíření vzorku figurantů poskytne více vypovídající výsledky, popř. odhalí nové skutečnosti a závislosti. Vhodným prvkem v analýze a přesnosti by též byla trojrozměrná analýza pohybu, jelikož samozřejmě takovéto složité pohybové projevy

nelze provádět přísně ve dvojrozměrném prostředí. Problémem u zakopnutí je též fakt, že souhrnně lze charakterizovat pouze taková zakopnutí, která vykazují rysy některé z uvedených strategií. K zamyšlení může být, zda úspěšnost obnovy nesouvisí se silou dolních končetin anebo s obratností.

### **Znalecké zkoumání biomechaniky pádu z výšky**

Biomechanické hodnocení pádů těla z výšky je velmi frekventovaná část forenzní biomechaniky. V této části se zaměřím pouze na požadavky zajištění kriminalistických stop na místě činu a dále na možné otázky, které je možné požadovat od soudně znaleckého zkoumání pádu z výšky. Nezbytným podkladem je dobré ohledání místa činu.

Množství a kvalita zanechaných informací na místě činu závisí na intenzitě a způsobu jednání osoby, což ve značné míře souvisí s prostředím, zamýšleným nebo nahodilým jednáním a také na předmětu útoku. Nález učiněný na místě činu bezprostředně ovlivňuje směr dalšího objasňování. Ve většině případů o prvotní a nenahraditelné informace, které jsou rozšiřovány, zpřesňovány nebo vylučovány v dalších stadiích objasňování věci. Z informací získaných na místě činu je možno usuzovat nejen o objektivních souvislostech, ale i o subjektivní stránce jednání a motivaci jednání pachatele. Z kriminalistického hlediska je místo činu důležitým zdrojem informací i pro tvorbu verzí. Místo činu je také zdrojem většiny věcných důkazů, které mají značný význam pro objasnění události.<sup>152</sup>

### **Ohledání místa činu**

Ohledání je kriminalistická metoda, kterou se na základě bezprostředního pozorování zjišťuje, zkoumá, hodnotí a podchycuje materiální situace nebo stav objektů majících vztah k prověřované události. Podstata ohledání tedy spočívá v tom, že se bezprostředně poznávají fakta o události a jejím charakteru, která mají kriminalisticko-taktický a důkazní význam. Ohledání v sobě zahrnuje nejen pozorování a zkoumání, ale i různá měření, popisování, srovnávání a experimentování včetně dokumentace postupu i výsledku ohledání.<sup>153</sup>

Pro ohledání je typické, že smyslové, empirické poznávání materiální situace a objektů materiálního prostředí spolu s logickým myšlením, analýzou a hodnocením takto získaných informací směřuje k co neobjektivnějšímu a nejúplnějšímu poznání zkoumané materiální situace nebo jednotlivých objektů.

Zjišťování informací o materiální situaci nebo stavu ohledávaných objektů spočívá v aktivní a systematické činnosti všech osob jako účastníků ohledání.

Základní poznávací metodou ohledání je pozorování. Jde o bezprostřední (přímé) a cílevědomé pozorování s využitím všech smyslů, především vizuálního vnímání a podle potřeby jsou využívány i speciální kriminalistické prostředky.

Ohledání zpravidla nelze nahradit jinými úkony, např. výslechy osob, rekonstrukcí, experimentem ani jinými prostředky a postupy používanými při odhalování a objasňování kriminálních deliktů. Na kvalitě provedeného ohledání v mnoha případech závisí úspěch celého dalšího šetření. Podcenění významu ohledání má za důsledek nenahraditelnou ztrátu důkazů pro trestní řízení a usvědčení pachatele. Cílem ohledání je nalezení a zjištění stop a ostatních věcných důkazů včetně informací, které s nimi souvisejí, zjištění a objasnění mechanismu vzniku

<sup>152</sup> PORADA, V., STRAUS, J. a kolektiv. *Kriminalistika (výzkum, pokroky, perspektivy)*. Plzeň: A. Čeněk, 2014. PORADA, V. a kol. *Kriminalistika (teorie, metody, metodologie)*. Plzeň: A. Čeněk, 2014.

<sup>153</sup> KONRÁD, Z., PORADA, V., STRAUS, J., SUCHÁNEK, J. *Kriminalistika - Kriminalistická taktika a metodiky vyšetřování*, Plzeň: A. Čeněk, 2015.

a průběhu události, získání informací směřujících k odhalení a usvědčení pachatele kriminální události, odhalení příčin a podmínek včetně motivu, které vedly ke spáchání kriminálního deliktu nebo jeho spáchání umožnily, získání informací, na základě kterých jsou vytyčovány vyšetřovací a operativně pátrací verze, a nakonec získání informací pro organizaci a plánování operativně pátracího šetření a vyšetřování.<sup>154</sup>

Při ohledání je si třeba uvědomit, že každá stopa v materiálním prostředí podléhá velmi rychle změnám, které významně ovlivňují a negativně mění informační hodnotu stop a také samotné materiální prostředí. Je vyloučeno tento negativní jev zcela vyloučit, je však možné jej eliminovat na objektivně únosnou míru tím, že ohledání bude provedeno v co nejkratší době po vzniku události, kdy jsou změny ještě relativně akceptovatelné. Ohledání proto má být provedeno bezprostředně po získání informace o tom, že došlo k události, která má být prověřena.

Diskutovanou otázkou je účast při ohledání tzv. nezúčastněné, nestranné osoby. Obligatorně není stanovena účast nezúčastněné osoby při ohledání. Vždy záleží na konkrétní situaci a okolnostech a na uvážení policisty provádějícího ohledání nebo vedoucího týmu, zda takovou osobu přizve. Účast takové osoby při ohledání je do značné míry závislá i na povětrnostních okolnostech, době ohledání (den, noc) apod. Účast nezúčastněné osoby při ohledání však nelze ani kategoricky odmítnout.<sup>155</sup>

V rámci ohledání zjistíme někdy určité skutečnosti (stopy, změny a další), které jsou v logickém rozporu s materiální situací. Jedná se o existenci tzv. negativních okolnostech. Negativní okolnosti jsou tedy takové změny na ohledávaném objektu, které jsou v logickém rozporu s jinými informacemi získanými ohledáním. Jde buď o neexistenci změn (znaků), které se předpokládají, a které by vzhledem k ostatním změnám (znakům) měly být přítomny, anebo změny (znaky), které se v celkové situaci, v souhrnu ostatních změn (znaků) jeví jako cizí prvky, jako prvky nelogické, rozporné či protichůdné, tedy změny (znaky) které sice existují, ale podle předpokladů by existovat neměly. Např. při nálezů mrtvol, která má četná bodná a střelná poranění, na místě nálezů schází krev.

Důležité je proto řádně a pečlivě provádět dokumentaci včetně topografické dokumentace ve smyslu čl. 27, čl. 28, čl. 29, čl. 30, čl. 33 ZP PP č. 100/2001, o kriminalisticko-technické činnosti, při jejímž zpracování lze použít klasické měřičské metody a nově již s vyšší přesností zaměřování metodu GPS. Výsledkem použití těchto jednotlivých metod topografického dokumentování jsou náčrtek nebo plánek. Náčrtek je grafické znázornění místa ohledání v přibližném měřítku ke skutečnosti. Zakreslují se do něj situace, předměty a stopy tak, jak jsou při ohledání zjišťovány. Vzájemná přesná poloha předmětů a stop se vyměřuje a vyznačuje kótováním. Údajná jiná poloha určitého předmětu nebo stopy, než jaká byla zjištěna při ohledání, se vyměří a vyznačí přerušovanými čarami s uvedením zdroje této informace (např. výpověď svědka, poškozeného). Do náčrtku se zakreslují všechny předměty a stopy, které mohou mít důkazní význam nebo mohou objasnit situaci na místě činu. Umístění jednotlivých předmětů a příslušné vzdálenosti se zaměřují. Místo činu v terénu se vyměřuje metodou pravouhlých souřadnic (ortogonální metoda), metodou polárních souřadnic (polární metoda) nebo metodou protínání. Metodou pravouhlých souřadnic se určuje poloha bodů od různě položených úseček (např. mez, okraj pozemní komunikace, prodloužená spojnice dvou pevných bodů) krátkými souřadnicemi (souborem velkého množství samostatných různě orientovaných pravouhlých souřadnic spojených v jediný celek). Plánek je naproti náčrtku přesné v měřítku

<sup>154</sup> PORADA, V., STRAUS, J. a kolektiv. *Kriminalistika (výzkum, pokroky, perspektivy)*. Plzeň: A. Čeněk, 2014. PORADA, V. a kol. *Kriminalistika (teorie, metody, metodologie)*. Plzeň: A. Čeněk, 2014.

<sup>155</sup> STRAUS, J. a kol. *Kriminalistická taktika*. 2. rozšíření vydání. Plzeň: A. Čeněk, 2008.

narýsované, grafické znázornění místa ohledání a jeho okolí, které má vztah k objasňované trestní věci. Fotografická dokumentace a videodokumentace ohledání zobrazuje a trvale zachycuje místo ohledání, přítomnost a rozmístění různých předmětů a stop na určitém místě. Umožňuje tak vytvořit názornou představu o objektech ohledání osobám, které se ohledání nezúčastnily, doplňuje a upřesňuje protokol o ohledání.

### **Ohledání místa činu a znalecké hodnocení**

V obecné rovině platí, že policejní orgán je povinen organizovat svou činnost tak, aby účinně přispíval k včasnosti a důvodnosti trestního stíhání, v tomto smyslu se to vztahuje i na prvotní úkony. Současně ze zákona platí i povinnost učinit všechna potřebná šetření a opatření k odhalení skutečností nasvědčujících tomu, že byl spáchán trestný čin, a směřující ke zjištění jeho pachatele, přičemž k objasnění a prověření skutečností důvodně nasvědčujících tomu, že byl spáchán trestný čin, opatřuje, resp. zajišťuje stopy trestného činu. Při tomto pohledu je nutno si uvědomit odpovědnost za výsledek nejen z hlediska trestně právního, ale i z hlediska plnění úkolů Policie České republiky, zejména z pozice zásady přiměřenosti „dbát, aby žádné osobě v důsledku jejich postupu nevznikla bezdůvodná újma“ (§ 11 odst. 1 písm. a) zák. č. 273/2008 Sb., o Policii České republiky). Z judikaturních rozhodnutí Ústavního soudu jednoznačně platí, že prokázat vinu obviněného je možné pouze na základě nepochybně zjištěných skutečností a za použití procesních prostředků, které trestní řád umožňuje.<sup>156</sup> Jsou-li v těchto poznámkách dány základní požadavky, tak pro ohledání s biomechanickým prvkem je nutno pro policejní orgány vymezit alespoň základní informace o této problematice.

Z výše uvedeného je zřejmé, že dosažení odpovídajících odborných závěrů nelze dosáhnout bez znalce. Není pochybnosti o tom, že vždy se musí jednat o znalecký posudek. Zde je vhodné připomenout, že *„při výběru osoby, která má být jako znalec přibrána, je třeba přihlížet k důvodům, pro které podle zvláštního zákona je znalec z podání znaleckého posudku vyloučen, a proti osobě znalce lze vznést námitky z důvodů, které stanoví zvláštní zákon“*.<sup>157</sup> Vedle toho lze vznést námitky proti odbornému zaměření znalce nebo proti formulaci otázek položených znalci. Znalecký posudek je velmi významným důkazním prostředkem k prokazování viny, a biomechanické zkoumání je obzvláště náročné pro správné hodnocení. Platí, že: *„Hodnocení důkazu znaleckým posudkem spočívá v posouzení, zda závěry posudku jsou náležitě odůvodněny, zda jsou podloženy obsahem nálezu, zda bylo přihlédnuto ke všem skutečnostem, s nimiž se bylo třeba vypořádat, zda závěry posudku nejsou v rozporu s výsledky ostatních důkazů a zda odůvodnění znaleckého posudku odpovídá pravidlům logického myšlení. Aby soud mohl znalecký posudek odpovědně hodnotit, nesmí se znalec omezit ve svém posudku na podání odborného závěru, nýbrž z jeho posudku musí mít soud možnost seznat, ze kterých zjištění v posudku znalec vychází, jakou cestou k těmto zjištěním dospěl a na základě jakých úvah došel ke svému závěru. To platí i pro znalecké posouzení učiněné ústně, resp. pro případ, kdy se znalec při svém slyšení soudem odchýlí od závěru svého písemného posudku.“*<sup>158</sup>

Obecně je známo, že znalecký posudek se skládá z nálezu (popis zkoumaného materiálu, popřípadě jevů, souhrnu skutečností, k nimž znalec, z posudku (výčet otázek, na které má odpovědět, s odpověďmi na tyto otázky) a ze znalecké doložky.

<sup>156</sup> Např. nález Ústavního soudu sp. zn. II.ÚS 175/06 ze dne 19. 6. 2007.

<sup>157</sup> Podle § 105 odst. 2 tr. řádu.

<sup>158</sup> Blíže rozsudek Nejvyššího soudu České republiky sp. zn. 22 Cdo 1810/2009 ze dne 21. 10. 2009.

Z toho důvodu musí policejní orgán vnímat svoji právní povinnost, že „*Příslušný orgán, který v řízení ustanovil znalce, vymezí ve svém opatření jeho úkol, podle okolností případu též formou otázek tak, aby se znalec zabýval jen takovými skutečnostmi, k jejichž posouzení je třeba jeho odborných znalostí.*“<sup>159</sup> Znalec sám při zpracovávání biomechanického znaleckého posudku musí požadovat při přípravě posudku, aby získal z potřebných vysvětlení ze spisů, či při nahlédnutí do spisů, ev. v rámci jejich zapůjčení podstatné a prokazatelné informace ke zpracování odpovědí na položené požadavky policejního orgánu. Z praktického hlediska a v zájmu objektivnosti závěrů znalce by znalec měl více využívat dovolenost zákona, aby byl přítomen při výslechu obviněného a svědků a aby jim kladl otázky vztahující se na předmět znaleckého vyšetřování.<sup>160</sup> Pro stejné důvody by mělo být nezbytností, aby znalec z biomechaniky se vždy, pokud se to jeví nutné k objektivnímu zpracování znaleckého posudku, podíval na místo události, která je předmětem objasňování nebo vyšetřování. Současně musí být více využíváno právo znalce navrhnout, aby byly jinými důkazy napřed objasněny okolnosti potřebné k podání posudku. Znalecký posudek z biomechaniky musí zásadně splňovat požadavek kvality, která je podstatná ke splnění podmínky jeho přesvědčivosti. Nicméně je nutno doplnit, že zde platí hodnocení důkazu ve smyslu zásady volného hodnocení důkazů, tj. z hlediska zákonnosti, věrohodnosti a pravdivosti, a to lze splnit jen tehdy, pokud znalec sám hodnotí jednotlivé informace či důkazy, které mu byly policejním orgánem předloženy v jednotlivosti, a v souhrnu, a to v kontextu merita informace k odbornosti znalce. Policejní orgán tedy musí biomechanický posudek posoudit z pohledu, „*zda je úplný ve vztahu k zadání, zda závěry posudku jsou náležitě a logicky odůvodněny a zda jsou podloženy obsahem nálezu, zda bylo přihlédnuto ke všem skutečnostem, s nimiž se bylo třeba vypořádat, zda existuje soulad s ostatními provedenými důkazy.*“<sup>161</sup>

Za jednu z příčin špatně vypracovaných posudků se považuje špatně položená otázka na znalce. Na položení otázky by se neměl podílet pouze soudce, ten by měl otázku konzultovat se znalcem popřípadě s dalšími osobami činnými v trestním řízení. Tento postup je zcela běžný, pokud znalecký posudek požaduje obžalovaný. Dalším důvodem, proč dva znalci mohou totožnou situaci zhodnotit odlišně, může být spor, zda oběma byly zpřístupněny dostatečné podklady pro vypracování posudku. A zcela jasně zde vyplývá již dříve řešená otázka a to, že soudce nesmí posudku slepě důvěřovat, ale musí sám zhodnotit jeho obsahovou správnost.<sup>162</sup>

Proto, aby znalecký posudek dosahoval potřebných kvalit, je tedy potřeba, aby byla výstižně položena znalecké otázky, která bude odpovídat na odborné otázky, ale neřeší za soudce skutkovou podstatu trestného činu. Znalec musí k posudku získat potřebné materiály, pomocí kterých daný posudek vypracuje

„*Značné potíže mohou vznikat v případech, v nichž závěry znalce mají být opřeny o různé subjektivní údaje nebo o podkladové materiály, které jsou rozporné nebo se vzájemně vylučují. Tehdy by měl znalec vypracovat podmíněný nebo alternativní závěr pro všechny možné varianty řešení. Definitivní závěr o spolehlivosti podkladových materiálů a výběr jedné z variant řešení musí učinit orgán činný v trestním řízení, nikoliv znalec.*“<sup>163</sup>

---

<sup>159</sup> Blíže § 13 odst. 1 Vyhláška Ministerstva spravedlnosti č. 37/1967 Sb., k provedení zákona o znalcích a tlumočnících.

<sup>160</sup> Viz § 107 tr. řádu.

<sup>161</sup> Rozsudek Nejvyššího soudu České republiky sp. zn. 26 Cdo 3928/2013.

<sup>162</sup> KRÍSTEK, L. Kdo může za nekvalitní znalecké posudky – názor znalce. *Kriminalistika*, 2011 č. 3, s. 200–205. ISSN 1210-9150.

<sup>163</sup> Rozsudek Nejvyššího soudu České republiky sp. zn. 8 Tdo 1337/2015 ze dne 24. 11. 2015.



Hodnocení odborné správnosti znaleckého zkoumání v sobě zahrnuje:<sup>164</sup>

- hodnocení teoretických východisek, o něž znalec opírá svůj závěr,
- hodnocení empirického základu posudku, tj. kvality a množství zjištěných znaků zkoumaných objektů,
- hodnocení použitých odborných metod a postupů,
- hodnocení, zda subsumpce konkrétního empirického základu pod obecný teoretický základ je správná.

Nezbytnou podmínkou pro to, aby orgán činný v trestním řízení mohl takové hodnocení uskutečnit, je transparentnost znaleckého posudku, jinými slovy řečeno, jeho srozumitelnost i pro laiky. Znalci jako by si často neuvědomovali, že jejich posudek má specifickou funkci: Má zprostředkovat odborné poznatky nikoli vědcům, nýbrž právníkům (orgánům činným v trestním řízení), a též procesním stranám.

Obecné požadavky na znalecký posudek jsou:

- Formální náležitosti (dané zákonem).
- Znak znaleckého posudku – komplexní, úplný, vnitřně konzistentní, nezávislý a nestranný, opakovatelný.
- Nároky na znalecký posudek – teoretická správnost, použití uznávaných metod, zdůvodnění výběru metody, provedení analýzy jednotlivých faktorů ovlivňujících předmět posouzení.
- Údaje použité při sestavení znaleckého posudku musí být spolehlivé a relevantní.
- Důraz na vhodně formulované zadání znalci.
- Důležitost informací (podkladů) pro kvalitní znalecký posudek.
- Znalec nemůže provádět hodnocení důkazů.
- Znalec nesmí řešit právní otázky.
- Faktory ovlivňující kvalitu posudku jsou:
- Formulace zadání (otázek) znalci.
- Existence relevantních podkladů pro vypracování posudku.

### **Ohledání místa činu při biomechanickém hodnocení pádu těla z výšky**

Poznatky forenzní biomechaniky se mohou využít v řadě případů, nejfrekventovanější aplikace jsou „pády z výšky“. Proto se dále zaměříme na tyto aplikace forenzní biomechaniky.<sup>165</sup>

Řešení otázky posouzení biomechaniky pádu z výšky je pro znalecké zkoumání v oblasti forenzní biomechaniky velmi důležité a zásadní. Má-li být odpověď objektivní, nezpochybnitelná a odpovídající reálným podmínkám, je nutné mít k dispozici dostatečné množství vstupních informací pro následné biomechanické řešení otázky pádu.

**Nároky na znalecký posudek jsou teoretická správnost, použití uznávaných metod, zdůvodnění výběru metody, provedení analýzy jednotlivých faktorů ovlivňujících předmět posouzení.**<sup>166</sup> Pád lidského těla z výšky vychází principiálně

<sup>164</sup> Podle nálezu Ústavního soudu České republiky sp. zn. III. ÚS 299/06 ze dne 30. 4. 2007.

<sup>165</sup> STRAUS J., KREJČÍ, Z. Význam ohledání místa činu pro forenzně biomechanické zkoumání. *Sborník z konference „Trestně právní a kriminalistické aspekty dokazování“*. Praha: VŠFS, 2016.

<sup>166</sup> STRAUS J., KREJČÍ, Z. Význam ohledání místa činu pro forenzně biomechanické zkoumání. *Sborník z konference „Trestně právní a kriminalistické aspekty dokazování“*. Praha: VŠFS, 2016.

z fyzikální podstaty hodnocení vodorovného vrhu tělesa. Jde o složený pohyb, skládá se z pohybu vodorovným směrem (ve směru osy  $x$ ) a volného pádu. Koná jej těleso, kterému udělíme počáteční rychlost vodorovným směrem. Trajektorii pohybu je část paraboly s vrcholem v místě hodů. Délka vrhu je závislá na počáteční rychlosti  $v_0$  a na výšce  $h$ , 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 v počátečním bodě. Pád těla je determinován v okamžiku ztráty kontaktu těla s podložkou.

**Údaje použité při sestavení znaleckého posudku musí být spolehlivé a relevantní.**

Podklady pro zpracování posudku jsou získány z ohledání místa činu, ohledání těla poškozeného a ze závěrů znaleckého zkoumání z oboru zdravotnictví, odvětví soudního lékařství. Informace získané z ohledání místa činu vytvářejí nutný a jedinečný základ pro biomechanickou analýzu pádu a určení původních podmínek v okamžiku ztráty kontaktu s místem odrazu, tedy posouzení, zda osoba padala spontánně bez přiložených vnějších sil, nebo byla vystrčena či se odrazila v okamžiku pádu. Na základě literární analýzy vytvořeného matematického modelu i několika konkrétních případů můžeme vyslovit požadavky nutné k dokumentaci místa nálezu těla pro objektivní biomechanické posuzování pádů z výšky. Pro výpočet trajektorie těžiště je nezbytné získat následující informace:<sup>167</sup>

- Měření vzdálenosti dopadu těla od svislice pádu – nejkratší vzdálenost, nejdelší vzdálenost.
- Poloha těla při dopadu – skrčená, vzpřímená.
- Tělesná výška a hmotnost těla.
- Úhel délkové osy těla (osa trupu) k základně budovy.
- Posouzení druhu poranění a intenzity při primárním a sekundárním pádu (posoudí soudní lékař a popíše v pitevním protokolu).
- Odlet oděvních součástí, především obuvi a pokrývky hlavy – zda při pádu odlétly boty, kde byly nalezeny, kde se našla např. čepice atd.
- Výška předpokládaného pádu, tedy odkud oběť přibližně spadla, tj. například výška okna, parapetu atd.

Pro posouzení zranění těla při dopadu je nutné striktně respektovat závěry soudně lékařských závěrů.

Při dopadu vzniká primární silný úder na určitou část těla, poté se může tělo buď odrazit a dopadnout sekundárním dopadem (což velmi často vzniká při volných pádech z velkých výšek, odraz těla a sekundární dopad až do vzdálenosti několika metrů byl pozorován poměrně často při leteckých neštěstích) nebo se tělo po dopadu překlápí a dopadá na další části těla, zpravidla na větší plochu těla. Podle toho rozlišujeme dopady na primární nebo sekundární dopad těla.

Proces pádu a následný let člověka (těla) z výšky je dále omezen řadou zákonitostí a má několik etap.

Při pasivním pádu dochází nejprve k překlápění těla kolem oporné hrany bez skluzu, translace, a dále dochází ke skládání pohybu, a to rotace těla a translace a následuje „zrušení“ kontaktu těla s oporou a následný pád s rotací nebo bez rotace.

---

<sup>167</sup> STRAUS J., KREJČÍ, Z. Význam ohledání místa činu pro forenzně biomechanické zkoumání. *Sborník z konference „Trestně právní a kriminalistické aspekty dokazování“*. Praha: VŠFS, 2016.

V případě, že v cestě dalšího pádu stojí v cestě nějaké překážky (např. části budov, balkony), dojde k úderu a ke změně dráhy padajícího těla, tělu je udělena sekundární rotace kolem jedné ze tří os těla.

Při aktivních pádech je průběh pádu ovlivněn působišťem a orientací vektoru působící síly (umístění do těžiště těla nebo mimo) a dále na tom, jakým způsobem je přidáno jeho urychlení.

Při volně padajícím letu může člověk, který pád zahájil v určité poloze těla, měnit polohu aktivní činností končetin a celého těla. Poloha těla se při pádu může volně a aktivní činností padajícího měnit, tělo může rotovat kolem těžiště těla.

Rozsah poškození těla a jednotlivých tkání je závislý na rychlosti těla v okamžiku dopadu, kontaktní ploše těla a podložky v okamžiku dopadu, charakteru a tvaru dopadové plochy, úhlu dopadu a charakteru tkání, které byly při pádu poškozeny. Síla úderu, která působí na tělo v okamžiku dopadu jako destrukční síla, je prioritně závislá na dopadové rychlosti a hmotnosti těla a následně se na velikosti této síly podílí také čas destrukce, tedy ten časový okamžik, při kterém rychlost těla nabývá nulovou hodnotu. Jestliže člověk je do okamžiku pádu v klidové poloze, pak rychlost jeho pohybu závisí pouze na výšce oporné plochy od místa dopadu a tíhovém zrychlení. Kinetická energie padajícího těla, z níž lze odvodit sílu úderu, je přímo úměrná hmotnosti těla a výšce pádu.

Deformace a destrukce těla v okamžiku dopadu se neřídí zcela podle zákonů mechaniky a fyziky, lidské tělo je značně elastické, má různý stupeň pružnosti a v těchto důsledcích se snižuje síla úderu a destrukce. Snížení destrukčních sil je způsobeno také tím, že u těla v okamžiku dopadu dochází ke skládání končetin a při dopadu tělo dopadá na dvě nebo více částí těla.

**Nezávisle na druhu pádu vznikají principiálně dva druhy poranění, a to místní (primární), nebo vzdálené (sekundární).** Místní (primární, kontaktní) poranění vzniká v místech bezprostředního kontaktu přiložených traumatizujících destrukčních sil v okamžiku dopadu na podložku. Sekundární (vzdálená) poranění vznikají následně jako druhotná poranění vzdáleně od místa primárních poranění.

### **Důraz na správně formulované zadání znalci**

Podle empirických zkušeností umožňuje biomechanická analýza pádu z výšky řešit řadu důležitých otázek.

Příklady, jak by tyto otázky měly být správně formulovány, aby mohl znalec vyhotovit kvalitní a úplný znalecký posudek, uvádíme níže.<sup>168</sup>

- Jaká byla trajektorie pádu lidského těla s ohledem na zjištěná zranění na těle osoby lékařem nebo při prohlídce a pitvě zemřelého, stop nalezených a zajištěných na objektu při ohledání místa činu, u kterého byl dokumentován počátek pohybu?
- Stanovit, zda zjištěné důkazy o trajektorii pádu lidského těla prokazují, že počátek pohybu osoby směřující k pádu byl zapříčiněn spontánně či náhodným pohybem, anebo byl dán podnět k tomuto pohybu jinou osobou?
- Jaká byla potřebná energie jiné osoby k počátku pohybu k pádu, aby trajektorie pádu lidského těla odpovídala dokumentovaným skutečnostem?
- Mohla tuto potřebnou sílu vyvinout jiná osoba, která dala podnět k počátku pohybu k pádu? Do jakého místa lidského těla poškozeného tato energie musela působit, aby odpovídala zjištěné trajektorii pohybu pádu?

<sup>168</sup> STRAUS J., KREJČÍ, Z. Význam ohledání místa činu pro forenzně biomechanické zkoumání. *Sborník z konference „Trestně právní a kriminalistické aspekty dokazování“*. Praha: VŠFS, 2016.

- Jakou sílu by musela sama poškozená osoba vyvinout, aby vektor rychlosti odrazu způsobil zjištěnou trajektorii pohybu pádu lidského těla?
- Provést statické (dynamické) grafické znázornění trajektorie pohybu lidského těla při pádu, z různých úhlových a směrových pohledů včetně odpovídajícího popisu.
- Další zjištěné skutečnosti znalce, které mohou přispět k objasnění.<sup>169</sup>

Než je možno dojít k naplnění výše uvedených požadavků pro ohledání místa události s biomechanickým obsahem, zejména pády z výšek, tak ještě informace o zobecněných chybách ve znaleckém posudku (modifikované i na oblast i biomechanického znaleckého posudku). „Z obecného hlediska je za metodicky nesprávný považován znalecký posudek zejména v případech, kdy:

- vychází z neúplných nebo technicky nepřijatelných podkladů, znalec na tuto skutečnost neupozornil a nesnažil se je doplnit,
- znalec nepřihlédl ke všem skutečnostem majícím význam pro podání posudku, vybral jen některé a s dalšími, třeba rozpornými, se v posudku nevyrovnal,
- znalec jednoznačně vyřešil danou otázku, i když rozsah vstupních hodnot nebo úroveň rozvoje daného oboru vědy takové jednoznačné vyřešení ještě neumožňují (sem lze zařadit i posudky a výpočty pouze ve střední hodnotě, bez uvedení možného rozsahu výsledných hodnot),
- způsob a podmínky zkoumání materiálů při zpracování posudku neodpovídaly vědeckým požadavkům,
- posudek je nejasný (není dostatečně přesvědčivě odůvodněn, trpí vnitřními rozpory, jeho závěr nevyplývá logicky z předpokladů, z odpovědí na otázky není jasné, jaké vlastně znalec k dané otázce zaujímá stanovisko),
- posudek je neúplný (odpovědi na položenou otázku jsou neúplné, posudek neosvětluje všechny okolnosti, ke kterým měl znalec zaujmout stanovisko),
- znalec se neoprávněně zabývá i právní problematikou (otázkou viny, zavinění, porušení předpisů, povinnosti nahradit škodu apod.), nebo předběžně řeší právní otázky jednoznačně (např. u odhadů nemovitostí) a neupozorní na možnost jiné alternativy,
- znalec při zpracování posudku vyšel z nevhodného, nesprávného, eventuálně v posuzované době neplatného předpisu, případně se dopustil nesprávné aplikace některých ustanovení předpisu,
- znalec ke zkoumané problematice nepřístupoval komplexně, systémově, se znalostí vlastností všech prvků systému a jejich interakcí.“<sup>170</sup>

V policejní a bezpečnostní praxi rozeznáváme pád s dodanou energií (myšleno přenesení energie jedné osoby na jinou osobou), což má vliv na volný pád z výšky nebo pád spontánní, případně náhodný. Následným důležitým aspektem je problematika trajektorie a dráha hmotného bodu, čímž rozumíme geometrickou čáru, kterou hmotný bod při pohybu opisuje (souhrn všech poloh, kterými při pohybu prochází), a toto je podstatné pro ohledání místa s biomechanickým aspektem pádu z výšky. Podle ohledání místa takové události musíme vnímat, že se může jednat o pohyb přímočarý, nebo pohyb křivočarý. Do potřebného poznání základní informace

<sup>169</sup> Pozn. znalec nemůže ani nesmí hodnotit právní otázky, a proto se ani nemůže vyjadřovat k tomu, zda se jedná o sebevraždu, nebo o cizí zavinění, nýbrž pouze a jen, zda zjištěné znalecké údaje potvrzují, či vyvracují domněnku zavinění jiné osoby. Odpověď na tyto právní otázky jsou zcela v kompetenci policejního orgánu, který biomechanický posudek musí hodnotit podle zásady volného hodnocení důkazů.

<sup>170</sup> DROCHYTKA, R., SRŠEŇ, P., DŘÍNOVSKÝ, L. Postřehy z řešení revizních znaleckých posudků. Soudní inženýrství, č. 2, ročník 16, 2005.

pro biomechanický posudek patří ještě posouzení možnosti pohybu v rotaci při pádu z výšky, jakož i pohybu složeného, např. valivého, zejména po dopadu těla po pádu z výšky. Při aspektech volného pádu je nutno brát v potaz i odchylky postavení objektu, z kterého došlo k pádu od teoretického úhlu  $90^0$ , a též všechny jeho odchylky od svislé roviny, které mohou ovlivňovat právě trajektorii a dráhu pohybu subjektu, u kterého hodnotíme pád.

Z dosavadních zkušeností vyplývá, že se při těchto pádech často nejedná o volný pád, jak je teoreticky pojednáváno, ale o pád s větší nebo menší koordinací pohybu v pádu, který je ovlivněn subjektivními faktory, např. strachem, alkoholem, léky či drogou. Z teoretického pohledu se jeví jako nutné, aby byla věnována velmi pečlivá a důsledná pozornost místu kontaktu subjektu s výstupy ve svislé rovině, jakož i místu dopadu, se zaměřením na precizní měření všech fyzikálních veličin. Jedná se zejména o vzdálenosti všech bodů obrysu subjektu těla po dopadu k nulovému bodu svislé roviny objektu, z kterého došlo k pádu, ale také za pomoci trojúhelníkové metody měření i zaměřením vzdálenosti stejných bodů obrysu těla z místa, kde je počátek trajektorie pádu a pohybu těla (byť s vědomím určité nepřesnosti). Podobně je velmi důležité provést zaměřením všech kriminalistických stop o kontaktu subjektu s výstupy od svislé roviny objektu. Na místě dopadu je důležité provést dokumentaci charakteru dopadové plochy včetně přesného a pečlivého měření všech změn, např. hloubky trasologické stopy v zemině, dále i přesné zaměřením všech věcných důkazů, které zůstaly po dopadu subjektu na plochu či jiných stop, které by mohly osvětlit pohyb subjektu při pádu.

Je třeba zdůraznit, že ohledání jako nejdůležitější úkon k objasnění události musí být skutečně natolik důsledné a pečlivé, ev. prováděné již za přítomnosti znalce, aby bylo možno podchytit i další skutečnosti, které mohou mít vliv na závěry znalce, potažmo policejního orgánu. Autoři si jsou vědomi, že v praktickém policejním výkonu se velmi obtížně zabezpečuje tento požadavek, i proto, že by vyžadoval spolupráci s jinými složkami, např. s hasiči a jejich technikou (žebřík), či požadavky na jinou měřicí techniku. Kromě výše uvedeného je třeba věnovat pozornost ohledání místa, na které se dostal subjekt na počátku jeho pohybu, např. je-li takovým místem okno, tak je třeba zaměřit výšku, v které je umístěno okno, šíři vnitřního i vnějšího parapetu, výskyt a zaměřením daktyloskopických stop (zejména k prokázání úchyty tímto subjektem či jiným subjektem), na výskyt a zaměřením trasologických stop (i když půjde o segmenty), též na vyhledávání a zajišťování mikrostop, zejména od oblečení, biologických stop včetně případných stěrů, a bylo-li to vhodné také pachových stop. Musí být provedena i kvalitní fotodokumentace, a to nejen z úrovně místa dopadu, ale i z místa, kde se nachází prvý bod pohybu subjektu.<sup>171</sup>

Zhodnotíme-li dosavadní zkušenosti při objasňování pádů z výšek, tak je v policejní praxi zavedena nutnost ohledání mrtvého subjektu, případně je nařizována prohlídka a pitva mrtvého (§ 115 tr. ř.), ale někdy tomu tak není. Přitom je navýsost zřejmé, že bez takové pitvy se okolnosti pádu velmi těžko objasňují. Logicky je na místě úvaha, a také oprávnění policejního orgánu, že je pouze na něm, aby posoudil, zda se v konkrétním případě projevují podezřelé okolnosti takového pádu, a je třeba pitvu nařídit. Přichází-li to v úvahu, je nezbytné, aby tělo mrtvého bylo na místě ohledáváno i policejním orgánem, který by se měl zaměřit na precizní zaměřením všech bodů obrysu těla (hlava, horní končetiny, dolní končetiny), poškození oblečení. Pro

---

<sup>171</sup> STRAUS J., KREJČÍ, Z. Význam ohledání místa činu pro forenzně biomechanické zkoumání. *Sborník z konference „Trestně právní a kriminalistické aspekty dokazování“*. Praha: VŠFS, 2016.

porovnání je nutno zajistit jak srovnávací otisky rukou, tak i bosých nohou (existuje-li zjištění, že byly zjištěny trasologické stopy tohoto charakteru), případně obuvi, rovněž tak další srovnávací materiál včetně biologického. Při provádění nařízené pitvy je nutno provést dokumentaci všech poranění (což není problém) a různých zlomenin a známek tupého násilí, ale také přesné změření délky horních a dolních končetin, posoudit i charakter postavy, aby bylo možno přesněji vymežit těžiště tohoto těla (má vliv na pohyb těla při pádu).

Policejní praxe většinou přistupuje k objasňování pádu velice solidně, a proto se autoři pokusili vymežit dosavadní zkušenosti pro případy závažnějšího charakteru, které mohou být hodnoceny i jako vraždy. Významným doplňkem k objasnění případů pádů z výšek jsou výslechy svědků, a zde je potřeba podotknout, aby obsahem výpovědi nebyla pouze skutečnost, že se osoba postavila na určité místo a skočila, ale též, což je velmi důležité, i průběh pohybu těla při pádu včetně charakteru dopadu na místo, pohyb těla po dopadu (směr pohybu, rotace, ev. jiné informace), pokud takový svědek byl psychicky schopen zejména dopad zaregistrovat. Autoři jsou si vědomi takových situací, a tak uvádějí, že při jednání se svědky je nutno takové informace získávat s empatickým přístupem a v rámci rozumného požadavku. Ze zkušeností je známo, že svědci nesledují mnohdy, z mnoha důvodů, celý průběh děje pádu (a nejen pádu), a proto by bylo vhodné takové situace zaznamenat. Pokud to přichází v úvahu a je to reálně možné, tak je ideální vždy zajistit videozáznamy pádu či fotografie, a to i z více pohledů. V každém případě je důležité, aby u závažných případů měl znalec možnost se takového výsledku zúčastnit a klást otázky k předmětu svého znaleckého zkoumání.

Ohledání jako kriminalistická metoda potvrzuje svou důležitost a stává se základní metodou práce policisty při objasňování kriminálního deliktu. Ohledání zpravidla nelze nahradit jinými úkony, např. výslechy osob, rekonstrukcí, experimentem ani jinými prostředky a postupy používanými při odhalování a objasňování kriminálních deliktů. Na kvalitě provedeného ohledání v mnoha případech závisí úspěch celého dalšího šetření. Podcenění významu ohledání má za důsledek nenahraditelnou ztrátu důkazů pro trestní řízení a usvědčení pachatele. Cílem ohledání je nalezení a zjištění stop a ostatních věcných důkazů včetně informací, které s nimi souvisejí, zjištění a objasnění mechanismu vzniku a průběhu události, získání informací směřujících k odhalení a usvědčení pachatele kriminální události, odhalení příčin a podmínek včetně motivu, které vedly ke spáchání kriminálního deliktu nebo jeho spáchání umožnily, získání informací, na základě kterých jsou vytyčovány vyšetřovací a operativně pátrací verze, a nakonec získání informací pro organizaci a plánování operativně pátracího šetření a vyšetřování.<sup>172</sup>

Nároky na znalecký posudek jsou teoretická správnost, použití uznávaných metod, zdůvodnění výběru metody, provedení analýzy jednotlivých faktorů ovlivňujících předmět posouzení. Údaje použité při sestavení znaleckého posudku musí být spolehlivé a relevantní.

Podklady pro zpracování posudku jsou získány z ohledání místa činu, ohledání těla poškozeného a ze závěrů znaleckého zkoumání z oboru zdravotnictví, odvětví soudní lékařství.

Informace získané z ohledání místa činu vytvářejí nutný a jedinečný základ pro biomechanickou analýzu pádu a určení původních podmínek v okamžiku ztráty kontaktu s místem odrazu, tedy posouzení, zda osoba padala bez přiložených vnějších sil nebo byla vystrčena či se odrazila v okamžiku pádu. Na základě znalostí zákonitostí

---

<sup>172</sup> STRAUS J., KREJČÍ, Z. Význam ohledání místa činu pro forenzně biomechanické zkoumání. *Sborník z konference „Trestně právní a kriminalistické aspekty dokazování“*. Praha: VŠFS, 2016.

biomechaniky můžeme vyslovit požadavky nutné k dokumentaci místa nálezu těla pro objektivní biomechanické posuzování pádu z výšky.<sup>173</sup> Pro biomechaniku je nezbytné zadokumentovat následující údaje:<sup>174</sup>

- **Polohu těla při dopadu.** Je důležité zaměřit se na popis polohy těla, polohy hlavy (obličeje) a končetin. Vyhotovíme fotografii kolmo shora (například z vyvýšeného místa), aby nedošlo k optickému zkreslení.
- **Vzdálenost dopadu těla od svislice pádu.** Změříme vzdálenost hlavy, těžiště (oblast podbřišku či spodních zad), horních a dolních končetin od svislice pádu a od výchozího bodu měření.
- **Úhel délkové osy těla k základně budovy.** Zajímá nás tedy úhel, který svírá osa trupu se základnou budovy.
- **V okolí nálezu těla** je nutné vyhledávat stopy, které by mohly mít souvislost s danou událostí. Například biologické stopy (části tkáně, mozku nebo krevní stopy) v okolí těla, trasologické stopy a prohlubně v zemině, písku či sněhu. Tyto stopy mohou signalizovat místo primárního dopadu (stopy po patách, hlavě, hýždích...).
- Dále můžeme pátrat po **čerstvě odlomených větvičkách na blízkých keřích** či zlomených rostlinách, případně na nich můžeme nalézt části oděvu či biologické stopy. Zaměříme se také na **polohu ulétlých oděvních součástí** (obuv, pokrývky hlavy – čepice, klobouk, brýle, paruka).
- Nutné je hodnotit **mechanické podmínky dopadové plochy**, alespoň orientačně posoudit, zda se jedná o velmi tvrdou plochu (beton, dlažba) nebo měkčí terén (trávník, záhon). Tyto vlastnosti mohou ovlivnit případný malý posun těla po dopadu, tzv. odraz těla po dopadu.
- **Sklon dopadové plochy** může ovlivnit odvalení těla po dopadu, proto je potřebné změřit sklon dopadové plochy ke svislé ose.
- **Předpokládaná dráha pádu** je další oblastí, na kterou je nutno se zaměřit. Zde nás zajímají převážně výčnělky, výstupky či terasy, které mohly stát v cestě nebo

<sup>173</sup> STRAUS, J. a kolektiv. Biomechanika pádu z výšky. Praha: PAČR, 2004.

<sup>174</sup> Mající základ i např. ve fotografické dokumentaci stop podle čl. 36, čl. 37 ZP PP č. 100/2001. Stopy se fotografují s přiloženým fotografickým měřítkem a fotografickým číslem. Měřítka se při fotografování umístí do roviny se stopou, aby na výsledné fotografii nevznikl rozdíl mezi velikostí měřítka a skutečnou velikostí stopy. Optická osa objektivu musí při fotografování směřovat kolmo k rovině stopy. Stopy se fotografují z takové vzdálenosti, aby byl co nejvíce využit formát použitého fotografického přístroje. Fotografické měřítko se do záběru umístí tak, aby nezakrývalo stopu. Musí být vždy umístěno v rovině stopy. Při ohledání mrtvoly se nejprve fotografuje poloha celé mrtvoly z různých stran, poloha obličeje a jednotlivých údů. Ležící mrtvolu nelze fotografovat podélně od nohou nebo od hlavy. Není-li z celkových fotografií dobře patrna poloha končetin, pořídí se jejich detailní fotografie zvláště, zejména má-li mrtvola v ruce nějaký předmět. Dále se fotografuje bezprostřední okolí místa nálezu mrtvoly, stopy po zápase a vlečení mrtvoly, předměty v okolí mrtvoly a jejich umístění, zejména ty, které by mohly mít pro objasnění trestní věci význam. Detailní fotografií se dokumentují zejména části těla nebo oděvu se stopami předmětů, které při ohledání chybí (otlaky po náramkových hodinkách, prstenech, náušnicích apod.), uzly, škrtidla a mechanismus uvázání smyčky, stopy krve, stopy poranění, vpichy a další porušení povrchu těla mrtvoly, mrtvolné a jiné skvrny, stav a poškození oděvu, stopy svědčící o motivaci trestného činu, nalezený hmyz na těle mrtvoly i pod mrtvolou. Krevní stopy se fotografují ještě před jejich zajištěním (odebráním) pro účely zkoumání a s přiloženým fotografickým měřítkem. Krevní stružky a krevní kaluže se fotografují tak, aby byl zadokumentován jejich počátek, směr, dráha průběhu a jejich ukončení. STRAUS J., KREJČÍ, Z. Význam ohledání místa činu pro forenzně biomechanické zkoumání. *Sborník z konference „Trestně právní a kriminalistické aspekty dokazování*. Praha: VŠFS, 2016.

jiným způsobem ovlivnit průběh pádu tím, že narušily trajektorii pádu a mohou ovlivnit rotaci těla. Opět je zde nutno provést ohledání za účelem zajištění možných trasologických a biologických stop.

- **Výška předpokládaného pádu.** Tedy výška místa odkud poškozený dle předpokladu padal.
- **Ohledání místa předpokládané výchozí pozice pádu** je nezanedbatelnou součástí ohledání. Zde doporučujeme vypracovat náčrtek a plánek místa a okolí odkud byl pád proveden. I v tomto směru je třeba si uvědomit, že je potřebné provést ohledání všech v úvahu přicházejících výstupků od svislé hrany objektu, a na které by mohly být kriminalistické stopy, rovněž zaměřit jejich výšku a ohledat je. V rámci fotografické dokumentace by mělo být dokumentováno z bočního pohledu objektu, jak jsou zřetelné výstupky od zmíněné svislé hrany. V případě, že se jedná o místnost, se zaměříme na polohu věcí a nábytku v blízkosti okna, který mohl usnadnit přístup k oknu (trasologické stopy na židlích či stole).
- Vyhledáváme a zajišťujeme trasologické, daktyloskopické a případně biologické stopy na rámu okna (které mohly vzniknout při zápase poškozeného a útočником), ale i na vnitřním nebo vnějším parapetu okna, resp. obdobně z jiného místa. Při zpracování dokumentace měříme výšku parapetu od podlahy, výšku a šířku okna, mechanismus otevírání okna, šířku vnitřního a vnějšího parapetu a výšku pevného rámu okna, nebo např. výšku a šířku zábradlí, pokud šlo o pád z terasy, balkónu či ochozu.
- **Tělesná výška a hmotnost těla poškozeného.** Tyto úkony provede soudní lékař a zapíše je do pitevního protokolu.
- **Posouzení druhu poranění a intenzity při primárním a sekundárním pádu.** Provede také soudní lékař a vše popíše v pitevním protokolu, a je-li to možné s vymezením směru působení zraňující energie na jednotlivá místa zranění.
- **Výpovědi svědků a podezřelého** jsou významné pro variování jednotlivých druhů pádů, výchozí situace, případně letu těla a dopadu na zem.<sup>175</sup>

---

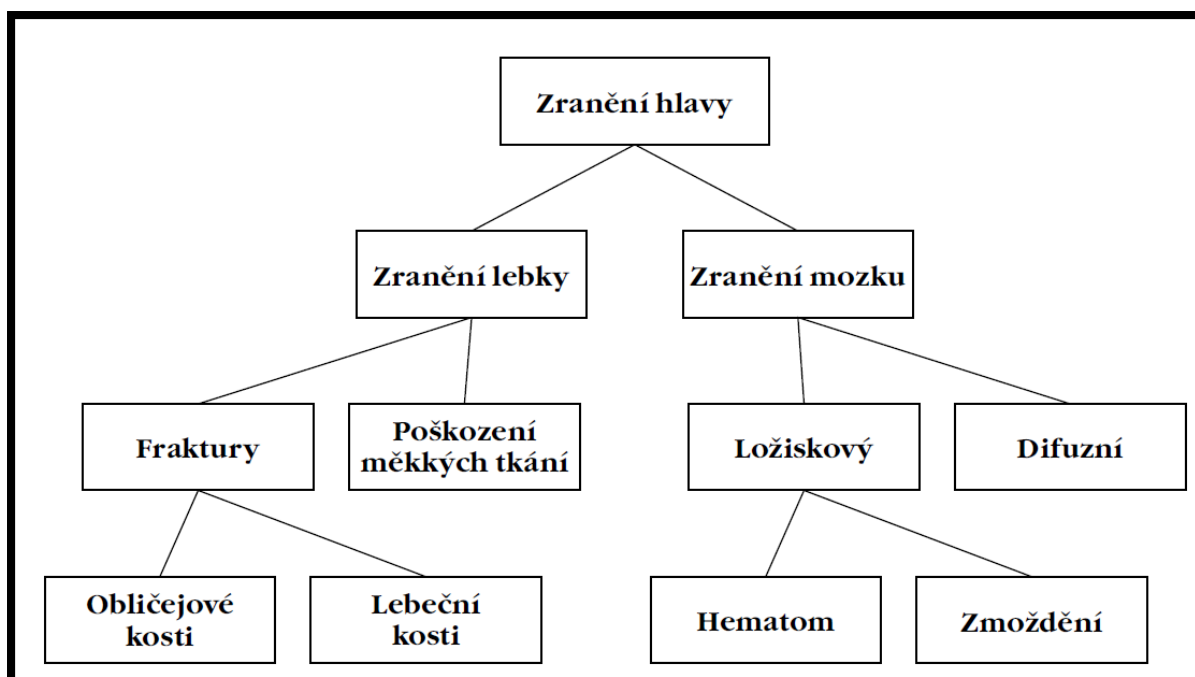
<sup>175</sup> STRAUS J., KREJČÍ, Z. Význam ohledání místa činu pro forenzně biomechanické zkoumání. *Sborník z konference „Trestně právní a kriminalistické aspekty dokazování“*. Praha: VŠFS, 2016.



## 10. Extrémní dynamické zatížení organismu

Otázka odolnosti hlavy a mozku na vnější zátěž a stanovení hranice tolerance na extrémní dynamickou zátěž je dlouhodobě studovaným problémem. Přes dlouhodobý sběr informací v oblasti medicíny, poznatků z různých experimentů s lidskou i zvířecí lebku a z matematicko-mechanických modelů, jež se snaží nahradit mechanicky, strukturálně a materiálně složitou lebku s mozkem, zůstává mnoho otázek nejasných. Také pro různost odchylek při určování mezních hodnot tolerance různými autory nelze zatím uspokojivě a rychle, jak by to uvítala znalecká praxe, vyřešit přesněji ve všech případech kauzální požadavek: „mechanická příčina-klinický a anatomicko-patologický následek“. V posledních letech se biomechanická komunita ustálila na vcelku jednotných hranicích tolerance organismu na vnější zátěž.

V posledních letech se v biomechanických diskusích frekvencují otázky typu – jak lze charakterizovat zranění hlavy? Není pojem zranění hlavy příliš obecný? Je potřeba detailněji vymezit zranění hlavy. Zranění hlavy je podle mého názoru možné detailněji rozdělit podle schématu na obr. 38 na poranění lebky a mozku.<sup>176, 177, 178</sup>

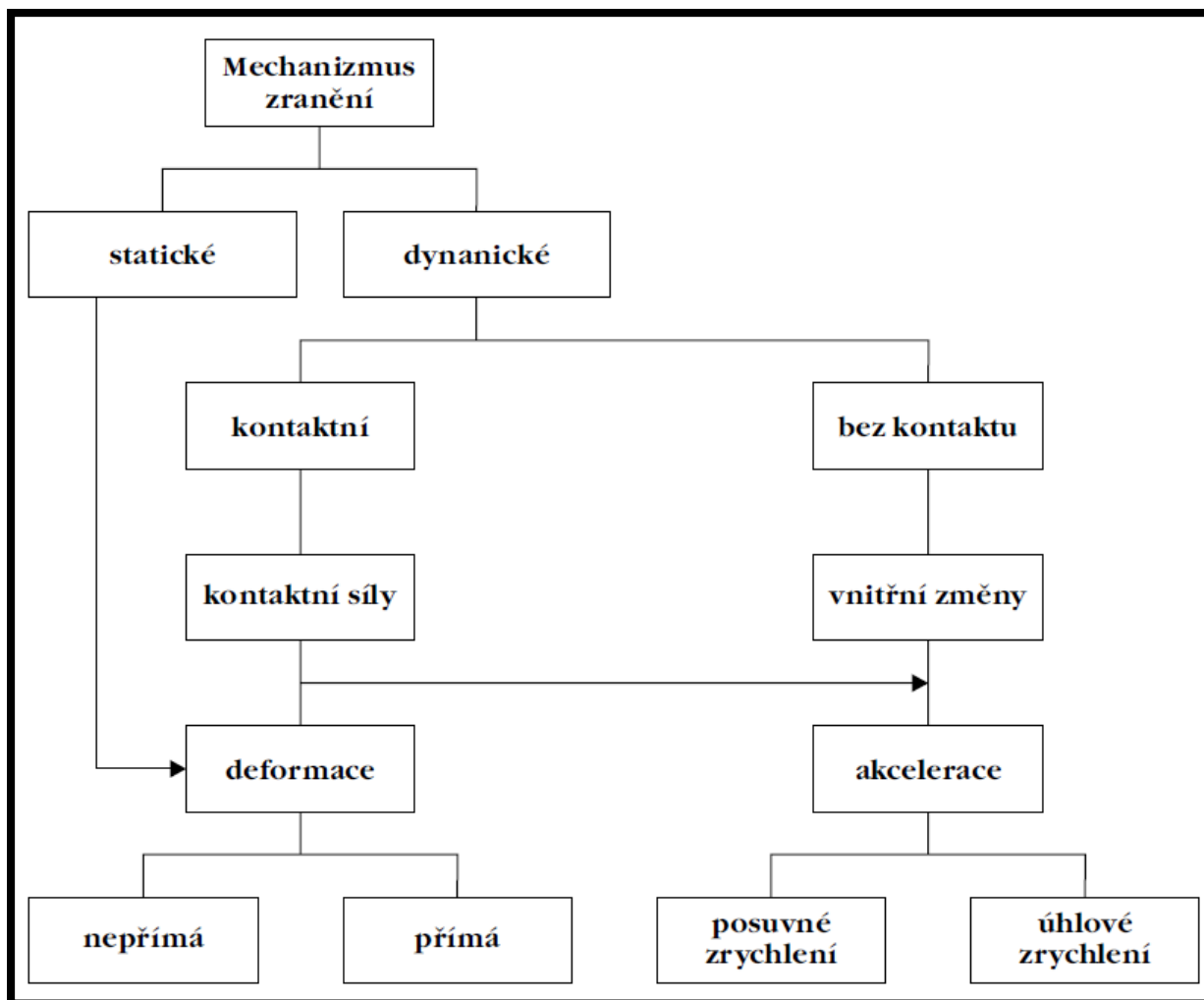


Obr. 38 - schéma zranění hlavy (Straus)

<sup>176</sup> SCHMITT ET AL., KAI-UWE, et al. *Trauma Biomechanics: Accidental injury traffic and sports*. Second Edition. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2007. 210 s. ISBN 978-3-540-73872-5.

<sup>177</sup> SCHMITT ET AL., KAI-UWE, et al. *Trauma Biomechanics: Accidental injury traffic and sports*. Second Edition. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2007. 210 s. ISBN 978-3-540-73872-5.

<sup>178</sup> STRAUS, J. Kritéria zranění člověka při extrémním dynamickém zatěžování organismu. *Pohybové ústrojí*, 18, 2011, č. 1-2, s. 18–25, ISSN 1212-4575.

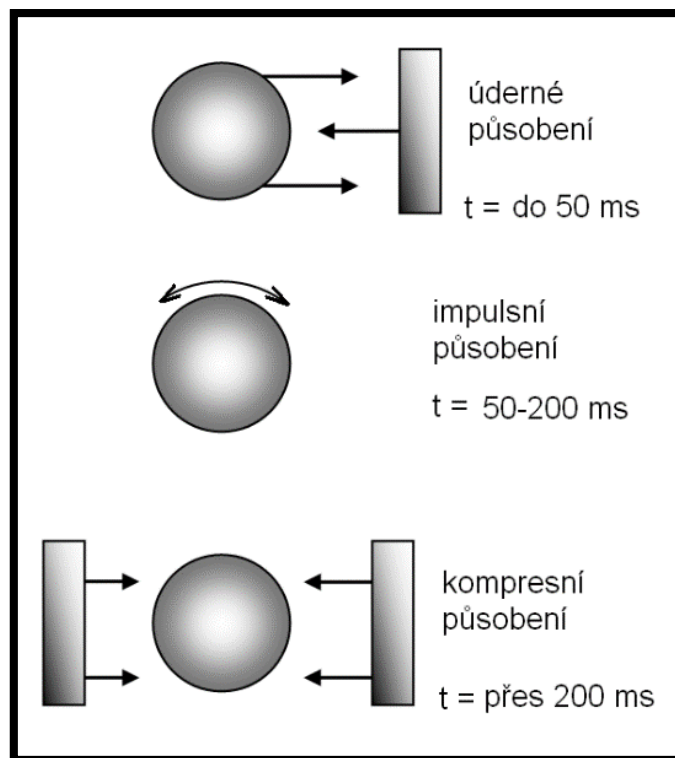


Obr. 39 - Mechanismus zranění hlavy (Straus)

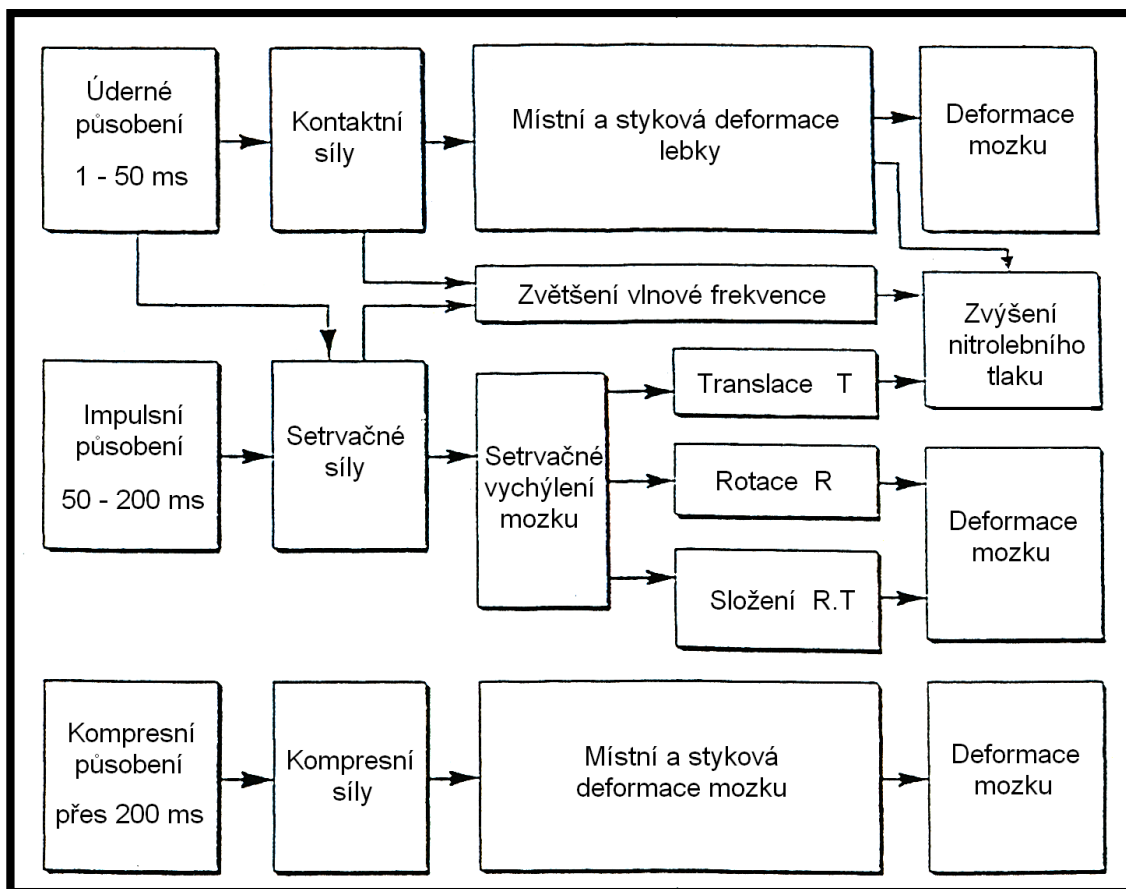
Anatomie rozděluje hlavu na dvě části – mozkovou část a obličejovou část. Lebka tvoří kulovitý komplex, který chrání mozek před vnějším poraněním. Mozek je životně důležitý orgán, jehož poranění vždy ohrožuje konkrétního jedince smrtí. Obličejová část obsahuje smyslové orgány (oči, ústa, nos), a i jejich těžké poranění může být život ohrožující.

Z hlediska biomechanického hodnocení lze rozlišit tři druhy tupého úderu do hlavy, rozlišujeme je podle impaktu (tj. úderu) při zátěži hlavy (obr. 39):

- Úderné působení:  $t \leq 50 \text{ ms}$
- Impulsní působení:  $50 \text{ ms} < t \leq 200 \text{ ms}$
- Kompresní působení:  $t > 200 \text{ ms}$



Obr. 40 - Typy úderů do hlavy (Straus)



Obr. 41 - schéma zatížení hlavy a mozku podle typu zátěže (Straus)

Značně nehomogenní struktura mozku je zřejmě příčinou neobyčejně složitého způsobu šíření tlakových vln. Vzrůst tlaku v některé části mozku často vůbec nesouhlasí s místem vnějšího úderu na lebku. To jednoznačně vyplývá z experimentů na zvířatech a na anatomických preparátech.

Při biomechanické analýze poškození mozku a lebky nás zajímají první dva druhy zatížení, tj. úderné působení (při destrukčním čase do 50 ms) a působení impulsní (destrukce lebky v čase nad 50 do 200 ms).

### **Mechanismy kraniocerebrálních traumat**

Při úrazech hlavy se uplatňují dva základní fyzikální mechanismy:<sup>179</sup>

- Translační úraz hlavy vzniká nárazem hlavy na nějaké těleso. Dojde ke vzájemnému předání kinetické energie.
- Akcelerační úraz hlavy vzniká bez přímého nárazu hlavy na jiné těleso. Rozlišujeme *lineární* a *rotační* akcelerační úrazy.

Klasifikace dle klinické závažnosti a délky bezvědomí zná tři skupiny, a to lehká, střední a těžká poranění. Dále klasifikačně dělíme kraniocerebrální traumata do dvou skupin, a to primární kraniocerebrální traumata a sekundární kraniocerebrální traumata.<sup>180</sup>

Primární kraniocerebrální traumata vznikají bezprostředně v souvislosti s traumatem. Řadíme mezi ně:

### **Fraktury lebky**

Fraktury lebky mohou být zavřené či otevřené a penetrující či nepenetrující. Dle linie lomu je dělíme na:

- lineární (pukliny, fisury);
- tříštivé (kominutivní) s impresí či elevací okrajů;
- vpáčené (impresivní).

Mozek je nejvíce poškozen v místě úrazu lebky (*coup*) a na místě protilehlém nárazu (*contre coup*).

### **Poranění mozku**

Poranění mozku může být buď primární či sekundární a fokální či difúzní.<sup>181</sup> Řadíme mezi ně:

**Otřes mozku (komoce)** – Otřes mozku (*commotio cerebri, concussion*) je náhlá krátkodobá reversibilní úrazová porucha činnosti CNS. Otřes mozku (*commotio cerebri*) vzniká častěji při tupém násilí o velké ploše než při úderu předmětem o malé ploše. Za základ tohoto stavu je považováno reverzibilní porušení membrán neuronů. Jde o funkční stav bez morfologického podkladu, nastupující okamžitě. Symptomatologie je vasomotorická a vegetativní. Závažnost otřesu je hodnocena především podle délky trvání bezvědomí. Charakteristické jsou dále následné bolesti

<sup>179</sup> NEVŠÍMALOVÁ, S., RŮŽIČKA, E., TICHÝ, J. *Neurologie*. 1. vyd. Praha: Galén, 2005. ISBN 80-7262-160-2. S. 163–170.

<sup>180</sup> NEVŠÍMALOVÁ, S., RŮŽIČKA, E., TICHÝ, J. *Neurologie*. 1. vyd. Praha: Galén, 2005. ISBN 80-7262-160-2. S. 163–170.

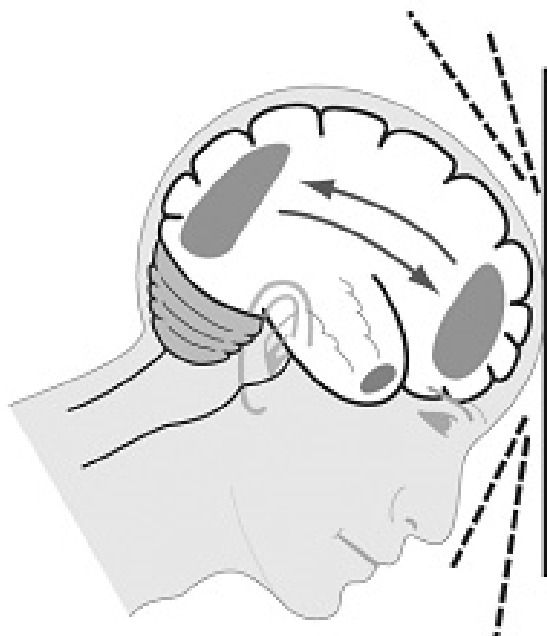
<sup>181</sup> AMBLER, Z. *Základy neurologie*. 6. vyd. Praha: Galén, 2006. ISBN 80-7262-433-4. S. 171–181. NEVŠÍMALOVÁ, S., RŮŽIČKA, E., TICHÝ, J. *Neurologie*. 1. vyd. Praha: Galén, 2005. ISBN 80-7262-160-2. S. 163–170.

hlavy, zvracení, nauzea a amnézie na dobu úrazu. Jednotlivé symptomy mohou chybět.

**Pohmoždění mozku (kontuze)** – Pohmoždění mozku (*contusio cerebri, contusion*) je morfologické poškození mozkové tkáně často spojené s krvácením. Vzniká translačním či akceleračním mechanismem poranění. Při pohmoždění dochází k četným tečkovitým i větším krevním výronkům v mozkové koře případně i v podkorové bílé hmotě. Tato ložiska tečkovitého krvácení bývají nejen v místech působícího násilí (*coup*), ale i na místě protilehlém (*contrecoup*). Lokalizace a rozsah kontuzních ložisek závisí na místě, směru, velikosti plochy a intenzitě působícího násilí. Při násilí zezadu na záhlaví převažují kontuzní ložiska na pólech a spodínách čelních a spánkových laloků (v místě *contrecoupu*). Při násilí ze strany jsou rovněž ložiska pohmoždění na protilehlé straně častější a velmi často větší než na místě násilí.

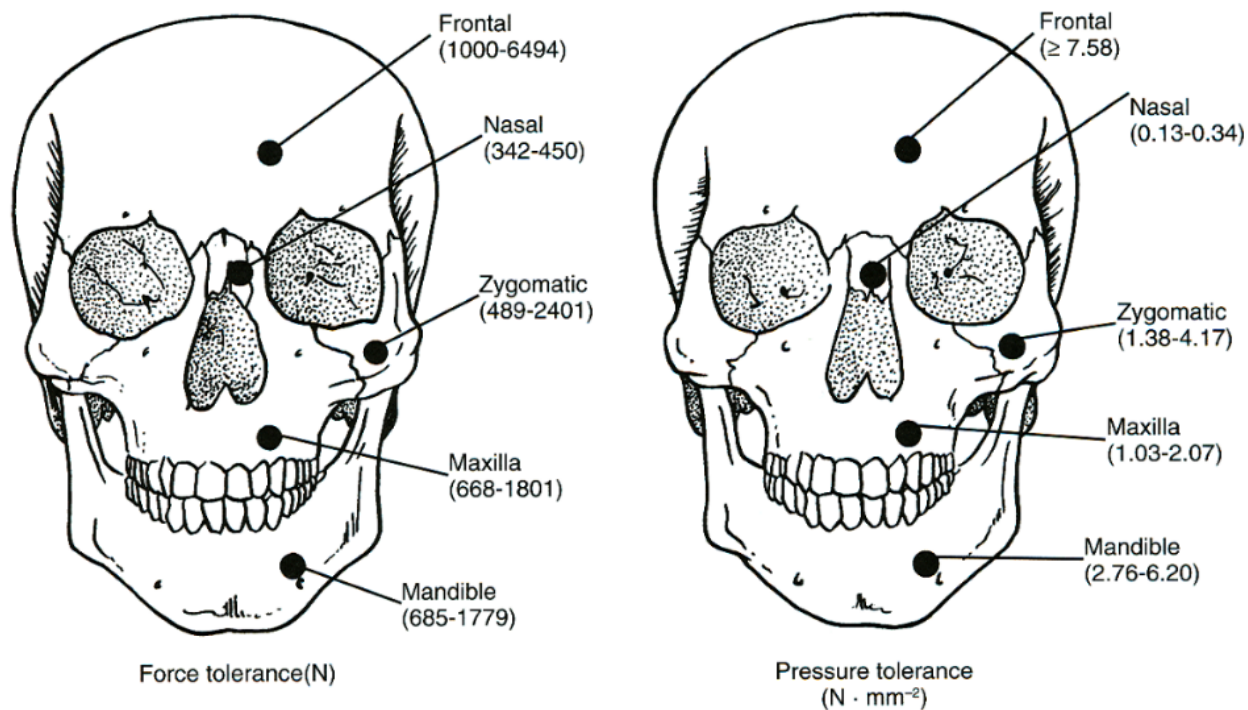
**Roztržení mozku** – Roztržení mozku (*dilaceratio cerebri*) je těžké morfologické poškození mozkové tkáně. Vzniká translačním či akceleračním mechanismem poranění a je často spojené s kontuzemi a hematomy. Mezi klinický obraz patří ztráta vědomí trávající dny, týdny i měsíce; dále jako u kontuze, ale výraznější.

**Difúzní axonální poranění** – Difúzní axonální poranění je traumatické postižení axonů. Šedá a bílá hmota mají rozdílnou specifickou hmotnost, a proto dochází při úrazu k jejich vzájemnému střížnému pohybu. Axony se natáhnou, poškodí a poté degenerují. Vzniká akceleračním mechanismem poranění. Mezi klinický obraz patří porucha vědomí s ložiskovými příznaky. Dále může být dekortikační rigidita jako odraz postižení axonů motorických drah v úrovni *capsula interna* a decelebrační rigidita jako důsledek postižení mozkového kmene.



Obr. 42 - Schéma vzniku poškození mozku v místě úrazu lebky (*coup*) a na místě protilehlém nárazu (*contre coup*)<sup>182</sup>

<sup>182</sup> <http://www.wikiskripta.eu/index.php/Soubor:DAP.jpg>



Obr. 43 - Hranice tolerance síly a tlaku pro vznik fraktury obličejových kostí lebky<sup>183</sup>

<sup>183</sup> WHITING, W. C., ZERNICKE, R. F. Biomechanics of Musculoskeletal Injury. Human Kinetics, Leeds LS16 6TR, UK, 1998.

Tab. 19 - Síly pro frakturu kostí lebky<sup>184</sup>

Kost	Rozsah [N]	Průměr [N]	Počet vzorků	Plocha impaktu [ $cm^2$ ]
Frontální	2670-8850	4930	18	6.45
Frontální	4140-9880	5780	13	6.45
Frontální	2200-8600	4780	13	ø20mm
Frontální	5920-7340	6370	4	ø6.4mm
Frontální	8760-8990	8880	2	ø25.4mm
Frontální	N/A	6550	1	ø50.8mm
Frontální	N/A	6810	1	203mm poloměr polokoule
Frontální	4310-5070	4690	2	76mm poloměr polokoule
Frontální	N/A	5120	1	ø50.4mm
Levá část čela	2670-4450	3560	2	ø25.4mm
Temporo-parietální	2215-5930	3490	18	6.45
Temporo-parietální	2110-5200	3630	14	6.45
Temporo-parietální	2500-10000	5200	20	5.07
Temporo-parietální	10976-11662	11388	3	176
Parietální	5800-17000	12500	1	50
Zygomatický oblouk	930-1930	1450	11	6.45
Occipitalni	4655-10290	7272	4	176

<sup>184</sup> VESELÝ, V., VILÍMEK, M. Head Injury Biomechanics I - Head and Neck Injury. *Bulletin of Applied Mechanics* 8(32), s. 65–76 (2012).

Tab. 20 - Síly pro fraktury kostí obličeje<sup>185</sup>

Kost	Rozsah [N]	Průměr [N]	Počet vzorků	Plocha impaktu [cm <sup>2</sup> ]
Dolní čelist	1890-4110	2840	6	6.5
Dolní čelist	818-2600	1570	6	25.8
Dolní čelist	4460-6740	5390	5	127
Horní čelist	623-1980	1150	11	6.5
Horní čelist	1100-1800	1350	6	ø20mm
Horní čelist	788	788	1	ø25mm
Lícní	970-2850	1680	6	6.5
Lícní	910-3470	1770	18	6.5
Lícní	1120-1660	1360	4	6.5
Lícní	1600-3360	2320	6	33.2
Lícní	2010-3890	3065	4	ø25mm
Lícní	900-2400	1740	8	ø20mm
Lícní	1499-4604	2390	13	ø25mm
Lícní	1452-2290	1739	4	volant
Nosní	1875-3760	2630	5	ø25mm
Obličej	—	>6300	5	181
Oční oblouk	4780-11040	8000	19	ø41mm

### Kritéria pro zranění hlavy

V biomechanické literatuře o poranění hlavy a mozku jsou definovány hodnotové žebříčky pro zranění hlavy. Mezi nejznámější a nejfrekventovanější patří – AIS škála, HIC, GSI. Většina parametrů zranění je založena na rychlostech, zrychleních, přemístěních a silách působících na objekt. Některé parametry zranění potřebují matematické vyhodnocení časového průběhu. Nejznámější parametry zranění:

- Gadd severity index (GSI)
- Head injury criterion (HIC)
- 3 ms Criterion (3MS)
- Thoracic trauma index (TTI)
- Viscous injury response (VC)
- Axial loads

Parametry zranění HIC, GSI a 3MS jsou vypočítány na základě zrychlení jednotlivých částí těla. Parametr TTI je vypočítán na základě zrychlení dvou částí těla.

<sup>185</sup> VESELÝ, V., VILÍMEK, M. Head Injury Biomechanics I - Head and Neck Injury. *Bulletin of Applied Mechanics* 8(32), s. 65–76 (2012).

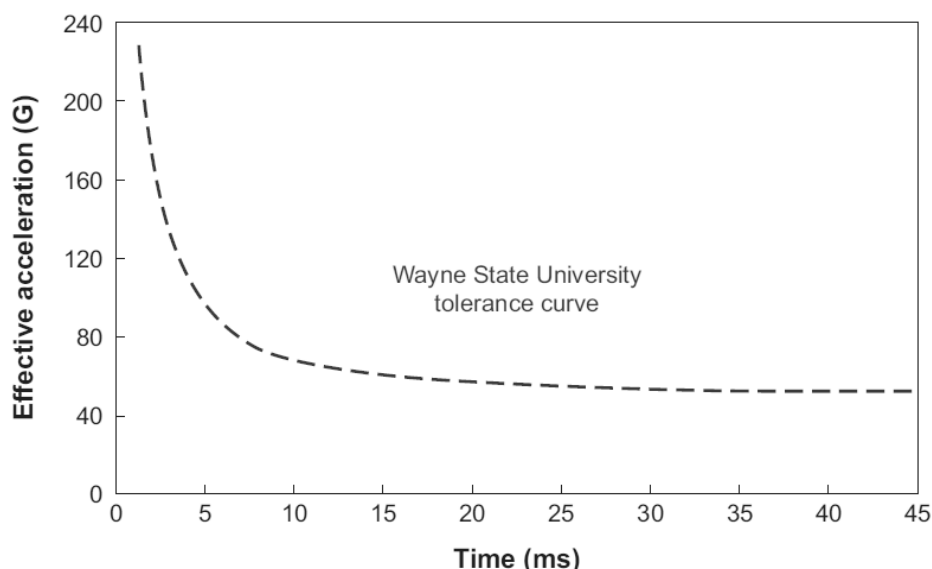


Gadd severity index (GSI) – Gaddův index zranění – Tolerance vyjádřená hodnotou zrychlení.

První rozsáhlejší kvantifikace hodnot zrychlení a časového účinku přetížení při zraněních vzniklých v oblasti hlavy v době dopravní nehody byla vyjádřena pomocí WSTC (Wayne state tolerance curve). WSTC určuje vzájemný vztah mezi přetížením a délkou trvání přetížení. Kombinací těchto dvou faktorů vznikají poranění různé intenzity. WSTC popisuje takové kombinace přetížení a trvání přetížení, při nichž vznikají zranění životu nebezpečná (hranice smrti).

Podkladem pro vypracování této křivky byly tři oblasti silového působení:

- přetížení trvající 1–6 ms (krátký impuls) nevyhnutelné pro vznik fraktury lebky (většinou spojené s otřesem mozku). Objekt zkoumání byly lidské mrtvoly,
- přetížení trvající 6–10 ms (středně dlouhý impuls). Objekt zkoumání – porovnání odezvy u lidských mrtvol a zvířecího mozku,
- dlouhý impuls. Objekt zkoumání – dobrovolníci. Takovéto přetížení nezpůsobilo žádné zranění. Na základě těchto měření byla sestrojena asymptota křivky (původně pro 42, později byla tato hodnota ustálena na 80 g).



Obr. 44 - Graf GSI, závislost decelerace hlavy<sup>186</sup> (svíslá osa, násobky g) na čase zatížení, vodorovná osa (čas v sekundách)

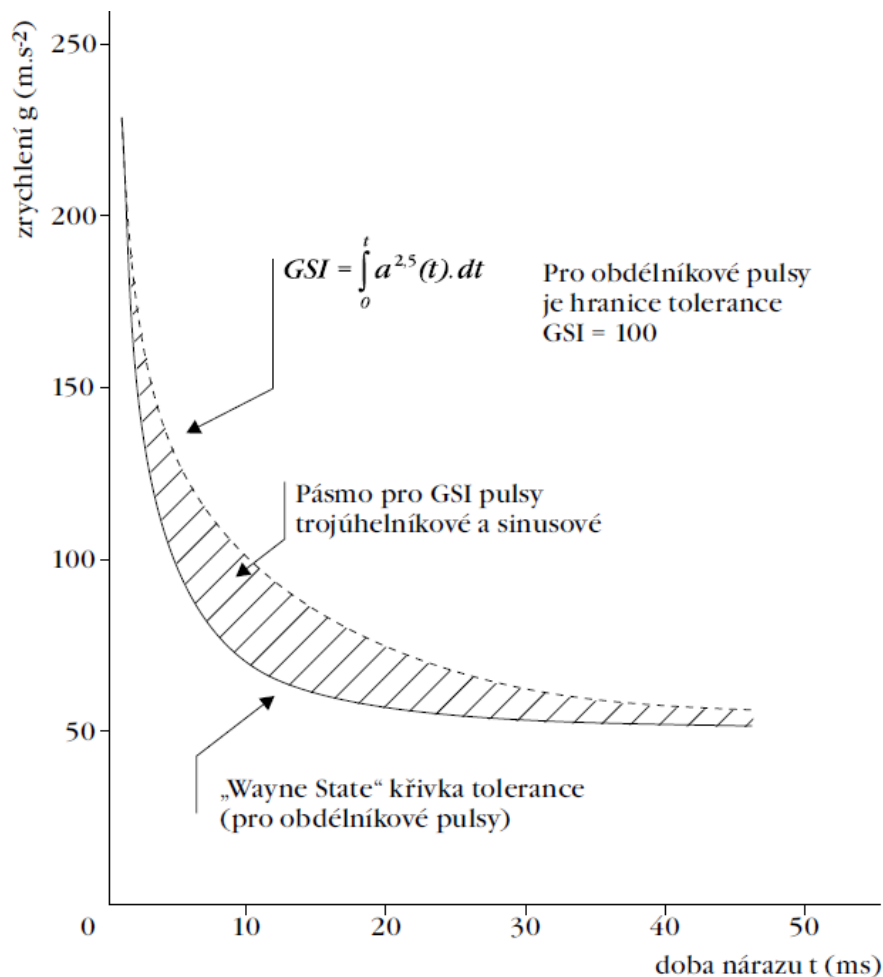
Na obrázku 19 je vidět závislost mezi decelerací hlavy v čase, hodnoty pod křivkou 1000 jsou přežitelné, hodnoty nad křivkou 1000 vytvářejí podmínky pro netolerovatelné zatížení.

$$GSI = \int_0^t a^{2.5}(t).dt$$

kde **a** je zrychlení při nárazu. Tento index signalizuje, že při překročení kritické hodnoty  $GSI \geq 1000$  vznikají podmínky pro počátek netolerovaného nebezpečného tupého nárazu. Gadd uvádí, že pro otřes při čelním nárazu je maximální přípustná hodnota

<sup>186</sup> HAYES, W. C., ERICKSON, M. S., POWER, E. D. Forensic Injury Biomechanics Annu. Rev. Biomed. Eng. 2007, 9, s. 55–86.

$GSI = 1000$ . Pokud se jedná o nekontaktní náraz, je maximální přípustná hodnota rovna 1500.



Obr. 45 - Závislosti „Wayne State of Tolerance“ a „GADD Index of Severity“ pro obdélníkové pulsy efektivního zrychlení a pásmo pro pulsy pilovité (trojúhelníkové) a sinusové<sup>187</sup>

Úpravami byly získány závislosti:

$$1000 = T \cdot A^{2,5}$$

$$15,85 = A \cdot T^{0,4}$$

Gadd tímto vytvořil první křivku pro predikci tolerance lidského organismu pro přežití. Matematické vyjádření má některá svá negativa. Jednak vyjadřuje pravděpodobné hodnoty odolnosti mozku, které se nejvíce přibližují reálným hodnotám a dále je velmi komplikovaná pro výpočet.

<sup>187</sup> STRAUS, J. Biomechanical analysis of selected types of dynamic head load. Pohybové ústrojí, ročník 19, 2012, č. 3, s. 331. STRAUS, J. *Kinematic and dynamic analysis of blow biomechanics*. Sborník, 5th European Academy of Forensic Science. University of Strathclyde, Glasgow, Scotland UK, 2009, s. 107.

Patrick et al. se snažil nalézt efektivní zpoždění, prováděl experimenty s vojáky. Prokázal, že vztahy a křivka jsou použitelné pro rozhodnutí „ano/ne“ při akceleraci hlavy a přetížení mozku.

Například pro zpoždění hlavy 46 g po dobu 70 ms lze zaznamenat v grafu SI jako bod, uspořádaná dvojice [46; 0,07], tento bod lze zakreslit do grafu SI a porovnat s limitní křivkou tolerance. Alternativně je posoudil, zda puls překročí hranici tolerance

$$(0,07) \cdot (46)^{2,5} = 1005$$

Nebo ekvivalentně

$$(46) \cdot (0,07)^{0,4} = 15,88$$

První hodnota překročí kritickou hodnotu 1000 a druhá rovnice opět překročí kritickou hranici 15,85. Rovnice vyjadřuje specifickou hranici tolerance organismu na vnější zátěž. Z hlediska matematického hodnocení je výhodné a velmi přesné vyjádřit závislost tolerance organismu ve tvaru integrální rovnice:

$$100 = \int_0^t a^{2,5} dt$$

Limitní tolerance organismu je možné vyjádřit v ekvivalentní formě, kde exponent může být v různé hodnotě, například:

$$10^6 = T^2 \cdot A^5$$

$$3,98 = \frac{\sqrt{A}}{T^5}$$

V literatuře jsou publikovány studie, které se snažily vyjádřit toleranci organismu na vnější zátěž co nejpřesněji. Srovnáním dvou závislostí:

$$K = T \cdot A^{3,6}$$

$$1000 = T \cdot A^{2,5}$$

Podle grafu xy je zřejmé, že existuje společný bod pro impakt, který vyhovuje oběma vztahům. Obecně uznávaný vztah pro exponent 2,5 není jediná hodnota, toleranci organismu lze vyjádřit několika možnými způsoby pro omezený interval 30–100 ms. Michiganská univerzita publikovala možnosti nahrazení Wayne State funkce:

<b>Konstanta</b>	<b>Mocnina</b>	<b>Poznámka</b>
1000	2,5	Wayne State křivka tolerance - od 2 ms do 400 ms, pro 23 g při 400 ms překračuje hranici tolerance
3780	2,9	Pro hodnoty nad 4 ms jsou výsledky nepatrně větší, nad hodnotou tolerance
9580	3,2	Velmi přesná hodnota pro hodnotu impaktu 7 ms
30,8	1,9	Velmi přesná hodnota pro menší impakt než 12 ms
6737	2	Versace korekce, do 30 ms, zrychlení vyjádřeno v m.s <sup>-2</sup>

Vyjádřit křivku biologické tolerance se snažil Versace<sup>188</sup> několika způsoby, snažil se nalézt co nejpřesnější křivku a matematický výraz výpočtu. Gaddův index<sup>189</sup> a Wayne State Tolerance byly pro potřeby soudního inženýrství nahrazeny Gaddovou aproximací, někdy označovanou také jako Versace korekce. Versace navrhl několik empirických korelací WST křivky, která se později označuje jako Gaddova aproximace. Jedna z těchto aproximací je taková, kde exponent 2,5 byl nahrazen jednoduše exponentem 2. Taková funkce zní:

$$GSI_{\text{aprox}} = \int_0^t a^2(t) dt$$

### Head injury criterion (HIC) – Biomechanické kritérium poranění hlavy

Jako reakce srovnání WSTC a GSI byl definován nový parametr zranění HIC. Poranění hlavy je způsobeno buď vnějšími, nebo setrvačnými silami. Vnější síly statické jsou z pohledu poranění hlavy takové, které nemění svou velikost v čase větším než 200 ms, dynamické účinky působí v čase kratším než 50 ms a jejich původem může být vnější rázová síla nebo změna pohybového stavu soustavy.<sup>190</sup> Nejčastěji používaným biomechanickým kritériem pro poranění hlavy je kritérium HIC. Vstupem do tohoto kritéria jsou hodnoty zrychlení naměřená z akcelerometrů, jež jsou umístěny v hlavě zkušební figuríny. Výpočet je prováděn integrálem z výsledného zrychlení v určitém časovém intervalu:

$$HIC = \left[ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a dt \right]^{2,5} (t_2 - t_1)$$

**a** - celkové zrychlení hlavy (v násobcích g), **t<sub>2</sub> - t<sub>1</sub>** - doba impaktu ( $t_2 - t_1 < 36$  ms)

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

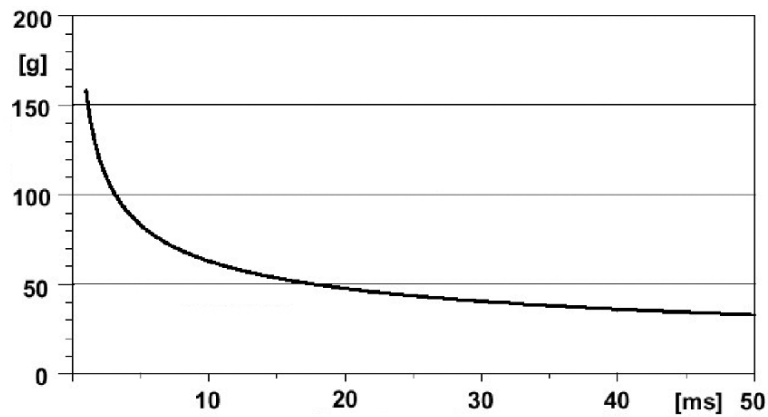
Došlo-li ke kontaktu hlavy s pevnou překážkou, uvažuje se šíře tohoto intervalu 15 ms (HIC<sub>15</sub>). Nedošlo-li ke kontaktu hlavy, uvažuje se šíře intervalu 36 ms (HIC<sub>36</sub>).

Empirická data, získaná při mnoha různých měřeních tupých nárazů lebky, byla využita jako podklad ke stanovení tolerance lebky na trauma a shrnuta do sumární tzv. „Wayne State“ křivky tolerance.

<sup>188</sup> VERSACE, J. *A Review of the Severity Index*. Ford Motor Co, New York: Society of Automotive Engineers, 1999.

<sup>189</sup> GADD, C. W. Use of weighted impulse criterion for estimating injury hazard. In: Proc. Tenth Stapp Car Crash Conf., New York: Soc. Auto Engrs., 195, 1966.

<sup>190</sup> SVÍTEK, M., KOVANDA, J., STÁREK, T., TVRZSKÝ, T., DUDEK, J., MANĎÁK, M., LOKAJ, Z. Výzkum způsobu odhadu následků dopravních nehod a jejich využití v systému eCall. *Projekt výzkumu a vývoje* č. CG911-102-702, 2011, Roční zpráva 2010, s. 25.



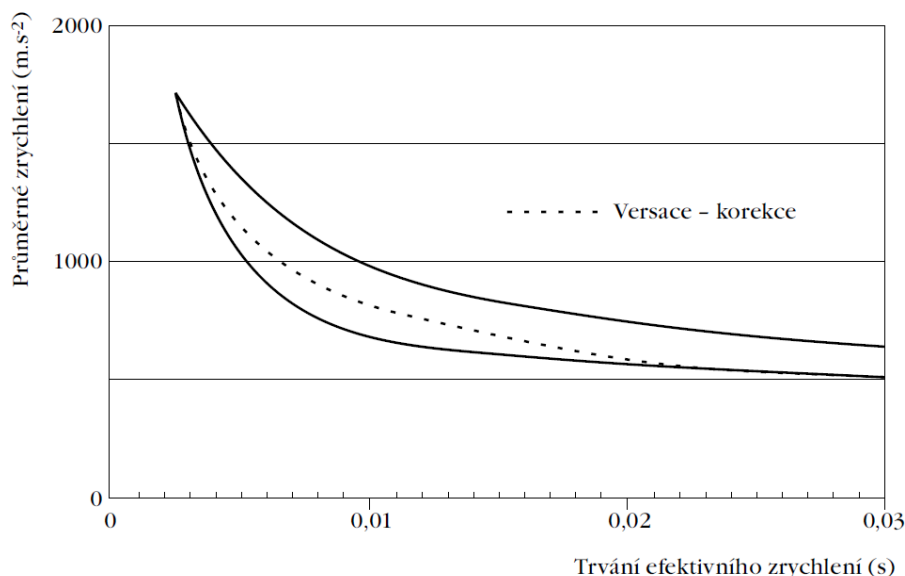
Obr. 46 - „Wayne State“ křivka tolerance při „tupém nárazu“ na lebku<sup>191</sup>

### Versaceho korekce

Gaddův index a Wayne State Tolerance byly pro potřeby forenzní biomechaniky nahrazeny Gaddovou aproximací, někdy označovanou také jako Versaceho korekce. Versace navrhl několik empirických korelací WST křivky, která se později označuje jako Gaddova aproximace. Jedna z těchto aproximací je taková, kde exponent 2,5 byl nahrazen jednoduše 2. Taková funkce:

$$GSI_{\text{aprox}} = \int_0^t a^2(t) dt$$

V rovnici Versaceho korekce<sup>192</sup> je hodnota záporného zrychlení  $a$  vyjádřena v jednotkách metrů za sekundu na druhou, na obr. 47 je uvedena Versaceho korekce spolu s původní WST křivkou a Gaddovou aproximací.



Obr. 47 - Porovnání WST křivky s aproximacemi, Versaceho korekce<sup>193</sup>

<sup>191</sup> Podle SCHMITT, K. U., NIEDERER, P., MUSER, M., WALZ, F. *Trauma Biomechanics*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004, 2007, ISBN 978-3-540-73872-5.

<sup>192</sup> VERSACE, J. *A Review of the Severity Index*. Ford Motor Co, New York: Society of Automotive Engineers, 1999.

<sup>193</sup> VERSACE, J. *A Review of the Severity Index*. Ford Motor Co, New York: Society of Automotive Engineers, 1999. STRAUS, J. Biomechanical analysis of selected types of dynamic head load. *Pohybové ústrojí*, ročník 19, 2012, č. 3, s. 331. STRAUS, J. *Kinematic and dynamic analysis of blow*

Bylo pozorováno, že rovnice Versaceho korekce lépe vystihuje rozsah hodnot od 5 do 30 ms než Gaddova rovnice. Důležitější je, že tato aproximace může mít významný fyzikální dopad. Rovnice GSI může být přepsána jako:

$$\frac{v^2}{t} = 6737$$

kde  $v$  je změna rychlosti hlavy. Toto vyjádření používá jednotky, které jsou v přímém vztahu ke kinetické energii nebo k výkonu. Toto pozorování je založeno na hypotéze, že zranění hlavy koreluje k velikosti změny kinetické energie během dopadu. Tuto myšlenku poprvé popsal Di Lorenzo před 30 lety. Bohužel v této době byla dostupná pouze neúplná data pro odvození nové funkce pro zranění hlavy. Ve skutečnosti byl koncept zaměřen ke zjištění optimálního tvaru křivky zrychlení.

Jak pro *GSI*, tak i pro *HIC* je mezní hodnota pro čelní náraz rovna 1000. Z praktických důvodů byl maximální interval  $t_2 - t_1$  pro *HIC* stanoven na 36 ms. Tento interval značně ovlivňuje výpočet *HIC*. V dalším byl tento interval znovu redukován na 16 ms s tím, že *HIC* se omezí na výpočet pro těžké nárazy do hlavy.

Omezení *HIC* jsou:

- *HIC* uvažuje pouze zrychlení, zatímco biomechanická odezva hlavy zahrnuje také úhlový pohyb hlavy, který má také za následek poranění hlavy,
- *HIC* je použitelné pouze pro tvrdý náraz hlavy, tudíž je trvání rázu limitováno,
- *HIC* je založeno na WSTC metodě, která je odvozena pouze od zatížení v předozadním směru.

I přes tyto nedostatky je *HIC* běžně použitelným kritériem při poraněních hlavy v automobilovém výzkumu. Umožňuje rozlišit a predikovat biomechanickou odezvu v případě kontaktního a nekontaktního přetížení.

Ve forenzní biomechanice se objevují snahy o exaktní vyjádření hranice tolerance organismu na vnější zátěž, jsou to např. škály AIS, hodnoty *GSI*, *HIC*, Versaceho korekce. Podle literárních údajů je možné analyzovat vztah mezi *HIC* a AIS (Abbreviated Injury Scale).

### **AIS – škála zranění**

Parametr zranění lze chápat jako fyzikální parametr nebo funkce několika fyzikálních parametrů, které vyjadřují intenzitu zranění části těla. V odborné literatuře se lze setkat s řadou systémů a bodového hodnocení zranění organismu. Poměrně frekventovaný je systém anatomického číselného vyjádření zranění popisující zranění z hlediska jeho anatomického umístění, typu zranění a intenzitu. Nejznámějším celosvětově uznávaným anatomickým číselným vyjádřením zranění je Abbreviated Injury Scale (AIS)-redukováná škála zranění. AIS škála zranění byla stanovená pro zranění vznikající při nárazu. AIS rozeznává následující úrovně zranění následovně:

0 – bez zranění, 1 – lehké zranění, 2 – střední zranění, 3 – vážné zranění, 4 – těžké zranění, 5 – kritické zranění, 6 – maximální zranění (zranění nelze přežít).

Uvedená škála popisuje zranění z medicínského hlediska, popis z technického a biomechanického hlediska se zatím řeší. Biomechanická tolerance je velikost

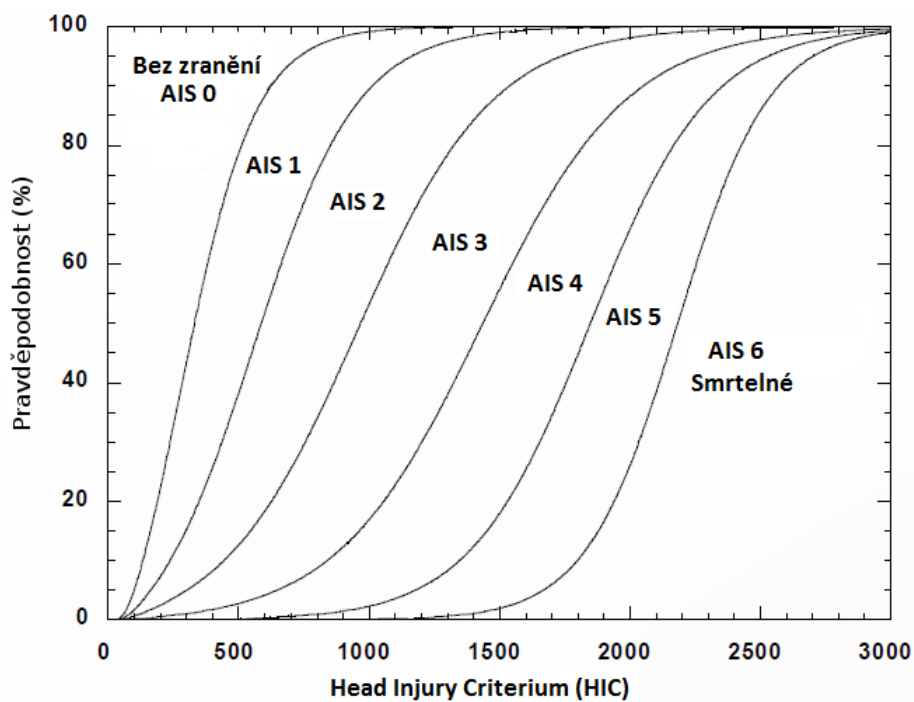
---

*biomechanics*. Sborník, 5th European Academy of Forensic Science. University of Strathclyde, Glasgow, Scotland UK, 2009, s. 107.

biomechanické odezvy lidského těla při dynamickém zatížení, která způsobuje určitou intenzitu zranění, často se tato hodnota definuje jako jeden stupeň AIS škály.

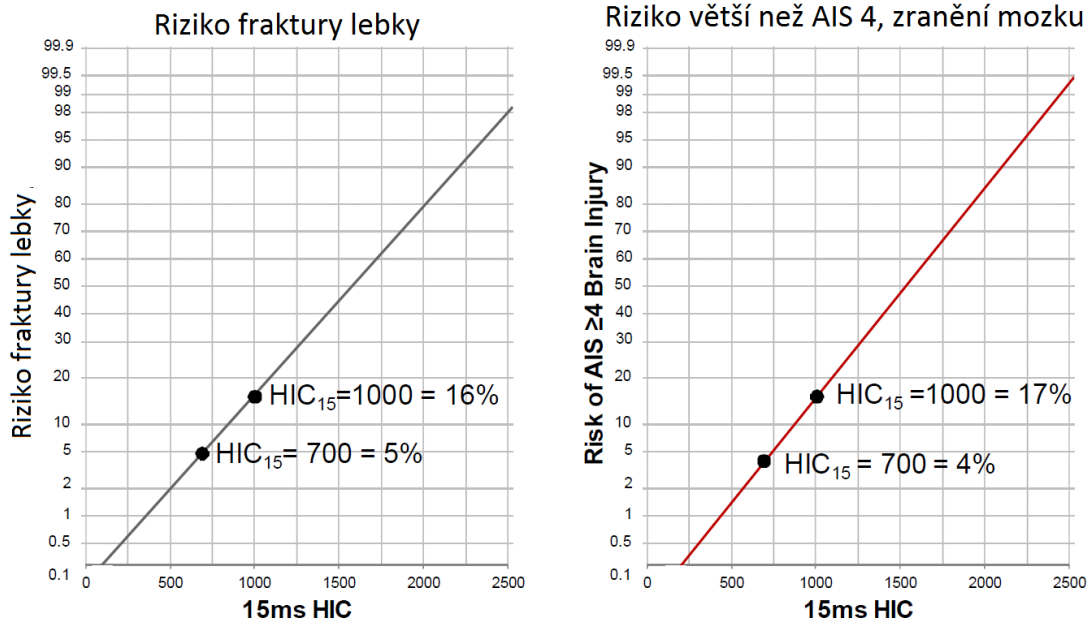
Parametr zranění může být definovaný jako biomechanický index závažnosti zranění, který predikuje vlastnosti rázu (predikce extrémního dynamického zatížení organismu) ve vztahu ke vzniku zranění. Ve forenzní biomechanice bylo vytvořeno několik metod řešení parametrů zranění, nalezení správného kritéria zranění zdokonaluje chápání mechanismu poranění a situací, při kterých zranění nastává. Parametry zranění popisují také podmínky zatížení v průběhu úderu nebo nárazu lidského těla na pevnou překážku.

Závažné, avšak nikoliv život ohrožující, zranění může vzniknout, pokud HIC přesáhne hodnotu 1000. Prasad a Mertz (1985) navrhli pravděpodobnostní křivku, která při HIC = 1000 uvádí, že 16 % populace by utrpělo závažné až smrtelné zranění. Evidentně je toto kritérium použitelné pro bezpečnost v automobilovém průmyslu nebo k vývoji ochranných pomůcek, např. přileb. Nicméně existuje další přístup, který přidává rovněž rotační zrychlení a tvrdí, že toto nelze opominout při posuzování difúzních axonálních poranění mozku. K datu psaní této studie ovšem zůstává HIC jediným platným kritériem pro zranění hlavy (FMVSS 208) a pokusy o jeho náhradu byly neúspěšné.<sup>194</sup>



Obr. 48 - HIC kritéria ve vztahu k míře poškození lidského organismu

<sup>194</sup> KING, A. I., VIANO, D. C. Chapter 6: Mechanism of Head/Neck. In: Biomechanics: Principles and Applications (2nd Edition). Boca Raton: CRC Press, 2008, s. 4.



Obr. 49 - Predikce poranění pro impakt 15 ms (HIC15). HIC15 je standardně přijímané kritérium poranění hlavy<sup>195</sup>

Výsledná hodnota HIC by neměla překročit hodnotu 1000, která vznikla historickým vývojem výzkumu poranění hlavy z hlediska působících zrychlení. V následující tabulce jsou zmapovány intervaly hodnot parametru HIC na stupnici AIS:

Tab. 21 - Přřazení intervalů kritéria HIC k hodnotám škály AIS

HIC	AIS
do 270	0 – bez zranění
do 360	1 – lehké zranění
do 900	2 – střední zranění
do 1150	3 – vážné zranění
do 1400	4 – těžké zranění
do 1600	5 – kritické zranění
přes 1600	6 – maximální zranění

Data byla získána při nárazech lidské lebky čelem na plochý tuhý povrch, analogicky i u psů a opic. Získané hodnoty se v biomechanické literatuře používají ve formě „Wayne State“ křivky a GSI i pro jiné směry nárazu a i pro jiné orgány.

„Wayne State“ křivka a tolerance „SI“ vymezují hranice tolerance při zpoždění lebky, resp. pro nitrolební tlaky, jejichž změny jsou rozhodující pro snesitelné či životu nebezpečné smykové síly vzniklé při nárazu, jež poškozují mozek v důsledku deformace lebky a setrvačných sil.

Jako kritérium tolerance byla vzata fraktura lebky u pulsů 2–5 ms (mrtvoly) a u živých dobrovolníků bylo kritérium bezvědomí či lehký otřes mozku u pulsů

<sup>195</sup> MERTZ, H. J., PRASAD, P., IRWIN, A. L. Injury risk curves for children and adults in frontal and rear collisions. Paper presented at: SAE CONFERENCE PROCEEDINGS P1997.



přibližně nad 40 ms. Zrychlení (zpomalení) lebky bylo obvykle měřeno na opačné straně hlavy než způsobil náraz.

Při biomechanickém posuzování poškození lebky je velmi praktický a užitečný výše uvedený SI – index ochrany cestujících, který rovněž odděluje při dosažení kritické hodnoty SI = 1000 vážné a smrtelné úrazy lebky od úderů, jež lze přežít. Na obr. 46 jsou znázorněny obě závislosti („Wayne State of Tolerance“ a „GADD Index of Severity“) pro obdélníkové pulsy efektivního zrychlení a pásmo pro pulsy pilovité (trojúhelníkové) a sinusové. Využití obou semiempirických závislostí je vždy vhodné konfrontovat s údaji v tabulce „Lidské tolerance těla při nehodě“. Podle analýzy literárních zdrojů můžeme uvést detailnější hodnoty HIC.<sup>196</sup> Nejaktuálnější normy byly založeny v roce 2002 a jsou uvedeny v tabulce.<sup>197</sup>

Tab. 22 - Lidská tolerance těla při nehodě

	Muž	Žena	Dítě 6 let	Dítě 3 roky	Dítě 1 rok
HIC <sub>15</sub>	700–1000	700–1000	700–1000	570	390

Jeden z největších problémů experimentálního měření s použitím figurín je interpretace naměřených hodnot (HIC kritéria) ve vztahu k míře poškození lidského organismu. Tímto problémem se zabýval Prasad a Mertz a v roce 1985 publikovali křivku, která popisuje závislost hodnoty HIC kritéria na míře zranění hlavy člověka v procentech (obr. 48).

Hodnota HIC<sub>15</sub> = 1000 je ekvivalentní s 18% možností zranění AIS 4, 55% možností zranění AIS 3 a 90% možností zranění s rozsahem AIS 2 průměrného člověka. Jakým způsobem se bude měnit procentuální možnost zranění skrze celé spektrum populace není doposud známo.

Pro hodnocení poranění traumatologického nálezu bylo využito stupnice AIS (Abbreviated Injury Scale), která je založena na anatomicko-klinickém posouzení poranění. Kritérium posuzování měření nebo modelování je korelace fyzikálních veličin s AIS.

<sup>196</sup> EPPINGER, R. et al. Development of Improved Injury Criteria for the Assessment of Advanced Automotive Restraint System-II. NHTSA, Nov. 1999, March 2000.  
<http://www.mchenrysoftware.com/HIC%20and%20the%20ATB.pdf> [online]. 2000 [cit. 2011-02-08].

<sup>197</sup> EPPINGER, R., SUN, E., KUPPA, S., SAUL, R. Reports to National Highway Safety Administration, 2000. Supplement: Development of improved injury criteria for the assessment of advanced automotive restraint systems-II. Retrieved March 23, 2005 from [http://www-nrd.nhsta.dot.gov/pdf/nrd-11/airbags/finalrule\\_all.pdf](http://www-nrd.nhsta.dot.gov/pdf/nrd-11/airbags/finalrule_all.pdf)

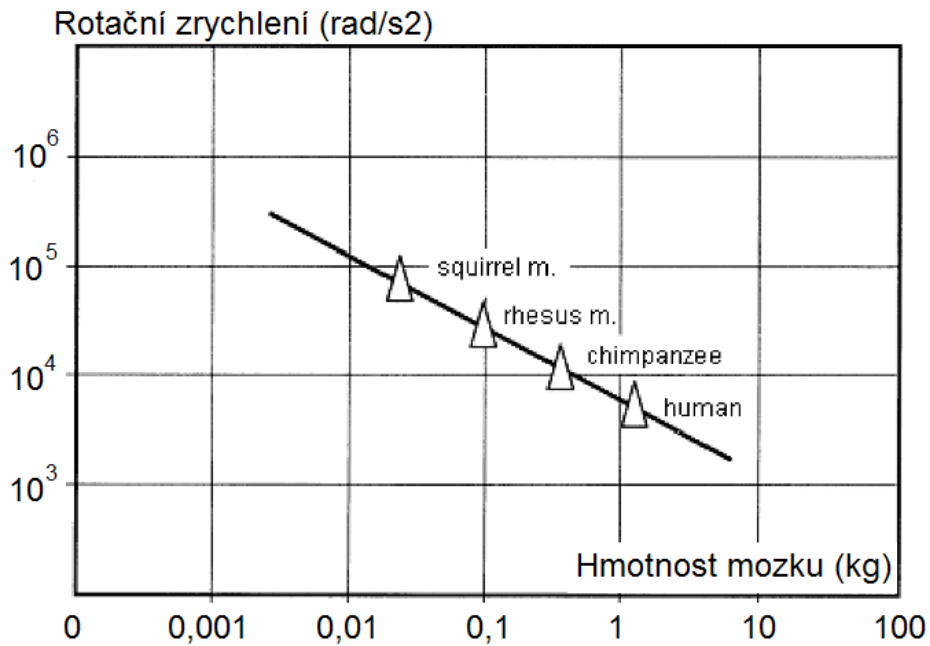
Tab. 23 - Abbreviated Injury Scale

AIS	KATEGORIE	POPIS ZRANĚNÍ
0	Bez zranění	-----
1	Malé zranění	Lehká zranění mozku s bolestí hlavy, závratí, bez ztráty vědomí, lehké zranění krku, oděrky, pohmožděniny
2	Střední zranění	Otřes mozku s/bez fraktury lebky, bezvědomí do 15 minut, drobné trhliny rohovky, odchlípnutí sítnice, lehké zlomeniny nosu a kůstek obličeje
3	Závažné zranění	Otřes mozku s/bez fraktury lebky, bezvědomí nad 15 minut bez těžkých neurologických poškození, ztráta zraku, posun a/nebo otevřená zlomenina obličejových kůstek, zlomenina krční páteře bez poškození míchy
4	Velmi závažné zranění	Vnitřní zlomeniny, posun, vtlačení s vážnými neurologickými následky
5	Kritické zranění	Otřes mozku s/bez fraktury lebky, bezvědomí nad 12 hodin s krvácením do mozku a/nebo známky kritického neurologického poranění, ochrnutí
6	Smrtelné zranění	Smrt, částečné nebo úplné zničení kmene mozkového nebo částí páteře následkem tlaku nebo roztržení, zlomení a/nebo zkroucení horních částí krční páteře s poraněním míchy

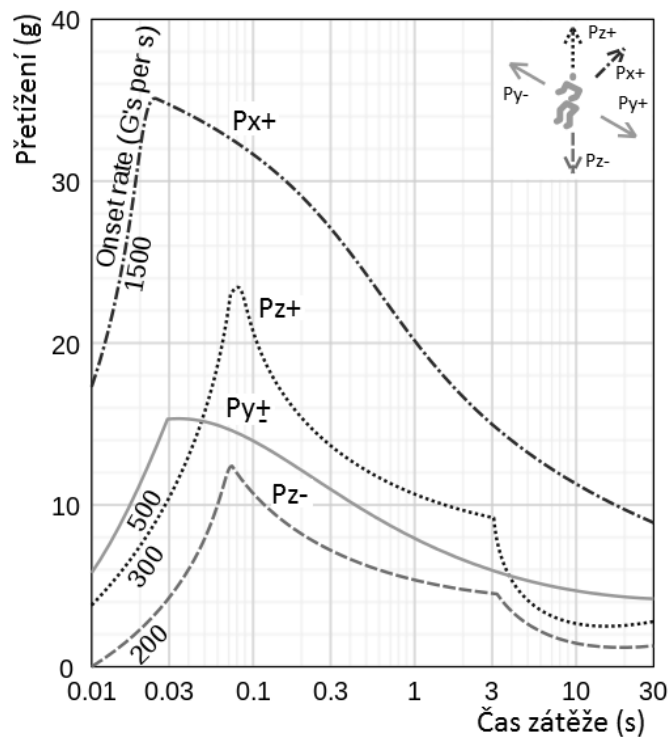
### Kritické hodnoty poškození lebky a mozku

Kritické hodnoty naměřené různými autory jsou často rozdílné. Dále uváděný přehled hodnot má proto hlavně význam informativní. Příklady různých kritických hodnot tolerance, shromážděné od různých autorů na základě jejich mechanických a traumatických poznatků, uvádí přehledně tabulka 23.<sup>198</sup>

<sup>198</sup> STRAUS, J., Tolerance lebky a mozku na vnější mechanické působení. *Soudní inženýrství*, 18, 2007, č. 1, s. 42–49.



Obr. 50 - Vztah pro rotační zrychlení hlavy a toleranci organismu – Rotační zrychlení<sup>199</sup>



Obr. 51 - Přetížení hlavy při různých směrech zatížení, hranice pro toleranci mozku<sup>200</sup>

<sup>199</sup> SCHMITT, K. U. et al. *Trauma Biomechanics: Accidental injury traffic and sports*. Second Edition. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2007. S. 72, ISBN 978-3-540-73872-5.

<sup>200</sup> <http://aupress.maxwell.af.mil/Books/Brulle/Brulle.pdf>

Tab. 24 - Příklady různých kritických hodnot tolerance<sup>201</sup>

	<b>Maximální hodnota zrychlení (m.s<sup>-2</sup>)</b>	<b>Autor</b>
<b>Otřes mozku (comotio cerebri)</b>	a = 350 g	Schneider podle Ziffer (1955, 1957, 1964)
	a = 300-600 g (zvířata)	Chandler (1953)
	a = 280-400 g (opice, kočky) a = 80-120 g ( člověk)	Sellier-Unterharnscheidt (1962)
<b>Tlak intrakraniální (Pa)</b>		
	147 150 Pa po dobu 6-12 ms	Lissner-Gurdjian (1966)
	206 010 Pa po dobu do 6 ms	Patrick (1966)
<b>Maximální hodnota zrychlení (m.s<sup>-2</sup>)</b>		
<b>Zhmoždění mozku (contusio cerebri)</b>	a = 350-500 g	Schneider podle Ziffer (1955, 1957, 1964)
<b>Tlak intrakraniální (Pa)</b>		
	196 200 Pa po dobu 6-12 ms	Lissner-Gurdjian (1966)
<b>Maximální hodnota zrychlení (m.s<sup>-2</sup>)</b>		
<b>Fraktura lebky (s mozkiem) při pádu na betonovou či ocelovou desku</b>	a = 515 g při fraktuře klenby lební	Ziffer (1956)
	a = 500-700 g při fraktuře v oblasti čela	
<b>Maximální zátěžová síla při fraktuře klenby lební</b>		
	F = 25 750 N	
<b>Tlak na vnitřní straně klenby lební</b>		
	858 375 Pa	
<b>Tlak spánkový</b>		
	206 010 Pa	Haynes-Lissner (1962)

<sup>201</sup> STRAUS, J., Biomechanical analysis of selected types of dynamic head load. Pohybové ústrojí, ročník 19, 2012, č. 3, s. 331. STRAUS, J. *Kinematic and dynamic analysis of blow biomechanics*. Sborník, 5th European Academy of Forensic Science. University of Strathclyde, Glasgow, Scotland UK, 2009, s. 107.

Tab. 25 - Příklady různých kritických hodnot tolerance<sup>202</sup>

	<b>Tlak (kp.cm<sup>-2</sup>), Pa (N.m<sup>-2</sup>)</b>	<b>Autor</b>
<b>Otřes mozku (comotio cerebri)</b>	1,0 kp.cm <sup>-2</sup> (intrakraniálně) = 10000 kp.m <sup>-2</sup> = 98100 Pa (po dobu 6-12 ms)	Lissner-Gurdjian (1960); Patrick (1966)
	<b>Mírný otřes</b>	
	1,5 kp.cm <sup>-2</sup> = 15000 kp.m <sup>-2</sup> = 147150 Pa (po dobu 6-12 ms)	
	2,1 kp.cm <sup>-2</sup> = 21000 kp.m <sup>-2</sup> = 206010 Pa (žádné poranění mozku při t < 6 ms)	
	2,1-6,3 kp.cm <sup>-2</sup> = 206010-618030 Pa (při t = 1 ms)	Ellis (1964)
<b>Pohmoždění mozku (contusio cerebri)</b>	2,0 kp.cm <sup>-2</sup> = 20000 kp.m <sup>-2</sup> = 196200 Pa (po dobu 6-12 ms)	Lissner-Gurdjian (1960)

Kritické hodnoty při fraktuře mozkové části lebky při „tupém nárazu“ jsou uvedeny v následující tabulce:

Tab. 26 - Hodnoty pro náraz lebky (s mozkiem a měkkými částmi) na betonovou desku z výšky 1,8 m (Ziffer 1965)

Maximální hodnota zrychlení při vzniku zlomeniny lebeční	$a_{\max} = 515 \text{ g}$
Maximální zátěžná síla při zlomenině klenby lební	$F_{\max} = 25\,750 \text{ N}$
Hydrostatický tlak na vnitřní straně klenby lební při zlomení	$P = 8,75 \text{ kp.cm}^{-2} = 87500 \text{ kp.m}^{-2} = 858375 \text{ Pa}$
Zrychlení při fraktuře lebky v oblasti čela	$a_{\max} = 500-700 \text{ g}$ $a_{\text{eff}} = 200-300 \text{ g}$

<sup>202</sup> STRAUS, J., Biomechanical analysis of selected types of dynamic head load. Pohybové ústrojí, ročník 19, 2012, č. 3, s. 331. STRAUS, J. *Kinematic and dynamic analysis of blow biomechanics*. Sborník, 5th European Academy of Forensic Science. University of Strathclyde, Glasgow, Scotland UK, 2009, s. 107.

Normy pro přežití pro impulsní působení ( $t = 50 - 200 \text{ ms}$ ) jsou uvedeny v následující tabulce:

Tab. 27 - Normy pro přežití podle DIN (SRN 2001- EU)

Část těla	Záporné zrychlení – zpomalení	
	průměr	max.
Hlava	55 g	80 g
Hrudník	40 g	50 g
Pánev	46 g	50 g

Z hlediska poranění hlavy a mozku můžeme předpokládat dvě varianty, a to:

1. Dopadající objekt neprojde lebkou. Mozek může být velmi vážně zraněn, aniž by došlo k prasknutí lebky.
2. Dojde k úderu do hlavy a v důsledku působení vnější síly dojde k fraktuře lebečních kostí a následně i mozkové tkáně.

### Nároky na znalecký posudek<sup>203</sup>

Obecné požadavky na znalecký posudek jsou – teoretická správnost, použití uznávaných metod, zdůvodnění výběru metody, provedení analýzy jednotlivých faktorů ovlivňujících předmět posouzení.<sup>204</sup>

Podstatné pro studium tolerance organismu v oblasti hlavy na dynamické situace je sledování vztahů mezi mechanickými podněty a reakcemi organismu na různě zvolené rozlišovací úrovni daného systému či subsystému, který se potom stává systémem. Pro posouzení dynamického zatížení organismu má zejména význam zjištění mechanických dat:

- rychlosti ( $v(t)$ ) a zrychlení  $a(t)$ ), jimž byly vystaveny sledované tkáně (orgány, orgánové soustavy, organismus jako celek,
- gradienty zrychlení  $a(t)$ , tj. rychlosti zrychlení,
- lokalizace, velikosti a směry sil působících na organismus, případně i síly, vznikající uvnitř sledovaného organismu,
- vzniklá napětí,
- síly v závislosti na dráze (práce, energie) a závislosti na čase, impulsy sil, hybnosti a případně i další výkony.

Výzkum v tomto směru umožňuje velmi přesně popsat chování lidského těla a jeho segmentů na vnější zátěž a zcela přesně kvantifikovat toleranci organismu.<sup>205</sup>

<sup>203</sup> STRAUS, J., KREJČÍ, Z. Ohledání místa činu při biomechanickém hodnocení úderu do hlavy. In Viktoriová, Jana, Blatnický, Jaroslav. *Teória a prax vyšetřovania - interdisciplinárne aspekty*.

Bratislava: Akadémia Policajného zboru v Bratislave, 2017. S. 226–242, ISBN 978-80-8054-709-7

<sup>204</sup> STRAUS, J., KREJČÍ, Z. Význam ohledání místa činu pro forenzně biomechanické zkoumání. *Sborník z konferencie „Trestně právní a kriminalistické aspekty dokazování“*. Praha: VŠFS, 2016.

<sup>205</sup> STRAUS, J. Balance of Mechanical Energy at External Head Impact. *Research Papers: Criminalistic and Forensic Examination: Science, Studies, Practice*. Vilnius 2007, s. 169–173; STRAUS, J. Balance of Mechanical Energy at External Head Impact. *Research Papers: Criminalistic and Forensic Examination: Science, Studies, Practice*. Vilnius 2007, s. 169–173.

Dosavadní výzkumy směřují ke zjištění intenzity úderu a můžeme je rozdělit do těchto směrů:

Výzkumy, které byly provedeny v zahraničí, jsou velmi sporadické a jsou realizovány pro vrcholové sportovce.<sup>206</sup>

- Pro potřeby forenzní biomechaniky jsou měřeny na dokonale provedené technice úderu a výsledky slouží pro hodnocení sportovní výkonnosti.
- Měření na „normální“ nevrcholové populaci nebyly provedeny.
- Pro potřeby forenzní biomechaniky jsou potřebné (žádoucí) právě hodnoty síly úderu u netrénovaných jedinců.

### **Věrohodnost a spolehlivost podkladových materiálů pro znalecký posudek**

Podklady pro zpracování posudku jsou získány z:<sup>207</sup>

- Protokolu o ohledání místa činu (§ 113 tr. ř.) a případně v něm zadokumentované prohlídky těla mrtvého policejním orgánem.
- Protokolů o prohlídce těla (živého) poškozeného a pachatele (§ 114 tr. ř.).
- Listu o prohlídce mrtvého provedené prohlížejícím lékařem podle zvláštního zákona.<sup>208</sup>
- Protokolu o zdravotní soudní pitvě<sup>209</sup> podle zvláštního zákona provedené obligatorně na Ústavu soudního lékařství.
- Protokolu o soudní pitvě<sup>210</sup> a následných závěrů znalce uvedených ve znaleckém posudku z oboru zdravotnictví, odvětví soudní lékařství.
- Protokolů o výslechu svědka – poškozeného, svědků, podezřelého, obviněného.
- Jiných věcných důkazů založených v trestním spise, např. videozáznam z veřejného prostoru, protokol o prověřce výpovědi, protokol o rekonstrukci, případně jejich foto a videodokumentace.
- Informací, které může znalec z forenzní biomechaniky získat osobní účastí na místě trestného činu nebo z výslechů osob, u kterých bude přítomen.<sup>211</sup>

Všechny tyto informace vytvářejí nutný a jedinečný základ pro biomechanickou analýzu a rekonstrukci původních podmínek při fyzickém napadení mezi osobami. Důležitou podmínkou ke zpracování biomechanické analýzy je dodržování základního

<sup>206</sup> WALILKO, T. J., VIANO, D. C., BIR, C. A. Biomechanics of the head for Olympic boxer punches to the face. *British Journal of Sports Medicine*, 2005, vol. 39, 10, p. 710–719.

<sup>207</sup> STRAUS, J., KREJČÍ, Z. Ohledání místa činu při biomechanickém hodnocení úderu do hlavy. In Viktorová Jana, Blatnický Jaroslav. *Teória a prax vyšetrovania - interdisciplinárne aspekty*. Bratislava: Akadémia Policajného zboru v Bratislave, 2017. S. 226–242, ISBN 978-80-8054-709-7. STRAUS, J., KREJČÍ, Z. Význam ohledání místa činu pro forenzně biomechanické zkoumání. *Sborník z konferencie „Trestně právní a kriminalistické aspekty dokazování*. Praha: VŠFS, 2016.

<sup>208</sup> Viz §§ 84, 86 odst. 1 zák. č. 372/2011 Sb., o zdravotních službách.

<sup>209</sup> Srov. § 86 odst. 1 písm. g); § 88 odst. 1 písm. b), odst. 3 zák. č. 372/2011 Sb., o zdravotních službách

<sup>210</sup> Srov. § 88 odst. 1 písm. c), odst. 5 § zák. č. 372/2011 Sb., o zdravotních službách, ve spojení s § 115 tr. ř.

<sup>211</sup> Znalec tak činí v přípravné fázi na zpracování znaleckého posudku – srov. § 107 odst. 1, § 110a, věta poslední tr. ř.; bylo-li by potřebné takové informace využít pro znalecký posudek, musí znalec požádat policejní orgán o provedení procesní dokumentace takové skutečnosti za pomoci důkazního prostředku, např. protokolem o ohledání.

principu znaleckého posuzování podle pravidel oboru<sup>212</sup> (lat. „lege artis“), což je označení postupu, který je v souladu s obvyklými, obecně uznávanými metodami oboru vědy. Prof. Musil zdůraznil, že *„Při posuzování věrohodnosti znaleckého posudku je třeba zohlednit: a) způsobilost osoby znalce (znaleckého ústavu) poskytovat věrohodné znalecké posudky; b) úplnost a bezvadnost podkladových materiálů; c) odbornou odůvodněnost znaleckého posudku... Znalecký posudek je třeba hodnotit podle tří kritérií: 1. právní korektnost znaleckého důkazu, 2. důkazní význam (relevance) znaleckého posudku, 3. věrohodnost znaleckého posudku.“*<sup>213</sup>

Nezbytnou podmínkou pro to, aby policejní orgán mohl hodnocení kvality znaleckého posudku uskutečnit, je však jeho transparentnost, tedy jeho srozumitelnost i pro laiky. Na tomto místě je nutno připomenout, že znalec nehodnotí v podkladových materiálech jejich pravdivost a věrohodnost, ale zásadně vychází ze zásad znalecké činnosti v oboru forenzní biomechaniky. Pokud by znalec dospěl při svém zkoumání k tomu, že některé informace z podkladových materiálů jsou v rozporu s jeho zjištěními, tak neprodleně informuje policejní orgán. Poté se řídí pokyny tohoto policejního orgánu. Nicméně platí, že *„Ke zjištění pravdivosti závěrů znaleckého posudku lze však dospět také zprostředkovaně, a to tak, že se zkoumá jeho věrohodnost. O věrohodnosti se mluví tehdy, jestliže na pravdivost poznání je usuzováno z metody, z postupu, kterým jsme k poznání došli. Věrohodná je taková cesta poznání, která svými podmínkami zaručuje pravdivý výsledek poznání...“*<sup>214</sup>

Právě při využití informací z odborné lékařské a kriminalistické literatury, či z aplikování matematického modelu pro biomechaniku, jakož i z empirických zkušeností ze zpracovávání znaleckých biomechanických posudků v konkrétních trestních věcech, je možno metodicky doporučit nezbytné úkony pro objektivní biomechanické posuzování.<sup>215</sup>

## Metodická doporučení

### a/ Prohlídka těla zahrnuje dokumentaci:<sup>216</sup>

1. Výšky, hmotnosti, postavy osoby.
2. Stavů oblečení, včetně stop poškození na oblečení a jiných stop na těle, např. při úderu pěstí výskyt biologických stop apod.
3. Laického popisu zranění, včetně jeho přesných lokalizací na těle, zejména v okamžiku prvního kontaktu takové osoby s policistou (jen viditelná místa).
4. Lékařského přesného popisu zranění a jejich lokalizace na celém těle praktickým nebo ošetřujícím lékařem (nutnost provést celé odhalení těla).

<sup>212</sup> Srov. Článek MUSIL, Jan. Hodnocení znaleckého posudku. In. Kriminalistika. 2010. č. 3 - Hodnocení odborné správnosti znaleckého zkoumání v sobě zahrnuje: a) hodnocení teoretických východisek, o něž znalec opírá svůj závěr; b) hodnocení empirického základu posudku, tj. kvality a množství zjištěných znaků zkoumaných objektů; c) hodnocení použitých odborných metod a postupů; d) hodnocení, zda subsumpce konkrétního empirického základu pod obecný teoretický základ je správná.

<sup>213</sup> MUSIL, Jan. Hodnocení znaleckého posudku. In. Kriminalistika. 2010, č. 3.

<sup>214</sup> MUSIL, Jan. Hodnocení znaleckého posudku. In. Kriminalistika. 2010, č. 3.

<sup>215</sup> STRAUS, J., KREJČÍ, Z. Ohledání místa činu při biomechanickém hodnocení úderu do hlavy. In. Viktorová Jana, Blatnický Jaroslav. *Teória a prax vyšetřovania - interdisciplinárne aspekty*. Bratislava: Akadémia Policajného zboru v Bratislave, 2017. S. 226–242, ISBN 978-80-8054-709-7.

<sup>216</sup> STRAUS, J., KREJČÍ, Z. Ohledání místa činu při biomechanickém hodnocení úderu do hlavy. In. Viktorová Jana, Blatnický Jaroslav. *Teória a prax vyšetřovania - interdisciplinárne aspekty*. Bratislava: Akadémia Policajného zboru v Bratislave, 2017. S. 226–242, ISBN 978-80-8054-709-7.

STRAUS, J., KREJČÍ, Z. Význam ohledání místa činu pro forenzně biomechanické zkoumání. *Sborník z konference „Trestně právní a kriminalistické aspekty dokazování“*. Praha: VŠFS, 2016.



5. Znaleckým posudkem z oboru zdravotnictví, odvětví soudní lékařství (nutnost provést celé odhalení těla).
6. Popis možného vlivu požití alkoholických nápojů, drog, léků apod. na chování osoby – existuje-li důvodná obava z takového ovlivnění, je nutno provést prohlídku osoby lékařem ke stupni ovlivnění a provést odběr krve i moče.
7. Fotodokumentace postavy zpředu, zezadu, z obou bočních stran, včetně polodetailní a detailní dokumentace poškození a zranění na těle, při splnění zásad kriminalistické dokumentace.

#### **b/ Ohledání místa činu zahrnuje dokumentaci:<sup>217</sup>**

1. Prostorového dokumentování konkrétního místa napadení, včetně přesného zaměření stop po napadení, po zápasu.
2. Klimatických, světelných a dohledových podmínek na místě trestného činu.
3. Předmětu, který byl použit při fyzickém napadení (velikost, hmotnost, stopy na předmětu).
4. Místa dopadu poškozeného případně i pachatele (tvrdost místa dopadu, kluznost na místě fyzického napadení, překážky v pohybu osob – schod, díra apod.), s přesným zaměřením a detailní dokumentací (např. výskyt biologických stop – krevní stříkance, krevní kapky; či trasologické stopy apod.).
5. Konečné polohy těla zraněného (mrtvého) s přesným zaměřením a vyznačením na povrchu (např. podlaha, silnice, louka apod.), včetně fotodokumentace (video).
6. Plánkem místa trestného činu s detailním zaměřením na konkrétní místo fyzického napadení.

#### **c/ Výsledky osob musí být zaměřeny na zodpovězení následujících otázek:<sup>218</sup>**

##### **Obecně je nutno činit dotaz na:**

- a. Zdravotní stav osoby, zejména k otázce jeho fyzické schopnosti pohybu, tj. zranění končetin, kloubní náhrady, zranění při sportovních úrazech, jiné operační výkony k posouzení pohyblivosti osob – např. zádové obratle, nebo bolesti zad apod.
- b. Požívání alkoholických nápojů, drog či léků, a jak vnímá osoba jejich vliv na vlastní chování (agresivitu, utlumení jednání apod.).
- c. Psychický stav osob obecně – psychické onemocnění, léčba na psychiatrii
- d. Sportovní aktivita osoby v minulosti a v současnosti, druh sportovní aktivity, doba aktivního sportování.

##### **Dotaz na dobu před fyzickým napadením:**

- e. Aktuální fyzický a psychický stav osoby, průběh doby v daném dni, průběh pracovní nebo volnočasové aktivity, případné spory, hádky s blízkými osobami, požívání alkoholických nápojů, drog nebo léků.
- f. Kontakt osoby s pachatelem v průběhu dne, průběh takového setkání, ale také celkový vztah mezi nimi v minulosti a v současnosti.

<sup>217</sup> STRAUS, J., KREJČÍ, Z. Význam ohledání místa činu pro forenzně biomechanické zkoumání. *Sborník z konference „Trestně právní a kriminalistické aspekty dokazování*. Praha: VŠFS, 2016.

<sup>218</sup> STRAUS, J., KREJČÍ, Z. Význam ohledání místa činu pro forenzně biomechanické zkoumání. *Sborník z konference „Trestně právní a kriminalistické aspekty dokazování*. Praha: VŠFS, 2016.

### **Popis průběhu fyzického napadení:<sup>219</sup>**

- g. Příklad na místo fyzického napadení (ve smyslu širšího vnímání) s uvedením času, světelnosti místa, viditelnosti na místě, a subjektivního vnímání situace v prostoru, kam osoba vstoupila.
- h. Chování osoba po příchodu, pohyb na místě v daném prostoru, ev. subjektivní pocit osoby s ohledem na zdravotní, psychický a fyzický stav, požívání alkoholických nápojů, drog či léků a subjektivní vnímání vlastního ovlivnění v průběhu času.
- i. Okamžik vzniku konfliktu, který následně vedl k fyzickému napadení, příčina.
- j. Jaké byly světelné a jiné podmínky v okamžiku vzniku fyzického napadení.
- k. Podrobný popis chování napadené osoby nebo pachatele se zaměřením na popis vzájemného postavení mezi nimi, na popis způsobu napadení a případně použitého předmětu (obecně zbraně), konkrétní způsob vedení úderu, konkrétní popis místa, kam úder zasáhl osobu a jaký měl tento úder vliv na chování a jednání zasažené osoby, případně podrobný popis průběhu pádu osoby na místo dopadu, či kontaktu těla s jiným předmětem, jakož přesná a konkrétní slovní vyjádření osob účastných na fyzickém napadení.
- l. Vyjádřit se k intenzitě úderu na základě subjektivního vnímání osoby (podle jejího odhadu a zkušeností s fyzickými aktivitami).
- m. Průběh fyzického napadení dokladovat při výslechu, např. ukázkou na figurantovi nebo pomocí loutek, nebo prostřednictvím prověrky výpovědi (§ 104e tr. ř.).
- n. Podrobný popis konečné polohy těla osoby po pádu.
- o. Jakým způsobem byl fyzický útok skončen.
- p. Jaké další osoby fyzické napadení sledovaly a mohly by poskytnout další informace k průběhu.
- q. Modifikovaně platí tyto okruhy i pro další svědky, ev. i pro zasahující policisty, lékaře, či jiné osoby.

### **d/ Následky fyzického napadení:**

- r. Subjektivní vnímání jednotlivých zranění, jejich bolestivost a dopad na psychický stav zraněného.
- s. Subjektivní posouzení, zda zranění vzniklo bezprostředně při úderu, nebo v důsledku vlastního pohybu (nekoordinovaný pohyb v důsledku např. vlivu alkoholu), či jako následek pádu těla po úderu.
- t. Subjektivní posouzení k intenzitě dopadu těla na podložku a vzniku zranění např. v temenotýlní krajině hlavy.

Pro posouzení zranění těla při externím dynamickém napadení je nutné striktně respektovat závěry lékařských vyšetření odborným lékařem nebo závěry znaleckého posudku z oboru zdravotnictví, soudního lékařství, ale také z oboru zdravotnictví, traumatologie, či jiných lékařských odvětví.

---

<sup>219</sup> STRAUS, J., KREJČÍ, Z. Ohledání místa činu při biomechanickém hodnocení úderu do hlavy. In: Viktorová, Jana, Blatnický, Jaroslav. *Teória a prax vyšetřovania - interdisciplinárne aspekty*. Bratislava: Akadémia Policajného zboru v Bratislave, 2017. S. 226–242, ISBN 978-80-8054-709-7. STRAUS, J., KREJČÍ, Z. Význam ohledání místa činu pro forenzně biomechanické zkoumání. *Sborník z konference „Trestné právní a kriminalistické aspekty dokazování*. Praha: VŠFS, 2016.

## Formulace zadání úkolu pro znalce<sup>220</sup>

Podle empirických zkušeností znalce umožňuje biomechanická analýza extrémního zatížení hlavy řešit řadu důležitých otázek. Příklady, jak by tyto úkoly měly být správně formulovány, aby mohl znalec vyhotovit kvalitní a úplný znalecký posudek, lze formulovat takto:

1. Provést biomechanickou analýzu pohybového chování osoby, se zaměřím na posouzení vzniku všech zranění, vzniklých při fyzickém napadení.
2. Jaká je minimálně nutná fyzická energie ke způsobení každého způsobeného zranění u posuzované osoby, a zda takovou fyzickou energii byla schopna vyvinout osoba, která je podezřelá ze zavinění následků (pachatel), a to s ohledem na konkrétní chování a jednání při fyzickém napadení?
3. Odpovídá z biomechanických zásad popis průběhu fyzického napadení a vzniku zranění ze strany posuzované osoby?
4. Odpovídá z biomechanických zásad popis průběhu fyzického napadení a vzniku zranění ze strany podezřelé osoby (pachatele)?
5. Posoudit z biomechanických zásad počet úderů na tělo posuzované osoby (počet úderu do hlavy, do těla, do končetin).
6. Posoudit, zda při fyzickém napadení nedošlo při úderech na osobu k použití předmětu, kterým mohl být veden úder intenzivnější.
7. Další zjištěné skutečnosti znalce, které mohou přispět k objasnění.<sup>221</sup>

Poznatky forenzní biomechaniky se mohou využít v řadě případů, jednou z velmi frekvencovaných aplikací je posouzení mechanického namáhání osoby při různých úderech, nejčastěji do hlavy. Řešení otázky posouzení biomechaniky extrémního dynamického zatížení organismu je pro znalecké zkoumání v oblasti forenzní biomechaniky velmi důležité a zásadní. Má-li být odpověď vědecky seriózní, nezpochybnitelná a odpovídající reálným podmínkám, je nutné mít k dispozici dostatečné množství vstupních informací pro následné biomechanické řešení. Má-li být znalecký posudek kvalitní a nezpochybnitelný pro další využití, zejména jako důkaz v soudním řízení, je nutné, aby byl založen na jasných, exaktně měřitelných a nezpochybnitelných parametrech, a proto je kladen takový důraz na úkony policejního orgánu.

Ohledání jako kriminalistická metoda je nezastupitelné (i s ohledem na princip účinného vyšetřování,<sup>222</sup> jak jej formuloval Ústavní soud) a stává se velmi důležitou základní metodou práce policisty při objasňování kriminálního deliktu. Ohledání zpravidla nelze nahradit jinými úkony, např. výslechy osob, rekonstrukcí, vyšetřovacím pokusem ani jinými prostředky a postupy používanými při odhalování a objasňování kriminálních deliktů. Na kvalitě provedeného ohledání v mnoha případech závisí úspěch celého dalšího šetření. Podcenění významu ohledání má za důsledek nenahraditelnou ztrátu důkazů pro trestní řízení a usvědčení pachatele.

<sup>220</sup> STRAUS, J., KREJČÍ, Z. Ohledání místa činu při biomechanickém hodnocení úderu do hlavy. In Viktoriová, Jana, Blatnický, Jaroslav. *Teória a prax vyšetřovania - interdisciplinárne aspekty*. Bratislava: Akadémia Policajného zboru v Bratislave, 2017. S. 226–242, ISBN 978-80-8054-709-7.

<sup>221</sup> Znalec nemůže ani nesmí hodnotit právní otázky, ale pouze a jen, zda zjištěné znalecké údaje potvrzují, či vyvraceni skutkové okolnosti průběhu fyzického napadení. V kompetenci policejního orgánu je, aby biomechanický posudek zhodnotil sám podle zásady volného hodnocení důkazů. STRAUS J., KREJČÍ, Z. Význam ohledání místa činu pro forenzně biomechanické zkoumání. *Sborník z konference „Trestně právní a kriminalistické aspekty dokazování*. Praha: VŠFS, 2016.

<sup>222</sup> Srov. např. Nálezem Ústavního soudu sp. zn. I. ÚS 1565/14 ze dne 15. 3. 2015 – **účinné vyšetřování** musí být: 1) nezávislé a nestranné; 2) **důkladné a dostatečné**; 3) rychlé; 4) podrobené kontrole veřejnosti, včetně práva oběti na nahlížení do spisu.

Cílem ohledání je nalezení a zjištění stop a ostatních věcných důkazů včetně informací, které s nimi souvisejí, zjištění a objasnění mechanismu vzniku a průběhu události, získání informací směřujících k odhalení a usvědčení pachatele kriminální události, odhalení příčin a podmínek včetně motivu, které vedly ke spáchání kriminálního deliktu, nebo jeho spáchání umožnily, získání informací, na základě kterých jsou vytyčovány vyšetřovací a operativně pátrací verze, a nakonec získání informací pro organizaci a plánování operativně pátracího šetření a vyšetřování.

Informace získané z ohledání místa činu vytvářejí nutný a jedinečný základ pro biomechanickou analýzu extrémního dynamického zatížení organismu a rekonstrukci původních podmínek ve fázi silového působení. Na základě znalostí zákonitostí biomechaniky můžeme vyslovit požadavky nutné k dokumentaci místa nálezu těla pro objektivní biomechanické posuzování.<sup>223</sup>

---

<sup>223</sup> STRAUS J., KREJČÍ, Z. Význam ohledání místa činu pro forenzně biomechanické zkoumání. *Sborník z konference „Trestně právní a kriminalistické aspekty dokazování“*. Praha: VŠFS, 2016.

## 11. Využití teoretických poznatků forenzní biomechaniky v kriminalistickém experimentu

Kriminalistický experiment je metoda kriminalistické praktické činnosti, spočívající v pokusném vyvolávání a zkoumání kriminalisticky relevantních jevů, činností a fragmentů událostí v uměle vytvořených a cílevědomě měněných podmínkách za účelem poznání a dokázání skutkového stavu věci. Touto metodou se velmi často opakuje děj, pohybová situace, která mohla nastat. Velkým přínosem jsou počítačové simulační metody. Perspektivní metoda je program Vitruval Crash 3. Jedná se o certifikovaný software, který byl vyvinut pro soudně inženýrské a biomechanické aplikace. Touto metodou je možné simulovat situace, které nelze prakticky realizovat skutečným experimentem s figurínou nebo živým člověkem.

Objasňování a vyšetřování trestné činnosti s sebou přináší okamžiky, kdy je potřeba ověřit určité hypotézy, které jsou spojeny se vznikem stop či vznikem informací v nich. Stává se, že kriminalisté potřebují prověřit pochybnosti o možnosti provedení či neprovedení určité činnosti pachatele, možnosti nebo nemožnosti existence určitého děje, jevu, události nebo činností spojených s kriminalisticky relevantní událostí. Kriminalistická věda k tomuto procesu poznání využívá kriminalistický experiment neboli pokus, jako jednu z kriminalisticko-taktických metod, kterou se zkoumají paměťové stopy.

Kriminalistický experiment je metoda kriminalistické praktické činnosti, spočívající v pokusném vyvolávání a zkoumání kriminalisticky relevantních jevů, činností a fragmentů událostí v uměle vytvořených a cílevědomě měněných podmínkách za účelem poznání a dokázání skutkového stavu věci.<sup>224</sup>

Cílem kriminalistického experimentu je i prověrka verzí. Prověřuje se, která z verzí je pravdivá, čímž současně dochází k vylučování verzí nereálných. Kriminalistický experiment je pro prověrku verzí vhodný pro široké možnosti experimentování, měnění podmínek v jeho průběhu a pro možnost opakování jednotlivých pokusů.

Podstata kriminalistického experimentu je založena na metodě experimentování (jako prostředek poznání). Je to způsob zkoumání, při němž za určitého systematického působení na procesy objektivní reality získáváme nový poznatek.<sup>225</sup> Kriminalistický experiment je v základních principech shodný s experimentem v kterékoliv jiné oblasti lidské činnosti. Při kriminalistickém experimentu může orgán činný v trestním řízení:

- sám vyvolávat jevy analogické poznávanému jevu,
- měnit podmínky, za kterých jev probíhá,
- izolovat jednotlivé podmínky, prokazovat jejich prioritu významu pro vyvolaný jev atp.

---

<sup>224</sup> STRAUS, J. et al. *Kriminalistická taktika*. 2. rozšířené vydání. Plzeň: Aleš Čeněk, 2008, PORADA, V. et al. *Kriminalistika*. Brno: CERM, 2001, s. 69–102, PORADA, V., STRAUS, J. *Kriminalistický experiment*. Soudní inženýrství č. 5, 2000.

<sup>225</sup> PRERAD, V. *Vyšetřovací experiment*. Praha: Ústav kriminalistiky Právnické fakulty UK, 1972. PRERAD, V. *Vyšetřovací pokus – problémy a pochybení při praktickém provádění a jejich procesní důsledky*. In *Bulletin advokacie*, 1997, č. 6-7, s. 55–71.

Zvláštnosti kriminalistického experimentu lze spatřovat v tom, že:

- kriminalistický experiment probíhá za podmínek, za kterých proběhla kriminalisticky relevantní událost,
- jeho výsledky jsou zřejmé, registrovatelné pouhými smysly, bez potřeby přístrojů, složité analýzy nebo zvláštních znalostí, i když ani přítomnost takovýchto speciálních technických přístrojů není vyloučena,
- objektem experimentu jsou jednotlivé okolnosti kriminalisticky významné události (např. trestného činu),
- experiment musí být uskutečněn v souladu s procesními normami, profesionální etikou (nesmí dojít k ohrožení života nebo zdraví účastníků či snižování lidské důstojnosti),
- bere v úvahu i vliv subjektivních faktorů, které mohou významně ovlivnit průběh a výsledky experimentu.

Kriminalistický experiment lze definovat jako taktickou kriminalistickou metodu, spočívající v pokusném vyvolávání a zkoumání analogických jevů, událostí a činností v uměle vytvořených a cílevědomě měněných podmínkách. V kriminalistické praxi je experimentální metoda využívána především jako jedna ze specifických metod shromažďování a hodnocení důkazů v trestním řízení. Uplatňuje se jako experiment, a to:

- jako samostatný úkon,
- jako součást jiných kriminalistických metod integrovaných některým úkonem, např. ohledáním, rekonstrukcí, rekognicí apod.,
- jako jedna z metod kriminalistického znaleckého zkoumání (např. balistického, mechanoskopického apod.),
- jako taktický prostředek, zejména při prověřování podnětů k trestnímu stíhání a prověřování operativně pátracích verzí.

Experiment je v kriminalistické praxi vědecky opodstatněná, procesně přípustná a praxí ověřená metoda sloužící jako prostředek k poznání a dokazování objektivní pravdy. I přes některé specifické prvky dané specifickým předmětem zkoumání (událost trestného činu) si zachovává základní principy vědecké experimentální metody poznání. Při používání kriminalistického experimentu se uplatňují poznatky řady vědních oborů (psychologie, přírodních a technických věd atd.).

V kriminalistické praxi se ustálilo několik druhů kriminalistického experimentu. Z povahy zjišťovaných skutečností rozeznáváme dva základní typy experimentu:

- a) kriminalistický experiment založený na využití lidských smyslů, tzv. senzorický experiment**, při kterém se zjišťují skutečnosti, které jsou vnímatelné lidskými smysly (zrakem, sluchem, hmatech, čichem, chutí apod.). V kriminalistické praxi převládají zrakové a sluchové experimenty ke zjištění možnosti pozorovat nějaký jev či jej slyšet (hádku, výhrůžky, střelbu apod.),
- b) kriminalistický experiment založený na vnímání a poznání určité situace a na její zvládnutí, tzv. problémový (situační, motorický) experiment**. Jedním z cílů kriminalistického experimentu je prověrka ve věci shromážděných důkazů. Vznikne-li pochybnost o možnosti či nemožnosti existence nějaké skutečnosti, události nebo jevu, o které svědčí určitý důkaz, je nutno tento důkaz ověřit experimentální cestou. Ověřování důkazu je pak prováděno v uměle vytvořených podmínkách maximálně shodných s podmínkami, za nichž došlo k vyšetřované události a v podmínkách vědomě měněných.

Kriminalistickým experimentem lze zjistit okolnosti, které spáchání trestného činu napomáhaly. Pokud jsou tyto okolnosti analyzovány, lze přijmout opatření k jejich likvidaci tak, aby další páčání trestných činů bylo ztíženo či mu bylo zamezeno.

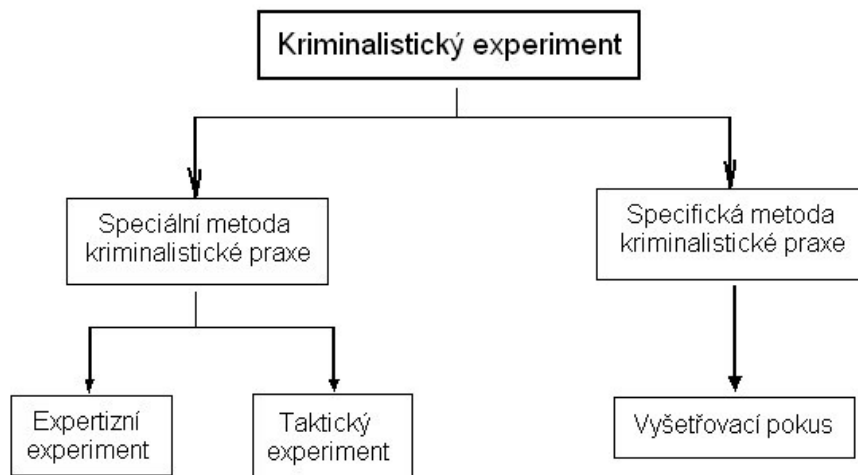
Na metodu kriminalistického experimentu lze pohlížet jednak jako speciální metodu kriminalistické praxe, a dále jako specifickou metodu kriminalistické praxe.

Jako **speciální** metoda kriminalistické praxe je obvykle kriminalistický experiment využíván:<sup>226</sup>

- ve formě expertizního experimentu (jedné z metod kriminalistické expertizy např. při zajišťování srovnávacích materiálů pro identifikační zkoumání);
- ve formě taktického experimentu (jako jedné ze součástí jiných kriminalistických metod integrovaných v některém vyšetřovacím úkonu, např. ohledání, rekognici nebo jako úkonu prováděného před zahájením trestního stíhání, kdy závěry učiněné na základě jeho výsledků sice nemají důkazní status, ale mohou mít významné právní důsledky pro další postup trestního řízení, neboť mohou být např. podkladem pro sdělení obvinění, pro odložení věci atp.).

Jako **specifická** metoda kriminalistické praxe se uplatňuje kriminalistický experiment v procesu poznání trestného činu ve formě vyšetřovacího úkonu pod názvem **vyšetřovací pokus** majícího povahu samostatného důkazního prostředku ve smyslu § 104c tr. ř.

Schematicky lze formy využití kriminalistického experimentu v kriminalistické praxi vyjádřit následovně:<sup>227</sup>



Obr. 52 - Klasifikace kriminalistického experimentu

### Možnosti modelování pohybu člověka

Kriminalistický experiment se významně využívá v kriminalistické praxi. Tak jak se vyvíjí věda a technika, mění se i využití kriminalistického experimentu. Zejména je významné využití počítačové techniky a možností simulačních metod. Vývoj si můžeme ukázat na konkrétních příkladech.

<sup>226</sup> PORADA, V., STRAUS, J. *Kriminalistický experiment*. Soudní inženýrství č. 5, 2000. STRAUS, J. et al. *Kriminalistická taktika*. 2. rozšířené vydání. Plzeň: Aleš Čeněk, 2008.

<sup>227</sup> STRAUS, J. et al. *Kriminalistická taktika*. 2. rozšířené vydání. Plzeň: Aleš Čeněk, 2008, PORADA, V. et al. *Kriminalistika*. Brno: CERM, 2001, s. 69–102, PORADA, V., STRAUS, J. *Kriminalistický experiment*. Soudní inženýrství č. 5, 2000.

Původní využití kriminalistického experimentu bylo odkázáno na „odehrání“ jednotlivých variant provedení a posouzení výsledků. Tedy účastník experimentu osobně opakoval jednotlivé pohybové činnosti, případně se mohlo využít figuríny.

Jako příklad počátku a vývoje využívání této metody je vhodný případ vraždy poškozeného K., ke které došlo dne 14. 7. 1988 v Ostravě-Porubě (ČVS: VV-1079/101-1988).<sup>228</sup> Cílem bylo vysvětlit vznik biologických stop, vznik poranění lebky, posloupnost jednotlivých poranění, a zejména vyvrátit obhajobu pachatele, který popíral zákeřný útok proti oběti zezadu a loupežný motiv činu. Na obr. 53 ad. je znázorněna činnost při provedení vyšetřovacího pokusu.



Obr. 53 - Vyšetřovací pokus - pachatel útočí na oběť nečekaně, zezadu a zákeřně, útok vede rukou ozbrojenou kladivem<sup>229</sup>



Obr. 54 - Záběr na fázi úderu kladivem, kdy nárazem dochází k prasknutí topůrka, na kalvě při pitvě jsou zjištěné zřetelné stopy po úderech pracovní části kladiva<sup>230</sup>

<sup>228</sup> VALERIAN, Luboš. Vybrané kriminalistické metody při objasňování vražd a podezřelých úmrtí. Dizertační práce, Bratislava: Akadémia Policajného zboru v Bratislavě 2006, 169 s.

<sup>229</sup> VALERIAN, Luboš. Vybrané kriminalistické metody při objasňování vražd a podezřelých úmrtí. Dizertační práce, Bratislava: Akadémia Policajného zboru v Bratislavě 2006, 169 s.

<sup>230</sup> VALERIAN, Luboš. Vybrané kriminalistické metody při objasňování vražd a podezřelých úmrtí. Dizertační práce, Bratislava: Akadémia Policajného zboru v Bratislavě 2006, 169 s.





Obr. 55 - Záběry na útok pachatele v další posloupnosti při změně postavení pachatele i oběti, čemuž odpovídaly zjištěné stopy<sup>231</sup>



Obr. 56 - Pokračování útoku pachatele na oběť při změně smrtícího mechanismu s použitím škrtdla<sup>232</sup>

S rozvojem teoretických poznatků, techniky a praxe se vyvíjela a zdokonalovala i metoda kriminalistického experimentu. Jedním z prvních případů použití kriminalistického experimentu byl případ vraždy J. V. Ten byl dne 10. 11. 1993 v Ostravě-Bartovicích (ČVS:KVV-241/10-1993) zastřelen pachatelem při souběžné jízdě dvou vozidel, z nichž jedno řídil zavražděný.

<sup>231</sup> VALERIAN, Luboš. Vybrané kriminalistické metody při objasňování vražd a podezřelých úmrtí. Dizertační práce, Bratislava: Akadémia Policajného zboru v Bratislavě 2006, 169 s.

<sup>232</sup> VALERIAN, Luboš. Vybrané kriminalistické metody při objasňování vražd a podezřelých úmrtí. Dizertační práce, Bratislava: Akadémia Policajného zboru v Bratislavě 2006, 169 s.

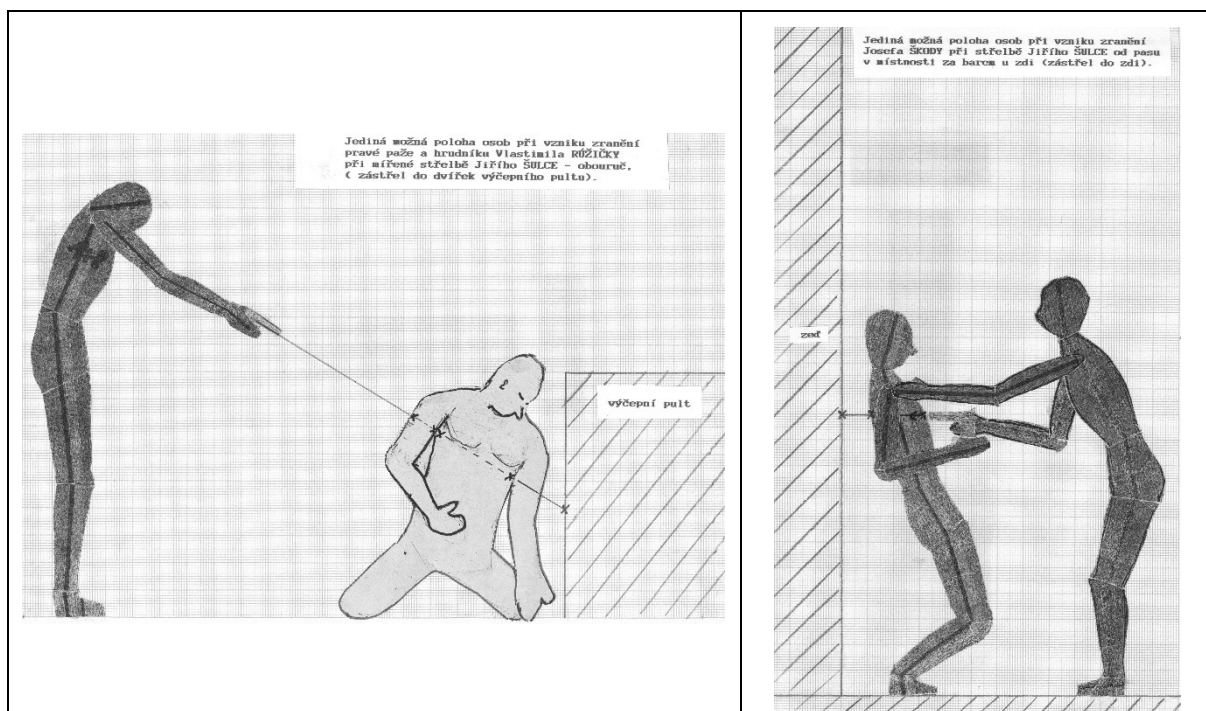


Obr. 57 - Znázornění drah střel (šňůrami) při souběžně jedoucích vozidlech pachatele a oběti v upravených podmínkách za přítomnosti balistika. Detailní pohled na dráhy střel při pohledu do vozidla oběti se znázorněním míst zásahu, pohled z vozidla pachatele na oběť<sup>233</sup>

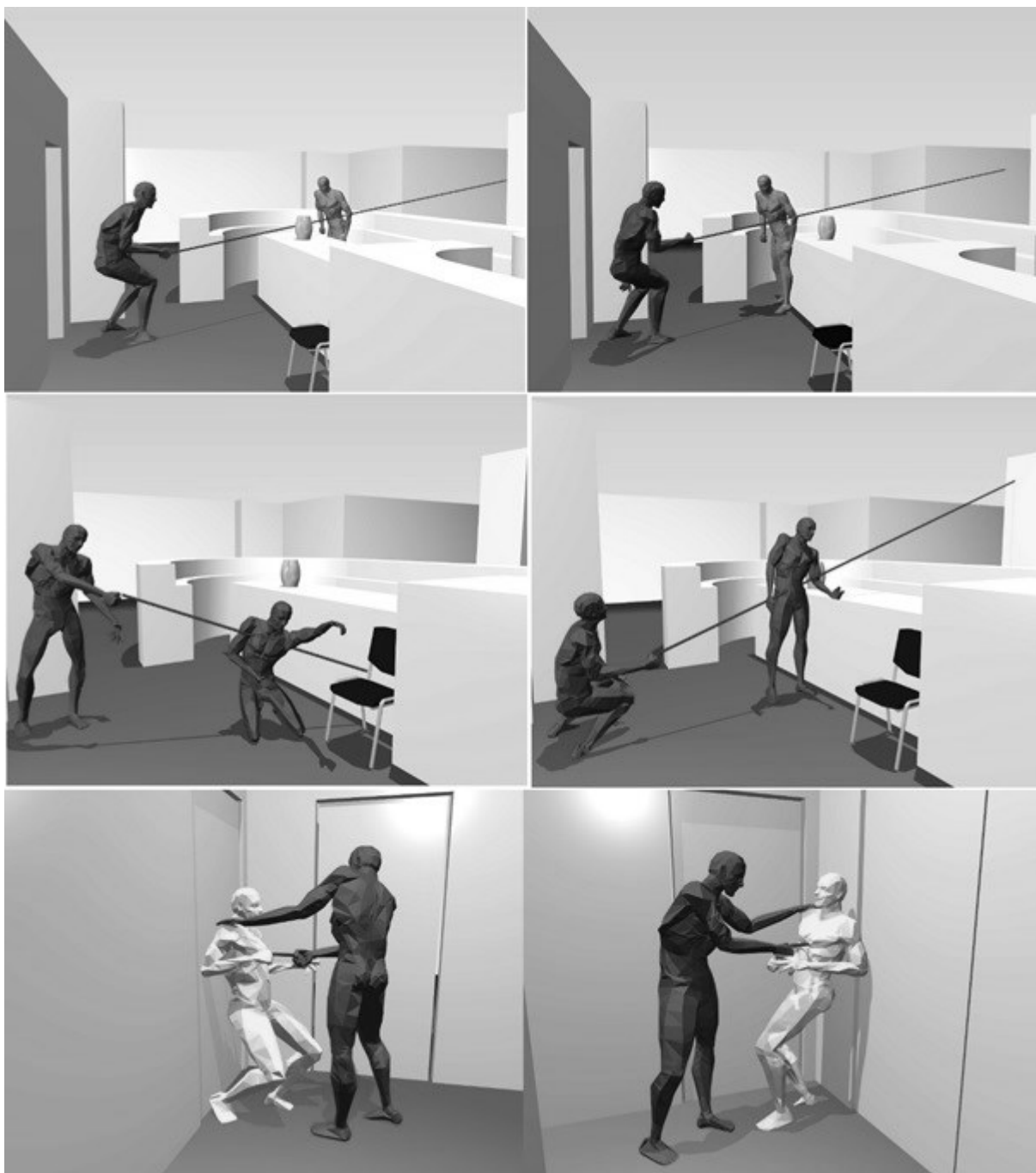
Velmi pozitivní posun v kvalitě kriminalistických experimentů a modelování situací přinesl rozvoj výpočetní techniky. Kriminalisté začali využívat grafickou počítačovou metodu v trojrozměrných dimenzích a to zejména u vražd spáchaných střelnou zbraní, vyhození oběti z oken, sebevražedných skoků z oken či nešťastných pádů z výšky.

Účelem experimentů a modelování např. u vražd spáchaných střelnou zbraní je zjistit a graficky znázornit veškerá pravděpodobně možná postavení střelce a poškozených při jednotlivých výstřelech v době zásahu těl poškozených, nebo např. u vraždy, spáchané vyhozením oběti z okna, znázornit polohu oběti a pachatel v rozhodujícím okamžiku, chování těla při pádu dolů, pravděpodobné místo dopadu, a to při verzi vražedné, sebevražedné či verzi nešťastné náhody.

<sup>233</sup> VALERIAN, Luboš. Vybrané kriminalistické metody při objasňování vražd a podezřelých úmrtí. Dizertační práce, Bratislava: Akadémia Policajného zboru v Bratislavě 2006, 169 s.



Obr. 58 - Laické znázornění předpokládaného postavení pachatele a dalších obětí při pokračování střelby

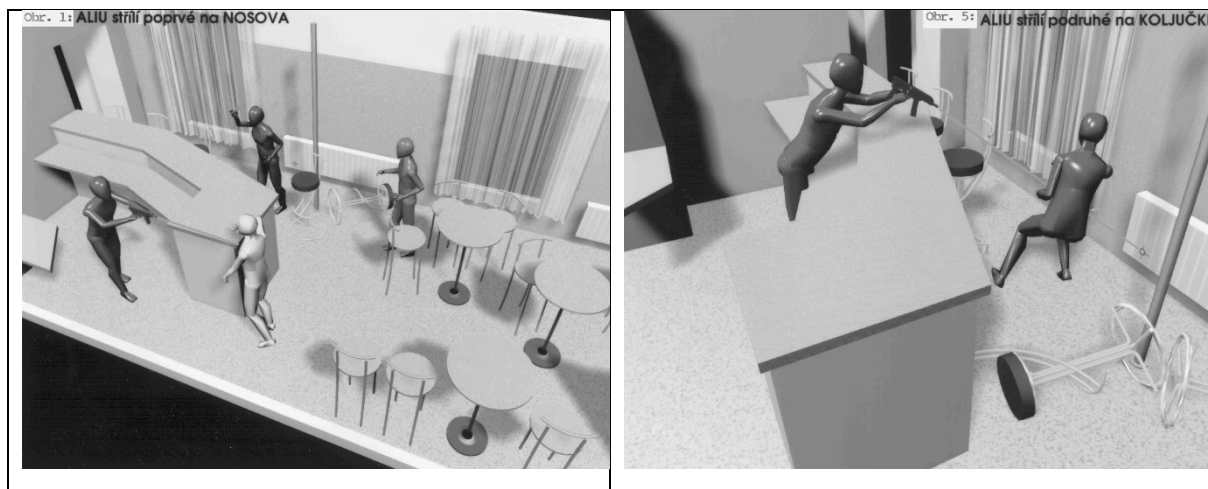


Obr. 59 - Počítačová animace za použití 3D software<sup>234</sup>

Úkolem animace bylo potvrdit nebo vyvrátit vzájemnou polohu a tvar těl aktérů, vzhledem k vazbám – ruka útočníka, ústí pistole, vstřel na těle poškozeného, výstřel, zástřel do zdi, dveří nebo dvířek. Tyto „kontakty“ s nejpravděpodobnějšími pozicemi a v rozměrech dle skutečných rozměrů aktérů, byly přeneseny do prostředí 3D modelovacího a animačního software Autodesk 3D STUDIO. 3D STUDIO je obecný modelovací, vizualizační a animační nástroj pro práci v 3D kartézském X/Y/Z souřadném systému s možností znázornění události pomocí scény s 3D modelem,

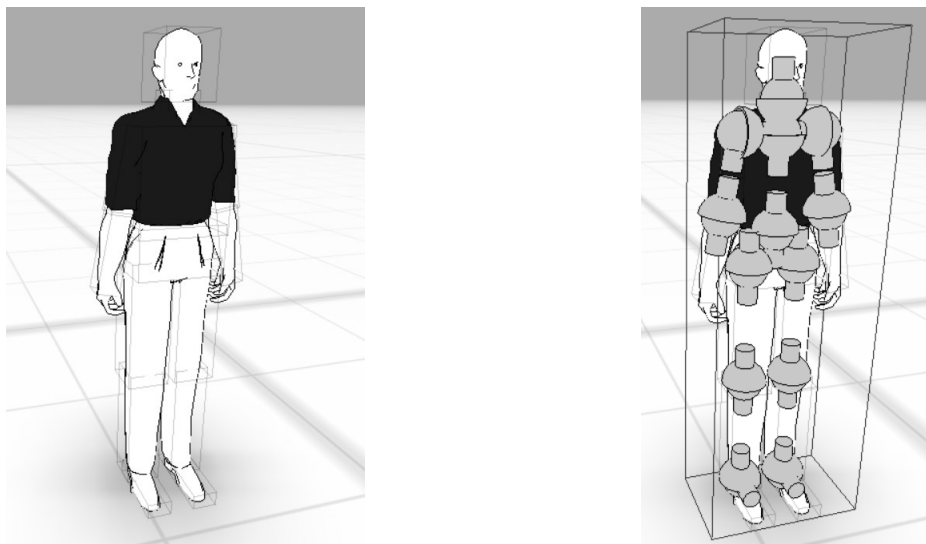
<sup>234</sup> VALERIAN, Luboš. Vybrané kriminalistické metody při objasňování vražd a podezřelých úmrtí. Dizertační práce, Bratislava: Akadémia Policajného zboru v Bratislavě 2006, 169 s.

kamerou a světly. V tomto software byl vymodelován prostor události, tedy samotný bar (obvodové zdi, příčky, otvory a dveře) a jeho zařizovací předměty (barový pult, výčepní pult, stoly, židle a barové židličky). Šlo o všechny předměty, mající prostorový vztah k osobám a drahám střel. Aktéři (pachatel, oběti) byli pro lepší orientaci barevně rozlišeni (pachatel červeně).<sup>235</sup>



Obr. 60 - Počítačová animace za použití 3D software.

Počítačové modelování je potřeba zejména v těch případech, kdy je nutné objasnit možné či nemožné varianty pohybové činnosti. Kriminalistické metody umožňují vyjádřit se k otázce, zda daná pohybová činnost je biomechanicky přijatelná nebo nepřijatelná. Je možné se také vyjádřit cestou počítačového modelování pohybu, která z variant je více pravděpodobná. V posledních letech je možné využít možností počítačového modelování a simulace v programu Virtual Crash3.<sup>236</sup>



Obr. 61 - Ukázka vložení figuríny „pedestrian“ do programu Virtual Crash 3 a znázornění kloubních spojení

<sup>235</sup> VALERIAN, Luboš. Vybrané kriminalistické metody při objasňování vražd a podezřelých úmrtí. Dizertační práce, Bratislava: Akadémia Policajného zboru v Bratislavě 2006, 169 s.

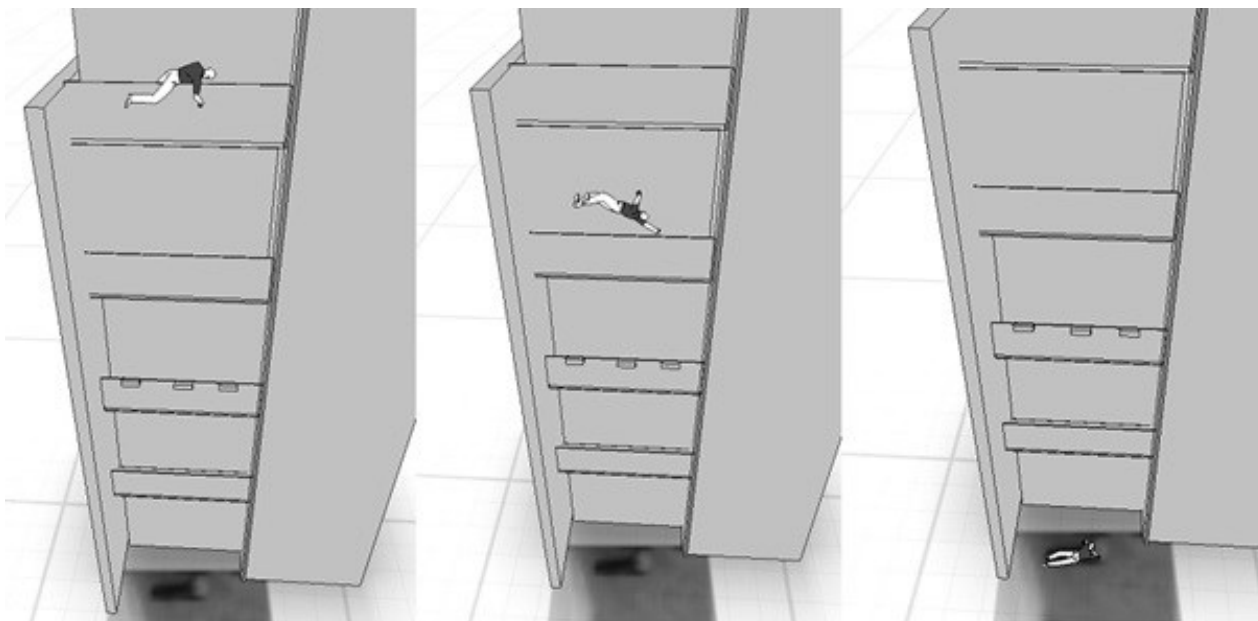
<sup>236</sup> Virtual Crash 3, autorská licence.

Jako příklad uvedu případ vraždy, kdy pachatel bodnul oběť do břicha a poté ji vyhodil z balkonu ve 4 patře. Poškozený byl na místě mrtev, podle pitevního protokolu utrpěl – „Zlomeniny žeber vpravo (8. a 9. žebro při páteři bez porušené pohrudnice a s krevními výrony v mezižeberních svalech). Trhliny pravé plíce. Trhliny až částečné rozhmoždění pravého jaterního laloku. Trhliny až částečné rozhmoždění pravé ledviny. Tříštivá zlomenina lopaty pravé kosti kyčelní. Uzavřená tříštivá nitrokloubní zlomenina pravého loketního kloubu s odlomením okovce pravé kosti loketní“. Poloha oběti na dvoře byla zakreslena obrysem těla po dopadu. Obviněný na svoji obhajobu uváděl, že poškozený vyskočil sám v sebevražedném úmyslu. Bylo potřeba prokázat, zda mohlo tělo poškozeného dopadnout do místa, kde bylo nalezeno, nebo zda se na pádu podílela vnější síla druhé osoby. Pro rozhodnutí byl proveden vyšetřovací pokus s figurínou a vznikl také požadavek počítačové simulace. Obě varianty byly simulovány v programu Virtual Crash3 a jednotlivé varianty jsou uvedeny na následujících obrázcích 63 a 66. Jsou zde uvedeny technicky přijatelné varianty pádů. Nejprve je uvedena varianta přepadnutí poškozeného přes hranu balkonu podle verze obviněného E. K. Druhá varianta prezentuje technicky přijatelnou variantu přehození poškozeného přes hranu zábradlí balkonu, podle verze svědka V. K.

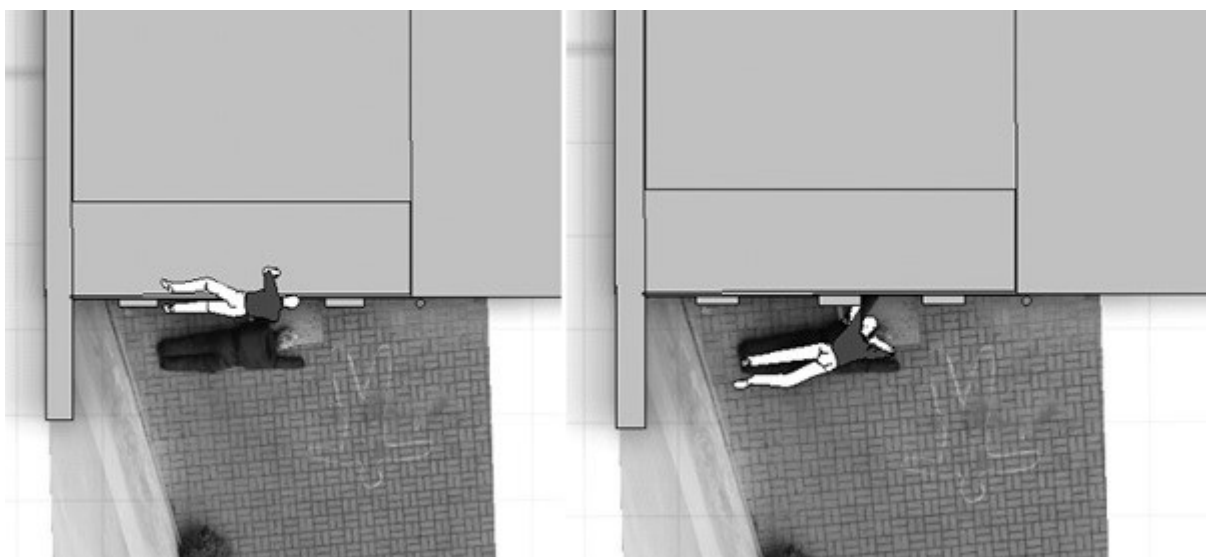


Obr. 62 - Znázornění verze podle E. K. sebevražedného skoku přes okraj zábradlí

Počítačovou simulací i reálným vyšetřovacím pokusem byla potvrzena verze svědka V. K. a vyvrácena verze obviněného E. K.



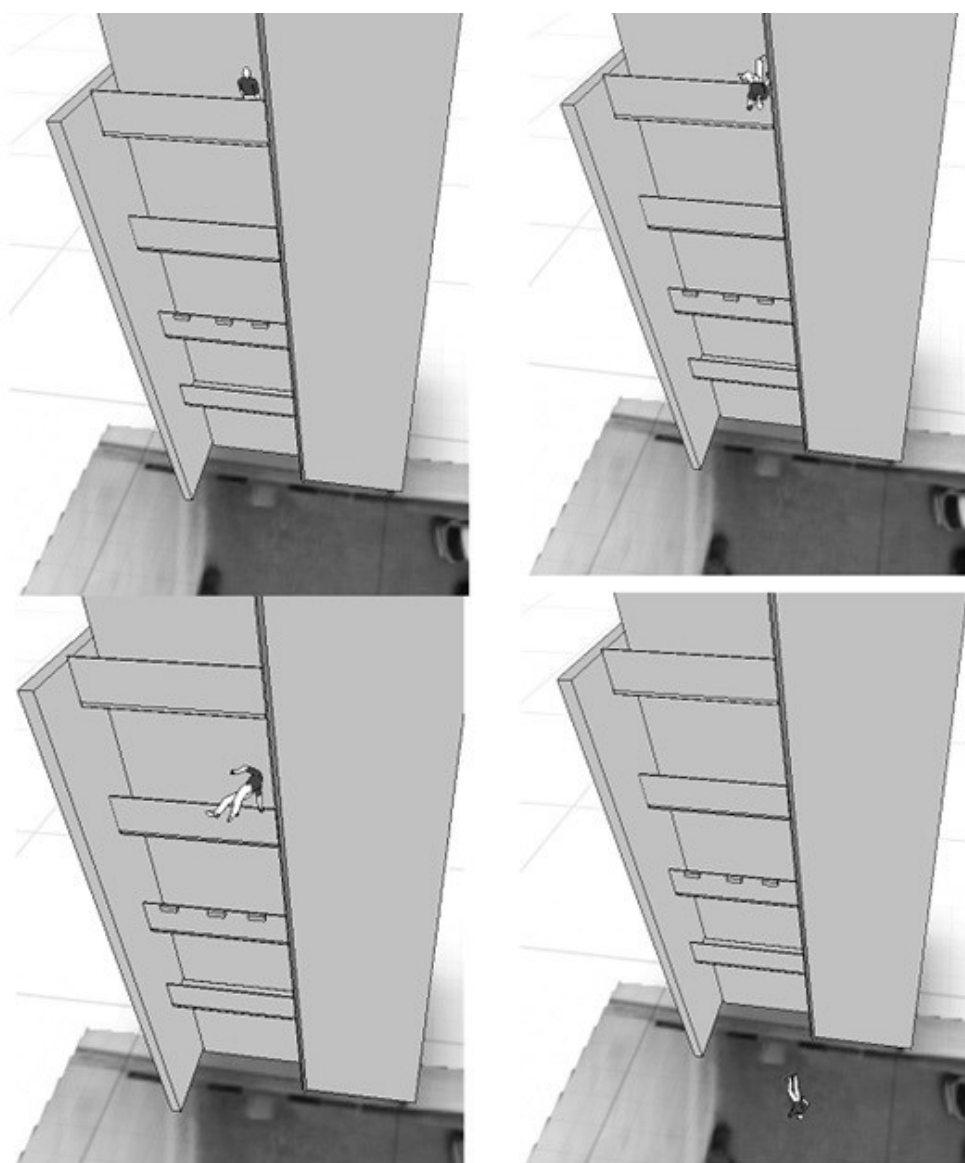
Obr. 63 - Technicky nepřijatelná varianta pádu poškozeného D. D. podle verze E. K.



Obr. 64 - Pohled shora, výchozí a dopadová poloha poškozeného, technicky nepřijatelná varianta pádu poškozeného D. D. podle verze E. K. Poloha oběti na dvoře byla zakreslena obrysem těla po dopadu

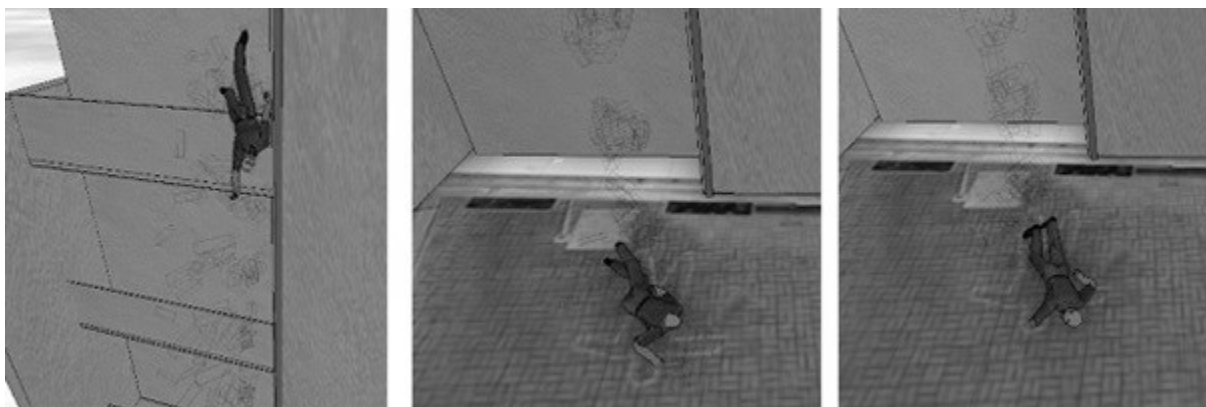


Obr. 65 - Rekonstrukce varianty aktivního svržení



Obr. 66 - Technicky přijatelná varianta pádu poškozeného D. D. podle verze V. K





Obr. 67 - Pohled shora – úvodní fáze pádu a dopad na zem a konečná poloha D. D. podle verze V. K. Poloha oběti na dvoře byla zakreslena obrysem těla po dopadu.

Pronikání vědy a techniky do kriminalistiky zlepšuje, zkvalitňuje a urychluje objasňování trestné činnosti. V kriminalistické praxi se často stává, že je potřeba analyzovat jednotlivé reálné varianty průběhu pohybové činnosti. Používají se figuranti nebo figuríny. To ale přináší svízele, velmi často není možné „odehrát“ celý děj tak, jak uvádějí jednotliví účastníci, vzniká tak v pohybové činnosti interval pohybu, který je neurčitý. Na něj mohou mít jednotliví zainteresovaní účastníci různý názor. I když se použijí figuríny, např. při objasňování pádu těla z výšky, vznikají nedokonalosti a neurčitost pohybu těla. Počítačové simulování vhodnými softwarovými programy zatím přibližuje realitu děje co nejpřesněji. V počítači lze variovat všechny reálné varianty pohybu a vyjádřit tak biomechanickou přijatelnost nebo nepřijatelnost pohybu člověka.

Uvedený simulační program je podle mého názoru velmi vhodný pro biomechanické modelování pohybové akce, umožňuje velmi reálně simulovat pohyb člověka.

## 12. Interpretace znaleckých závěrů

Teorie kriminalistické identifikace je učením o obecných principech ztotožňování různých objektů podle jejich odrazů, a to za účelem získání trestně procesních a jiných důkazů. Z tohoto důvodu má obecný význam jak pro kriminalistickou vědu, kriminalisticko-praktickou činnost, tak i pro teorii trestně procesního dokazování. Učení o kriminalistické identifikaci je speciální kriminalistickou teorií a kriminalistická identifikace je specifická metoda kriminalistické praktické činnosti. Cílem kriminalistické identifikace je určení vztahu objektu ke stopě nebo jinému zobrazení. Zjistit totožnost v kriminalistice znamená stanovit, že na určitém odrážejícím objektu se zobrazil určitý odražený objekt.

Mezi krajními hranicemi individuální identifikace a určením skupinové příslušnosti je možné v některých případech zúžit množinu hledaných objektů na základě výpočtu hladiny pravděpodobnosti. Pravděpodobnostní hledisko vytváří jakýsi „filtr, který propouští“ jen ty objekty, které splňují jisté a definované podmínky.<sup>237</sup> Pojem stochastického, tj. pravděpodobnostního zúžení skupinové příslušnosti se objevuje v kriminalistické literatuře již v minulosti, např. Růža uvažoval o možnosti využití pravděpodobnostního hlediska při kombinaci různých druhů textilních vláken (mikroskop).<sup>238</sup> Pomocí teorie podmíněné pravděpodobnosti dospěl k matematickému stupni identifikačního pohledu na objekt.

V posledních letech se začínají využívat v procesu identifikace stochastické modely. Zejména jsou velmi dobře rozpracovány v analýze DNA. Identifikace osoby podle genetického profilu je dnes ve forenzních vědách a justici přijímána jako zcela standardní a přesná metoda, ale za některých okolností může její spolehlivost výrazně klesat a identifikační hodnotu lze pak vyjádřit stochastickým modelem.<sup>239</sup> Pojem stochastický (z řec. *stochastiké techné*, umění uhádnout, trefit se) znamená náhodný, nahodilý. Protikladem je deterministický. Klasický příklad stochastického jevu je házení hrací kostkou nebo mincí, protože výsledek se nedá jednotlivě předvídat, nicméně velké množství takových jevů se dá zkoumat statisticky, co do pravděpodobnosti výsledků.

V řadě případů nelze dospět k završení identifikačního zkoumání a dovést proces kriminalistické identifikace do stadia individuální identifikace. Jedná se např. o následující příčiny:

- objekt, který přijímá kriminalistickou stopu, nemá vhodné vlastnosti a stopa následně nevykazuje dostatek specifických identifikačních znaků,
- objekt, který vytváří kriminalistickou stopu, má velký počet funkčních částí, které se postupně odrážejí, jejich odrazy se vzájemně překrývají a vytvářejí tak nevyhodnotitelnou změť znaků (např. pily, pilníky, brusné kotouče, úhlové brusky), ke stejné situaci dojde i v případě opakovaného působení odraženého objektu na jednom místě (zhmožděné stopy),
- v časovém období od vzniku kriminalistické stopy do vzniku srovnávacího materiálu došlo k výrazným změnám odraženého objektu,
- pracovníkům policie se nezdařilo sestavit soubor prověřovaných objektů tak, aby jeho součástí byl i objekt hledaný,

<sup>237</sup> STRAUS, J. Stochastická identifikace v kriminalistice. *Kriminalistika*, 2, 1996.

<sup>238</sup> RŮŽA, J. *Mikroskopy*. Praha: Kriminalistický ústav, 1981.

<sup>239</sup> SLOVÁK, D., ZVÁROVÁ, J. *Stochastické modely v procesu identifikace*. EJBI – Ročník 7 (2011), číslo 1, s. 44–50

- hledaný objekt již neexistuje (např. pachatel po spáchání trestné činnosti spálil rukavice),
- pracovníci policie se dopustili hrubých chyb (např. při zajišťování a zasílání stop, jejich zkoumání apod.), a znemožnili tak provedení individuální identifikace – jedná se o typickou subjektivní příčinu, která může mít za následek vyvození odpovědnosti vůči viníkům.

S problémem stochastické shody, tj. „stochastické identifikace“ souvisí i **problematika kategorických a pravděpodobnostních závěrů znalce (znaleckých posudků)**. U znalců, nejen u nás, neexistuje jednotný názor na stupně verbálního vyjádření nekategorických závěrů, u soudců je pak problém vyrovnat se s pravděpodobným závěrem u důkazů, jež jsou rozhodující.

Pravděpodobnost, že nastane určitý děj, nebo že při daném rozptylu vstupních hodnot se hodnoty výsledku výpočtu budou pohybovat v určitém rozmezí, je možno stanovit na základě zákonů matematické teorie pravděpodobnosti. Výpočty provedené v celém rozmezí hodnot, jak je obvyklé např. při analýze dopravních nehod, jsou často brány tak, jako by v celém tomto rozmezí hodnoty měly všechny stejnou pravděpodobnost.<sup>240</sup>

Zejména v trestním řízení to má jistě své opodstatnění vzhledem k presumpci nevinny resp. principu „in dubio pro reo“ - v pochybnostech ve prospěch. Ve skutečnosti je však podstatně vyšší pravděpodobnost u hodnot, jež se blíží průměru (střední hodnotě), a podstatně menší je pravděpodobnost u těch, jež jsou od průměru dále - čím dále, tím je pravděpodobnost nižší. U tzv. normálního rozdělení pravděpodobnosti je grafickým vyjádřením této skutečnosti známá Gaussova křivka normálního rozdělení.

Při slovním vyjádření stupně pravděpodobnosti právníci obvykle rozlišují:

0 %	nemožnost, aby děj nastal
do 50 %	možnost, že děj nastal
50–60 %	pravděpodobnost, že děj nastal
60–70 %	převažující pravděpodobnost, že děj nastal
70–85 %	velká (vysoká) pravděpodobnost, že děj nastal
85–97(99) %	velmi vysoká pravděpodobnost, že děj nastal
97(99) % a více	pravděpodobnost hraničící s jistotou
100 %	jistota, že děj nastal

Z matematického hlediska je při určování pravděpodobnosti třeba vycházet z teorie chyb a počtu pravděpodobnosti; zde za obvyklý interval spolehlivosti (tzv. technická jistota) bereme, jak výše uvedeno, průměrnou hodnotu  $\pm 2,5 s$ , což reprezentuje pravděpodobnost 98,76 %.

Rozdílná bude zřejmě možnost aplikace pravděpodobných závěrů znalce v různých druzích řízení. Pokud celý rozsah použitých vstupních hodnot (např. z literatury) bude znamenat jednoznačný právní závěr, nebude ekonomické usilovat o jejich další zpřesnění. Pokud by však rozsah výsledků znaleckého posudku zasahoval při právním hodnocení do různých záběrů právních, bude třeba uvážit, zda příp. jak je možno vstupní údaje (příp. i matematické modely) upřesnit, a projednat další postup (rovněž i z hlediska ekonomického).

Jsou obory, kdy lze vyjádřit shodu zcela jasně **kvalitativně**, lze ji vyjádřit nějakým číslem (daktyloskopie, genetika). Pak jsou obory, které jsou založeny na přesném

<sup>240</sup> BRADÁČ, A. a kol. Soudní inženýrství. Brno: CERM, 1997, 1999.

technickém zkoumání markantů ve stopě a srovnávacím materiálu (identifikujících objektech), např. v oborech trasologie, kriminalistické balistiky, mechanoskopie. V těchto oborech se nejprve posuzují např. rozměry a poté markanty, které vznikly nahodile, např. používáním nebo opravami. V komplexu těchto markantů může znalec vyjádřit **míru pravděpodobnostní shody**.

**Závěry znaleckého zkoumání lze rozdělit na dvě skupiny.** Jednak na obory, kde výsledek je možné opřít o exaktně a konkrétně vyjádřené hodnoty. Např. závěr v daktyloskopické identifikaci určený dostatečným počtem markantů (10 a více) je závěr o jednoznačné identifikaci osoby. Dále to jsou obory, které jsou založeny na přírodovědném a technickém zkoumání, ale výsledek identifikačního zkoumání závisí na vnitřním přesvědčení znalce. Pravděpodobný závěr znalce je pouze kvalifikovaný odhad znalce na hodnocené podklady a zjištěné skutečnosti. Při stanovení pravděpodobnostních závěrů znalce je potřeba postupovat vždy velmi obezřetně.

### **Bayesova pravděpodobnost**

Využití statistického a obecně matematického aparátu v kriminalistické identifikaci je velmi často spojováno s nechtím porozumět podstatě pravděpodobnosti. Existuje obecný názor, že statistika je těžko pochopitelná a vyžaduje dobrý matematický základ. Toto tvrzení je pravdivé jen zčásti. Jedním z hlavních kroků pro snadné používání statistiky pro forenzní účely, je naučit se logicky uvažovat při interpretaci důkazů. Způsobů takového uvažování je hodně a neexistuje žádný „jediný správný“. Důležité ale je, aby znalec neporušil pravidla inferenční logiky a byl schopen odůvodnit svůj vybraný způsob.<sup>241</sup>

Je nutné, aby znalec věděl, kde má jaký postup použít, a při použití více vzorců rozumět, proč a jak se mění výsledná hodnota. Čím jsou používané laboratorní metody přesnější a citlivější, tím více se zabýváme otázkou, nakolik jsou výsledky těchto metod bezchybné. Jinak řečeno, jak jsme si jisti závěrem, který z těchto výsledků vyvodíme? Když v současné době ztotožňujeme vzorek z místa činu a vzorek podezřelého a oba vzorky se shodují, výsledkem bude pravděpodobně číslo, které je vysoko na škále hodnocení důkazu. Co znamená toto číslo? Existuje v tomto případě alespoň malá nejistota, anebo se za žádných okolností nemohlo nic stát jinak? Nejistota je běžnou součástí našeho každodenního života. Její přítomnost je neustálým připomenutím našeho ohraničeného poznání a neschopnosti kontrolovat každý jev, který nás ovlivňuje.

V analýze důkazů hraje určování nejistoty jednu z klíčových rolí. Při interpretaci výsledků ve forenzních vědách se míra nejistoty ohledně souzeného činu mění. Nejistota klesá anebo roste, ale nikdy nemizí úplně. Přehlednutá nejistota ve znaleckém posudku může během soudního procesu vyústit v nespravedlivé odsouzení. Z pohledu soudce však tato nejistota musí být transformována do jednoznačného rozhodnutí: vinen nebo nevinen. Důvodem, proč používáme statistiku pro analýzu forenzních důkazů, je standardizace výsledků různých znalců a laboratoří a snaha interpretovat výsledky co nejobjektivněji.

Každý znalec má určitá kritéria, aby posoudil, zda důkaz svědčí pro jednu z uvažovaných hypotéz. Forenzní statistika a s ní spojené logické uvažování se snaží tato kritéria popsat matematicky. Nejistota je vždy přítomná, pokud se snažíme kvantifikovat jev pomocí testování, experimentů anebo modelování. **Právě míra shody**

---

<sup>241</sup> <http://www.4n6gen.org/gallery/0/248>

zidkova\_uvod\_do\_inferencni\_logiky\_pro\_interpretaci\_forenznich\_dukazu.pdf

**mezi modelem a experimentálními daty je popisována pomocí nejistoty.**<sup>242</sup> Někdy se nejistota považuje za chybu, například chybu metody. Nejistota a chyba mají různé významy v rámci analýzy nejistoty při použití modelů. Nejistota modelování je definována jako *možná* nedostatečnost způsobená *nedostatkem znalostí*. Chyba modelování je definována jako *rozpoznatelná* nedostatečnost nezpůsobená nedostatkem znalosti.

Je potřeba mít stále na paměti, že používáme model, který aproximujeme k reálnému světu. Někdy jsou rozdíly mezi zvoleným modelem a skutečným světem zanedbatelné, jindy však nejsou. Záleží na předpokladech, které jsou obsaženy v modelu. Pokud víme o úskalích námi zvoleného modelu, dokážeme poznat, kdy tento model neodpovídá skutečnému světu, a je potřeba zahrnout tento fakt do interpretace výsledků, anebo vybrat jiný, vhodnější model.

Když řekneme „pravděpodobně“, máme na mysli odhad toho, že nastane jedna určitá situace ze všech možných situací. Existují dva typy pravděpodobnosti (Lucy, 2005). První typ pravděpodobnosti určujeme, pokud dokonale známe zkoumaný systém. Tuto pravděpodobnost zjistíme, pokud vydělíme počet případů, kdy nastal jev, celkovým počtem případů. Příkladem takovéto situace je například určování pravděpodobnosti toho, v kolika případech padne šestka při hodu kostkou. Známe všechny jevy, které mohou nastat, a pravděpodobnost toho, že nastanou. Víme taky, že dlouhodobě je pravděpodobnost toho, že padne šestka, 1/6. Druhý typ pravděpodobnosti nastává tehdy, pokud nemáme znalost o systému, ale snažíme se odvodit pravděpodobnost pozorováním tohoto systému. Například, provedli jste průzkum reprezentativního počtu lidí a zjistili jste, že 30 % z nich jsou kuřáci. Protože jste nezkoumali celou populaci ČR, váš odhad počtu kuřáků je založen na lidech, kteří se zúčastnili průzkumu.

Tato pravděpodobnost je schopná určit relativní proporce ve velkém počtu jevů, ale není schopná určit výsledek jedinečného jevu. Takový výrok znamená, že provádíme odhad, který je vždy subjektivní. Subjektivní ale nemusí znamenat vymyšlený a ve vědních oborech je velmi často založen na výsledcích výzkumu.

### **Stochastický charakter znaleckých závěrů.**

Při formulování závěrů o totožnosti, resp. určení skupinové příslušnosti se používají metody formální logiky. Závěry musí být jednoznačné, stručné a srozumitelné. Tomu nejlépe vyhovují kategorické soudy: obecně kladný, obecně záporný, částečně kladný a částečně záporný soud. V případech, kdy se znalci z jakékoli příčiny nepodaří dospět ke kategorické odpovědi, formuluje tzv. závěry pravděpodobné.<sup>243</sup> Jistota a objektivita závěrů kriminalistického identifikačního zkoumání je závislá na řadě faktorů, nejdůležitější z nich je úplnost vstupních podmínek pro analýzu a existenci matematického modelu sledovaného děje a stupeň jeho shody se skutečným průběhem, jednoznačnost právního předpisu, který je podkladem pro znalecký rozbor aj.<sup>244</sup> Pravdivého poznání lze dosáhnout cestou dostupného narůstání pravděpodobnosti (v případech, že je to možné) až do úrovně praktické pravdivosti. Neexistuje přesně vyhraněná hranice mezi pravděpodobností

---

<sup>242</sup> TARONI, Franco, BOZZA, Silvia, GARBOLINO, Paolo, BIEDERMANN, Alex, AITKEN, Colin. *Data Analysis in Forensic Science: A Bayesian Decision Perspective*. John Wiley & Sons, 2010, ISBN 0-470-99835-0.

<sup>243</sup> PORADA, Viktor. Teorie kriminalistické identifikace a její využití v procese dokazování trestní činnosti. In: ŠIMOVČEK, Ivan a kol. *Hodnoty trestného práva v teorii a praxi*. Trnava: TYPI UNIVERSITATIS TYRNAVIENSIS, 2012, s. 357–387.

<sup>244</sup> BRADÁČ a kol. *Soudní inženýrství*. Brno: CERM, 1999

a jistotou. I v případech, kdy proces znaleckého zkoumání je zcela algoritmizován a vyjádřen matematicky, má taková hranice podmíněnou, relativní pravdu a se zdokonalováním metod se může měnit a zpřesňovat.

V řadě znaleckých zkoumání je **znalecký závěr vysloven na základě subjektivního názoru znalce**, např. při identifikaci osoby podle ručního písma nebo při trasologické identifikaci obuvi, mechanoskopické identifikaci nástroje. Obecně se uvádí, že závěr znalce se opírá o zkušenosti a vědomosti znalce. Otázkou je, co to jsou „zkušenosti znalce“, je to délka praxe nebo počet zpracovaných znaleckých posudků? Stejně tak je otázkou i pojem „vědomosti znalce“, je zcela nezpochybnitelné, že znalec musí mít vzdělání v oboru a dlouholeté zkušenosti, dalším problémem je jeho další vzdělávání nebo publikační a přednášková aktivita, která by dokladovala jeho další soustavné vzdělávání.

V několika výjimečných oborech, jako je např. daktyloskopické zkoumání, je stanovení individuální identifikace dáno množstvím charakteristických identifikačních znaků (markantů). Odlišná situace je v dalších oborech např. v trasologii, mechanoskopii, kriminalistické balistice nebo při zkoumání ručního písma a identifikace pisatele. V těchto zkoumání je identita dána subjektivním hodnocením znalce a zpravidla je stanovena stupněm pravděpodobnosti. Pro stanovení stupně pravděpodobnosti se užívá verbální vyjádření. Nejde o formu matematické pravděpodobnosti, ani vyjádření procenty, ale o stupeň dokazatelnosti nálezu vzhledem ke zpracovatelnosti sporného materiálu a kvalitě materiálů srovnávacích.

Pravděpodobnost je často nevyhnutelným stupněm poznání. Jakékoliv poznání, zvláště vědecké, nelze vždy redukovat do kategorických soudů „ano-ne“, nýbrž často připouští různá částečná řešení, což platí i pro identifikační činnost. Nelze nutit znalce k tomu, aby činil pouze kategoricky potvrzující nebo negující závěr, jestliže nachází částečné řešení, které dává také určitou důkazní informaci. Z hlediska objektivnosti a přezkoumatelnosti výsledků znaleckého dokazování musí být zřejmé, jaké podklady byly v procesu kriminalistické identifikace k dispozici, jaké znalec použil vzorce, grafy a výpočetní programy, co znamenají jednotlivé veličiny vzorců, prameny z kterých pocházejí aj.

Stupeň individuální shody (neshody) je vždy spojen s určitou pravděpodobností. Klasifikace se v praxi pohybuje ve škále hodnot 1 až 5, kdy číslo 1 odpovídá závěru o jednoznačné shodě (100 %) stop na porovnávaných objektech. Číslo 2 vyjadřuje nižší stupeň individuální shody, kdy formulace „s velkou pravděpodobností ano“ (75 %). Číslo 3 postihuje situaci, kdy nelze dospět k jednoznačnému závěru o shodě/neshodě (50 %). Stupeň 4 vyjadřuje stanovisko experta, kterým se přiklání spíše k individuální neshodě s formulací: „s velkou pravděpodobností ne“ (25 %). Číslo 5 znamená vyloučení možnosti, že by zajištěná kriminalistická stopa měla jakoukoliv spojitost s objektem identifikačního zkoumání (0 %).<sup>245</sup>

**Hodnocení znaleckého posudku** se realizuje podle kritérií, jež mají trojí povahu,<sup>246</sup> jednak je to právní korektnost důkazu, pak důkazní význam (relevance) znaleckého posudku a za třetí je to hodnocení věrohodnosti znaleckého posudku. Při posuzování věrohodnosti je nutné přihlížet k následujícím kritériím – za první je to způsobilost osoby znalce (znaleckého ústavu) poskytovat věrohodné znalecké posudky, za druhé úplnost a bezvadnost podkladových materiálů a za třetí odbornou odůvodněnost znaleckého posudku.

---

<sup>245</sup> PLANKA, B., a kol. *Kriminalistická balistika*. Plzeň: Aleš Čeněk, 2009., PLANKA, B., STRAUS, J. *Kriminalistická balistika – praktické cvičení*. Praha: PA ČR, 2010.

<sup>246</sup> MUSIL, J. Hodnocení znaleckého posudku. *Kriminalistika* 3, 2010.

V posledních letech vyvíjí v tomto směru výraznou aktivitu např. organizace European Network of Forensic Science Institutes (ENFSI). Vytváří pro konkrétní znalecké obory standardizované znalecké testy, kterými prochází forenzní znalecké ústavy členských států (u nás se to týká Kriminologického ústavu v Praze). Odborná kvalita a úroveň je garantována nezpochybnitelnou odbornou autoritou této organizace.

Odborné sekce ENFSI se věnují také otázce pravděpodobnosti závěrů identifikačního zkoumání, například v oblasti trasologických zkoumání je v odborné komunitě znám „holandský model“ stanovení pravděpodobnosti trasologické identifikace.<sup>247</sup> Tento model je založen na tom, že se systematicky shromažďují drobné tvarové charakteristiky markantů poškození podešve obuvi a empiricky zjištěné pravděpodobnosti výskytu. Vytvořený matematický model je schopen vyjádřit hladinu pravděpodobnosti identifikace obuvi. Tato pravděpodobnost je vyjádřitelné verbálně také v pětistupňovém rozsahu.

V souvislosti se systémovým přístupem a využíváním matematických metod, matematického a kybernetického modelování vyplývá řada otázek, týkajících se zejména přípustnosti závěru experta, získaných čistě těmito metodami. Problémy vznikají nejenom se samotnou automatizací identifikačního zkoumání, ale zejména s využíváním závěrů, resp. výsledků zkoumání zpracovaných výpočetní technikou v případech, že výpočetní technika nebude pouze pomocným prostředkem tradičních metod zkoumání, ale rozhodujícím prostředkem identifikačního zkoumání vůbec. Základní důvody pro pochybnosti o přípustnosti těchto metod v identifikačních zkoumáních spočívají v tom, že není známo, jaké konkrétní identifikační znaky byly základem analýzy i odpovědi zpracované výpočetní technikou.

ENFSI vydala pro metodická doporučení pro hodnocení znaleckých posudků ve forenzních vědách.<sup>248</sup> Tento dokument<sup>249</sup> poskytuje soudním znalcům doporučený rámec pro tvorbu znaleckých posudků a souvisejících požadavků pro soudní spis. Výsledkem znaleckého hodnocení je závěrečné hodnocení, které v konečném důsledku vede k přesvědčivosti zjištění v kontextu tvrzených skutečností.

Hodnocení znaleckých zjištění před soudem využívá jako míru nejistoty pravděpodobnosti. Ta vychází ze zjištění, souvisejících údajů a odborných znalostí, konkrétních hypotéz v dané věci a podmiňujících informací.

Hodnocení pravděpodobnosti závěrů vychází z určení věrohodnostního poměru. Praxe v oblasti zpracování zpráv by měla postupovat v souladu s těmito logickými zásadami. **Tento rámec pro hodnotící zprávy se vztahuje na veškeré obory forenzní vědy.** Věrohodnostní poměr měří věrohodnost s níž se lze o zjištění opřít při odlišení předmětných hypotéz. Je vědecky přípustný, poskytuje logicky obhajitelnou možnost, jak se vypořádat s deduktivním úsudkem.

Vyjádření k věrohodnosti vědeckých zjištění bude splňovat následující čtyři požadavky: **vyváženost, logika, robustnost a transparentnost.** Tyto požadavky jsou splněny následujícími zásadami znaleckého hodnocení.

**Vyváženost** – zjištění je třeba vyhodnocovat alespoň na základě dvojice hypotéz: jedna obvykle vychází z tvrzení jednoho účastníka řízení a druhá

---

<sup>247</sup> KEEREWEER, I., Van BREST, M., van de VELDE, J. M. *Guideline for Evaluating and Drawing Conclusions in Comparative Examination of Shoeprints*. In: Information Bulletin for Shoeprint Toolmark Examination, Vol. 6, No 1, 2000.

<sup>248</sup> ENFSI guideline for evaluative report in Forensic science, 2015. <http://enfsi.eu/documents/forensic-guidelines/>

<sup>249</sup> Zpracování tohoto dokumentu vychází z předchozích prací vydaných Association of Forensic Science Providers (AFSP, 2009).

z alternativního popisu událostí (druhým účastníkem řízení). Pokud nelze formulovat alternativu, nelze věrohodnost zjištění posuzovat. V tomto případě soudní znalci jednoznačně uvedou, že se nevyjadřují k věrohodnosti zjištění.

**Logika** – znalecké posudky by se měly zabývat pravděpodobností zjištění uvedených v hypotézách a příslušných podkladech, a nikoliv pravděpodobností hypotéz z hlediska zjištění a podkladů. Zpráva by neměla obsahovat podmíněné výroky.

**Robustnost** – posudek by měl obstát při podrobnému zkoumání jiným znalcem. Měl by vycházet z přiměřených znalostí a zkušeností s typem stop a použitím jen údajů uvedených ve spisovém materiálu. Pokud nejsou k dispozici dostatečné údaje, přístup věrohodnostního poměru poskytuje znalci rámec pro strukturované a logické odůvodnění na základě jeho zkušeností, pokud dokáže objasnit důvody pro své stanovisko společně s mírou porozumění konkrétnímu typu stopy.

**Transparentnost** – závěry uvedené ve znaleckém posudku by měly vycházet z prokazatelného postupu ve spisu a zprávě. Posudek by měl být sepsán způsobem, který je vhodný pro široký okruh čtenářů (tzn. účastníků v soudním systému). Může obsahovat doplňující údaje, objasňují odborné technické otázky.

### **Zásady hodnocení forenzní vědy**

Volba pravděpodobnosti jako měřítka nejistoty nabízí tři zásady hodnocení ve znaleckých závěrech forenzních věd:<sup>250</sup>

1. Pravděpodobnostní vyjádření závěrů znaleckého posudku vychází pouze z podkladů daného případu, informací získaných v rámci řešení konkrétního případu.
2. Závěr je smysluplný pouze tehdy, když se zabývá dvěma nebo vícero vzájemně rozpornými hypotézami.
3. Úkolem soudního znalce je zvážit pravděpodobnost zjištění ve vztahu k řešeným hypotézám, a nikoliv samotnou pravděpodobnost hypotéz.

### **Věrohodnostní poměr**

Věrohodnostní poměr je měřítkem relativní věrohodnosti opory, kterou konkrétní zjištění svědčí ve prospěch jedné hypotézy oproti uvedené alternativě.<sup>251</sup> Je stanoven jako poměr dvou podmíněných pravděpodobností: pravděpodobnost zjištění, pokud platí jedna hypotéza a podmíněné informace; a pravděpodobnost zjištění, pokud platí druhá hypotéza a podmiňující informace. Tyto dvě podmíněné pravděpodobnosti tvořící věrohodnostní poměr je nutno přiřadit na základě veřejných dat nebo souboru údajů, které lze zpřístupnit k odbornému zkoumání. Dále lze při nepřítomnosti těchto údajů využít znalostí a zkušeností. Je nutno uvést veškerá použitá východiska. Z použití věrohodnostního poměru obecně nevyplývá, že jedna ze dvou uvažovaných hypotéz musí být pravdivá. Přestože se zvažované hypotézy jeví jako nejvíce relevantní, nemusejí být taxativním výčtem, proto mohou být obě hypotézy nepravdivé. Věrohodnostní poměr o hypotézách nevyovídá nic jiného než to, že byly zvažovány.

Pravděpodobnost představuje pojetí, jehož prostřednictvím lze vyjádřit nejistotu (ohledně události, nebo obecně, neznámý stav skutečností). Zákony pravděpodobnosti definují hodnoty, jakou může pravděpodobnost mít, a způsob

<sup>250</sup> EVETT, I. W., JACKSON, G., LAMBERT, J. A., MCCROSSAN, S. The Impact of the Principles of Evidence Interpretation on the Structure and Content of Statements, Science and Justice, 2000b, 40, p. 233–239.

<sup>251</sup> AITKEN, C. G. G., TARONI, F. Statistics and the Evaluation of Evidence for Forensic Scientists, Chichester: John Wiley & Sons, 2004.



kombinace pravděpodobností.<sup>252</sup> V kruzích soudních znalců a soudní oblasti obecně je užitečné vnímat pravděpodobnost jako podmíněnou informacemi dostupnými osobám, které ji přiřazují (tj. veškerá pravděpodobnost je podmíněna). Pravděpodobnosti lze odhadovat z číselných údajů (tam, kde jsou dostupné a známé jako objektivní pravděpodobnost) nebo ji uvést jako míru osobního přesvědčení (subjektivní pravděpodobnost).<sup>253</sup>

### **Pravděpodobnost subjektivní**

Vaše subjektivní pravděpodobnost je mírou vašeho přesvědčení o průběhu události. Tuto míru představuje číslo od 0 do 1. Na tyto pravděpodobnosti se vztahují zákony pravděpodobnosti, ve stejném rozsahu, v jakém se vztahují na vypočtenou pravděpodobnost. Míru přesvědčení lze získat prostřednictvím myšlenkových experimentů a možným získáním dalších informací prostřednictvím ad hoc fyzikálních pokusů malého rozsahu. Vyvozování odborných znalostí je více technicistní přístup ke zjištění subjektivní pravděpodobnosti.<sup>254, 255</sup>

Věrohodnostní poměr vychází z přiřazení pravděpodobnosti ke zjištění ve vztahu k vzájemně rozporným hypotézám. Východiska pro tato přiřazení je nutno zdokumentovat ve spisu. Kdykoliv je to možné, je třeba používat relevantní a veřejná data. Pokud nejsou vhodná veřejná data k dispozici, potom lze použít data z neveřejných zdrojů. Bez ohledu na existenci zdrojů (veřejných či nikoliv) číselných údajů, lze použít i osobní údaje, jako je zkušenost v podobných případech a konzultace s kolegy, za předpokladu, že soudní znalec může použití těchto dat odůvodnit. Pokud například hodnocení vychází ze zkušenosti, soudní znalec bude schopen prokázat příslušnou relevantní a zdokumentovanou předchozí odbornou praxi.

V případech, v nichž se lze s důkazním materiálem setkat jen vzácně, bude pravděpodobnost vyjádřena odbornými znalostmi a/nebo simulacemi nebo zjišťováním uzpůsobeným případu.

Soudní znalci se z části setkávají s obtížemi při přiřazování nebo zdůvodňování pravděpodobnosti, když přiřazení vycházejí z odborných znalostí. Věrohodnostní poměr však lze sdělit prostřednictvím subjektivní pravděpodobnosti za použití odborných znalostí. Takto přiřazené pravděpodobnosti lze stále vyjádřit číslem od 0 do 1 spíše, než blíže neurčeným označením (jako je časté, vzácné atd.). Takové přiřazení subjektivní pravděpodobnosti není svévolné ani spekulativní, ale vychází ze souborů znalostí, které lze podrobit zkoumání a zpřístupnit je. Soudní znalci by neměli mást příjemce odborných informací, pokud jde o základ osobního přiřazení a rozsah, v jakém se toto přiřazení opírá o vědecký výzkum. Soudní znalci by měli zvážit prověření citlivosti věrohodnostního poměru na různé pravděpodobnosti prozkoumáním vlivů přiřazení různých pravděpodobností podle své osobní nejistoty.

Závěr by měl vyjadřovat míru opory poskytnutou znaleckým zjištěním ve prospěch jedné hypotézy oproti stanoveným alternativám v závislosti na stupni věrohodnostního poměru (VP).

---

<sup>252</sup> AITKEN, C. G. G., TARONI, F. *Statistics and the Evaluation of Evidence for Forensic Scientists*, Chichester: John Wiley & Sons, 2004.

<sup>253</sup> TARONI, F., AITKEN, C. G. G., GARBOLINO, P. De Finetti's subjectivism, the assessment of probabilities and the evaluation of evidence: a commentary for forensic scientists, *Science & Justice*, 2001, 41, p. 145–150. Thompson W. C.

<sup>254</sup> O'HAGAN, A. et al. *Uncertain judgements: eliciting experts' probabilities*, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2006.

<sup>255</sup> TARONI, F., AITKEN, C. G. G., GARBOLINO, P. De Finetti's subjectivism, the assessment of probabilities and the evaluation of evidence: a commentary for forensic scientists, *Science & Justice*, 2001, 41, p. 145–150. Thompson W. C.

Míra opory se bude vztahovat ke stupni věrohodnostního poměru. Věrohodnostní poměr lze vyjádřit verbálním ekvivalentem v souladu se škálou závěrů.<sup>256</sup> Níže uvedený příklad slouží pouze k ilustrativním účelům:

Hodnoty* věrohodnostního poměru	Verbální ekvivalent (doporučují se dvě možnosti formulace)
1	Znalecká zjištění neposkytují oporu ve prospěch jedné hypotézy oproti druhé.  Znalecká zjištění neposkytují pomoc v řešení otázky.
2–10	Znalecká zjištění poskytují slabou oporu ** ve prospěch první hypotézy relativně ve vztahu k alternativní hypotéze.  Znalecká zjištění svědčí s nepatrně vyšší pravděpodobností ve prospěch jedné hypotézy než druhé.
10–100	... poskytují mírnou oporu ve prospěch první hypotézy než pro alternativní hypotézu  ... svědčí s vyšší pravděpodobností v prospěch... hypotézy... než pro hypotézu...
100–1000	... poskytují středně silnou oporu pro první hypotézu než pro alternativní hypotézu  ... jsou zjevně pravděpodobnější v souvislosti s ... hypotézou... než v souvislosti s hypotézou ...
10 000–1 000 000	... svědčí silně ve prospěch první hypotézy než pro alternativní hypotézu  ... jsou mnohem pravděpodobnější v souvislosti s ... hypotézou ... než hypotézou ...
1 000 000 a více	... spíše mimořádně silně pro první hypotézu než pro alternativní hypotézu  ... jsou naprosto více pravděpodobné v souvislosti s ... hypotézou ... než hypotézou
<p>* Věrohodnostní poměry odpovídající převrácené (1/X) hodnotě (X) vyjádří míru opory pro konkrétní alternativu oproti první hypotéze.  ** Soudní znalci nebo jejich podřízení by se měli vyvarovat vyvolání dojmu, že výroky podobného typu - „znalecká zjištění svědčí slabě ve prospěch první hypotézy oproti alternativní hypotéze“ – znamenají, že zjištění svědčí silně ve prospěch uvedené alternativní hypotézy. Znamená to jen, že zjištění jsou desetkrát pravděpodobnější, pokud platí první hypotéza, než pokud by byla pravdivá druhá hypotéza. To je i důvod, proč je třeba výslovně uvést alternativní hypotézu. V případech, v nichž může dojít ke zmatení adresáta výše uvedeným způsobem, by soudní znalec měl přidat doplňující komentář.</p>	

Otázka vhodně vysoké pravděpodobnosti je různá, např. teoretičtí fyzici si stanovili pro objev nové částice potřebnou pravděpodobnost jedna ku deseti milionům,<sup>257</sup> v procentech je to vyjádřeno 99,99999 %.

V jiných oborech je hranice pro potvrzení hypotézy obvykle mnohem nižší. Například v medicíně nebo v biologii to často bývá jedna ku dvaceti, takovou jistotu lze vyjádřit v procentech jako 95 %.

<sup>256</sup> NORDGAARD, A., ANSELL, R., DROTZ, W., JAEGER, L. Scale of conclusions for the value of evidence, *Law, Probability and Risk*, 2012, 11, p. 1–24.

<sup>257</sup> [http://technet.idnes.cz/experiment-nahoda-0my-/veda.aspx?c=A161101\\_111506\\_veda\\_kuz](http://technet.idnes.cz/experiment-nahoda-0my-/veda.aspx?c=A161101_111506_veda_kuz)

Pravděpodobnostní vyjádření identifikace objektu je často nevyhnutelným stupněm poznání v kriminalistickém zkoumání. Jakékoliv poznání, zvláště vědecké, nelze vždy redukovat na jednoduchou alternativu podle schématu „buď ano, nebo ne“, nýbrž často připouští různá částečná řešení, což platí i pro znaleckou činnost. Nelze nutit znalce k tomu, aby činil pouze kategoricky potvrzující nebo negující závěr, jestliže nachází částečné řešení otázky, které dává také určitou důkazní informaci.

Jestliže spojení faktů (i zjištěných znalcem) je běžné, činí následné logické závěry vyšetřovatel, soud ap. Jestliže však výklad faktů potřebuje speciální znalosti, může o nich závěr učinit pouze znalec. Potom je znalec povinen zformulovat svůj závěr tak, aby vysvětlil, do jaké míry (jakým stupněm pravděpodobnosti) je možno zdůvodnit odpověď na položenou otázku.

## Literatura

1. AITKEN, C. G. G., TARONI, F. *Statistics and the Evaluation of Evidence for Forensic Scientists*, Chichester: John Wiley & Sons, 2004.
2. AITKEN, C. G. G., ROBERTS, P., JACKSON, G. *Fundamentals of Probability and Statistical Evidence in Criminal Proceedings, Guidance for Judges, Lawyers, Forensic Scientists and Expert Witnesses, Practitioner Guide No. 1*, Working Group on Statistics the Law of the Royal Statistical Society, 2011. <http://www.rss.org.uk/Images/PDF/influencing-change/rssfundamentals-probability-statistical-evidence.pdf>
3. ANDERSON, T., SCHUM, D., TWINING, W., *Analysis of Evidence*, Second Edition, Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
4. Association of Forensic Science Providers (AFSP), *Standards for the formulation of evaluative forensic science expert opinion*, *Science & Justice*, 2009, 49, 161–164.
5. ACKERMANN, O. R., KORISTKA, C., LEONHARDT, R., NISSE, R., WIRTH, I. Zum Stellenwert der Kriminalistik. *Kriminalistik als Wissenschaft im System der Kriminalwissenschaften. Kriminalistik*, 2000, 9, s. 595–598.
6. ADAM, J., PAAS, F., BUEKERS, M., WUYTS, I., SPIJKERS, W., WALLMEYER, P. Gender differences in choice reaction time: evidence for differential strategies. *Ergonomics*, 1999, Vol. 42.
7. AMBLER, Z. *Základy neurologie*. 6. vyd. Praha. Nakladatelství Galén, 2006. ISBN 80-7262-433-4.
8. ANDO, S., KIDA, N., ODA, S. Practice effects on reaction time for peripheral and central visual fields. *Perceptual and Motor Skills*, 2002, Vol. 95, No. 3.
9. ANDO, S., KIDA, N., ODA, S. Retention of practice effects on simple reaction time for peripheral and central visual fields. *Perceptual and Motor Skills*, 2004, Vol. 98, No. 3.
10. ANDRIACCHI, P. T., OGLE, J. A., GALANTE, I. O. Walking speed as a basis for normal and abnormal gait measurements. *Journal of Biomechanics*, 10, 1977.
11. ATAMTURK, D., DUYAR, I. Age-Related Factors in the Relationship Between Foot Measurements and Living Stature and Body Weight. *Journal of Forensic Science* November 2008, Vol. 53, No. 6.
12. BELENKY, G. Caffeine maintains vigilance and marksmanship in simulated urban operations with sleep deprivation. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*. 2005, Vol. 76, No. 1.
13. BERTILLON, A. *La Photographie judiciaire, avec un appendice sur la classification et l'identification anthropométriques*. Paris: Gauthier-Villars et fils, 1890.
14. BERTELSON, P. The time course of preparation. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1967, Vol. 19.
15. BĚLKIN, R. S. *Kurs sovetskoj kriminalistiky*. Moskva: Akademia MVD SSSR, 1977.
16. BHATNAGAR, D. P., THAPAR, S. P., BATISH, M. K. Identification of personal height from the somatometry of the hand in Punjabi males. *Forensic Science International*, 24, 1984.

17. BIEDERMANN, A., TARONI, F. Bayesian networks and probabilistic reasoning about scientific evidence when there is a lack of data, *Forensic Science International*, 2006.
18. BLAŽEK, P., VALEŠKA, J., PORADA, V. *Expertiza ručního písma*. Praha: KÚ VB, 1984.
19. BRADÁČ, A. a kol. *Soudní inženýrství*. Brno: CERM, 1999.
20. BORKOWSKI, K. *Kryminalistyczna identyfikacja śladów stóp*. Warszawa, 2013, Wydawnictwo Centralnego Laboratorium Kryminalistycznego Policji insitutu badawczego.
21. BOTWINICK, J., THOMPSON, L. W. Components of reaction time in relation to age and sex. *Journal of Genetic Psychology*, 1966, Vol. 108.
22. BRADÁČ, A. a kol. *Soudní inženýrství*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1997.
23. CAVAGNA, G., MARGARIA, R. *Mechanics of Walking*. *Journal of Applied Physiology*, 1, 1966.
24. CAPPOZZO, A., LEO, T., PEDOTTI, A. *A General Computing Method for the Analysis of Human Lokomotion*. *Journal of Biomechanics*, 8, 1975.
25. COOK, R., EVETT, I. W., JACKSON, G., JONES, P. J., LAMBERT, J. A. A hierarchy of propositions: deciding which level to address in casework, *Science & Justice*, 1998a, 38, 231–239.
26. COOK, R., EVETT, I. W., JACKSON, G., JONES, P. J., LAMBERT, J. A. A model for case assessment and interpretation, *Science & Justice*, 1998b, 38, 151–156.
27. CRATTY, B. J. *Movement Behavior and Motor Learning*. Philadelphia, 1973.
28. DANKO, F. *Reakční čas na náhodný podnět vyžadující komplexní motorickou odezvu*. Bakalářská práce (vedoucí: J. Straus), Praha: PA ČR, 2009.
29. DANKO, F. *Reakční čas na náhodný podnět vyžadující komplexní motorickou odezvu*. Bakalářská práce, Praha: PA ČR, 2009.
30. DANKO, F. *Biomechanická analýza pádů způsobených narušením postoje a chůze*. Diplomová práce (vedoucí J. Straus), Praha: PA ČR, 2012.
31. DAVIS, K. T. The foot length to stature ratio. In: *Anthropology a thesis in anthropology. Submitted to the Graduate Faculty of Texas Tech University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Arts*. 1990.
32. DEMIRARSLAN, H. Visual information processing and response time in traffic signal cognition. [online]. [cit. 9. 10. 2008].
33. DE LEVA, P. Adjustments to Zatsiorsky-Selunayov's segment inertia parameters. *Journal of Biomechanics*, September 1996, Vol. 29, No. 9, ISSN 0021-9290, p. 1223–1230.
34. DHANERIA, V., SHRIVASTAVA, M., MATHUR, R. K., GOYAL, S. Estimation of Height from Measurement of Foot Breadth and Foot Length in Adult Population of Rajasthan. *Indian Journal of Clinical Anatomy and Physiology* 2016; 3(1):78-82.
35. DROCHYTKA, R., SRŠEŇ, P., DRÍNOVSKÝ, L. Postřehy z řešení revizních znaleckých posudků. *Soudní inženýrství*, č. 2., ročník 16, 2005.

36. EPPINGER, M. et al. Development of Improved Injury Criteria for the Assessment of Advanced Automotive Restraint System-II. NHTSA, Nov. 1999, March 2000. [Http://www.mchenrysoftware.com/HIC%20and%20the%20ATB.pdf](http://www.mchenrysoftware.com/HIC%20and%20the%20ATB.pdf) [online]. 2000.
37. EPPINGER, R., SUN, E., KUPPA, S., SAUL, R. Reports to National Highway Safety Administration. (2000). Supplement: Development of improved injury criteria for the assessment of advanced automotive restraint systems-II. Retrieved March 23, 2005 from [http://www-nrd.nhsta.dot.gov/pdf/nrd-11/airbags/finalrule\\_all.pdf](http://www-nrd.nhsta.dot.gov/pdf/nrd-11/airbags/finalrule_all.pdf).
38. EVETT, I. W., JACKSON, G., LAMBERT, J. A., More on the hierarchy of propositions: exploring the distinction between explanations and propositions, *Science & Justice*, 2000a, 40, 3–10.
39. EVETT, I. W., JACKSON, G., LAMBERT, J. A., MCCROSSAN, S. The Impact of the Principles of Evidence Interpretation on the Structure and Content of Statements, *Science and Justice*, 2000b, 40, 233–239.
40. EVETT, I. W., WEIR, B. Interpreting DNA Evidence, *Statistical Genetics for Forensic Scientists*, Sunderland (MA): Sinauer Associates, 1998.
41. EVETT, I. W., GILL, P., JACKSON, G., WHITAKER, J., CHAMPOD, C. Interpreting small quantities of DNA: the hierarchy of propositions and the use of Bayesian networks, *Journal of Forensic Sciences*, 2002, 47, 520–530.
42. EWUNONU, E. O, EGWU, A. O, ETEUDO, A. N, AJOKU, K. I. Bilateral Foot Asymmetry and Sexual Dimorphism in Young-Adult Igbo People of South-Eastern Nigeria. *European Journal of Biotechnology and Bioscience* 2014; 1 (4), pp. 01–05.
43. FIALKA, J. Biomechanika tupého poranění. *Sborník IV. symposia Kriminálnícké, soudně lékařské a soudně inženýrské aplikace biomechaniky*. Praha: IVVZ FMV, 1990, s. 67–75.
44. FRITSCHÉ, P. Biomechanical analysis of boxing. In: Morecki, K., Fidelus, K. et al. *Biomechanics*. Baltimore MD University Park Press, 1981, p. 343–349.
45. GARRETT, J. W., KENNEDY, K. W. *A Collation of Anthropometry*. National Technical Informational Service. 5285 Port Royal Road. Springfield. Virginia, 1971.
46. GILES, E., VALLANDIGAM, P. H. Height Estimation from Foot and Shoeprint Length. *Journal of Forensic Science*, Vol. 36, No. 4, 1991, p. 1134–1151.
47. GORDON, C. C., BUIKSTRA, J. E. Linear models for the prediction of stature from foot and boot dimensions. *Journal of Forensic Science*, May 1992; 37(3): 771–782.
48. GRIVAS, T. B., MIHAS, C., ARAPAKI, A., VASILADIS, E. Correlation of foot length with height and weight in school age children. *J Forensic Leg Med.* 2/2008, 15 (2): 89–95.
49. GROMOV, A. P. *Biomechanika travmy*. Moskva: Medicina, 1979, 271 s.
50. GROSS, H. *Handbuch für Untersuchungsrichter*. Graz: Universitäts Buchhandlung, 1893.
51. GREEN, M. How Long Does It Take To Stop? Methodical Analysis of Driver Perception-Brake Times. *Transportation Human Factors*, September 2000, No. 2.

52. HAYES, W. C., ERICKSON, M. S., POWER, E. D. Forensic Injury Biomechanics Annu. Rev. Biomed. Eng. 2007, 9, p. 55–86.
53. HICK, W. E. On the rate of gain of information. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1952, Vol. 4.
54. HICKLING, R., WENNER, M. L. Mathematical model of a head subjected to an axisymmetric impact. *J. Biomechanics*, Vol. 6, No. 2, 1973.
55. HRICAN, M. Biomechanická analýza kriminalistických stop odrážejících funkční a dynamické vlastnosti. Diplomová práce (vedoucí: J. Straus), Praha: PA ČR, 2009.
56. CHMELÍK, J. a kol. *Místo činu a znalecké dokazování*. Plzeň: A. Čeněk, 2005.
57. IVOR, J. et al. *Trestní právo, kriminalistika, bezpečnostní vedy a forenzní disciplíny v kontexte kontroly kriminality. Pocta prof. JUDr. Ing. Viktorovi Poradovi, DrSc, Dr. h. c. mult. k 70. narozeninám*. Plzeň: A. Čeněk, 2013, s. 905.
58. JACKSON, G., AITKEN C., ROBERTS, P. Case Assessment and Interpretation of Expert Evidence: Guidance for Judges, Lawyers, Forensic Scientists and Expert Witnesses, Practitioner Guide No. 4, Working Group on Statistics the Law of the Royal Statistical Society, 2014, <http://www.rss.org.uk/Images/PDF/influencing-change/rss-case-assessment-interpretationexpert-evidence.pdf>
59. JANDA, V., POLÁKOVÁ, Z., VÉLE, F. *Funkce hybného systému*. Praha: SZN, 1966.
60. JANÍČEK, P., ONDRÁČEK, E., PORADA, V. Identifikace objektů a systémů v mechanice, lékařství, biomechanice a kriminalistice. *Inženýrská mechanika*, 1996, č. 2.
61. JANÍČEK, P., RAK, R. Systémové pojetí identifikace nejen v kriminalistice. *Znalectvo*, 2000, č. 1.
62. JANÍČEK, P. Systémové pojetí vybraných oborů pro techniky. Hledání souvislostí. Brno: CERM, 2008.
63. KARAS, V., STRAUS, J. Tolerance organismu člověka na některé extrémní dynamické situace. In: *Biomechanika člověka*. 6. národní konference, Tichonice: ÚTAM AV, 1996.
64. KASANICKÝ, G., KOHÚT, P. Parametry zranenia. *Znalectvo*, 3-4, 1999, s. 6
65. KEEREWEER, I. Van BREST, M., van de VELDE, J. M. *Guideline for Evaluating and Drawing Conclusions in Comparative Examination of Shoeprints*. In: Information Bulletin for Shoeprint Toolmark Examination, Vol. 6, No 1, 2000.
66. KLIMEŠ, L. *Slovník cizích slov*. Praha: SPN, 1981.
67. KONRAD, Z., PORADA, V., STRAUS, J., SUCHÁNEK, J. *Kriminalistika. Teorie, metodologie a metody kriminalistické techniky*. Plzeň: A. Čeněk, 2014.
68. KONRÁD, Z., PORADA, V., STRAUS, J., SUCHÁNEK, J. *Kriminalistika - Kriminalistická taktika a metodiky vyšetřování*, Plzeň: A. Čeněk, 2015, 416 s., ISBN 978-80-7380-547-0.
69. KORSÁKOV, S. A. Suděbno-medicinskije aspekty biomechaniky udarnovo vzajmodějstvija tupovo tverdovo predmeta i golovy čeloveka. Suděbno-medicinskaja ekspertiza. XXXIV, 1991, 3.
70. KŘEN, J., ROSENBERG, J., JANÍČEK, P. *Biomechanika*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2001.

71. KING, A. I., VIANO, D. C. Chapter 6: Mechanism of Head/Neck. In *Biomechanics: Principles and Applications (2nd Edition)*. Boca Raton: CRC Press, 2008. S. 4, ISBN 978-0-8493-8534-6.
72. KIRAN KUMAR, J. V., SRIVASTAVA, A. K. Pattern of Injuries in Fall from Height. *J Indian Acad Forensic Med.* Jan-March 2013, Vol. 35, No. 1, pp. 47–50.
73. KUČERA, M. *Kvalitativní a kvantitativní změny bipedální lokomoce v průběhu vývoje*. Praha: UK, 1985.
74. LEE, J. D., CAVEN, B., HAAKE, S., BROWN, T. L. Speech-based interaction with in-vehicle computers: The effect of speech-based e-mail on drivers' attention to the roadway. *Human Factors*, 2001, Vol. 43, No. 4.
75. LIBOVICKÝ, R. *Míření při obranné situaci?* [cit. 25.1.2009]. Dostupné na: <[http://www.obranna-strelba.cz/Mireni-pri-obranne-situaci\\_\\_s110x136.html](http://www.obranna-strelba.cz/Mireni-pri-obranne-situaci__s110x136.html)>
76. LOO-MORREY, M., JEFFRIES, S. *Trip feasibility study*, s. 6 [online]. [cit. 13. 2. 2010-02-13]. Dostupné na: <[www.hse.gov.uk/research/hsl\\_pdf/2006/hsl0677.pdf](http://www.hse.gov.uk/research/hsl_pdf/2006/hsl0677.pdf)>
77. MANNING, D. P. Deaths and injuries caused by slipping, tripping and falling. *Ergonomics*, 1983, Vol. 26, No.1, p. 3–9. ISSN 1366-5847.
78. MERTZ, H. J., PRASAD, P., IRWIN, A. L. Injury risk curves for children and adults in frontal and rear collisions. Paper presented at: SAE CONFERENCE PROCEEDINGS P1997.
79. MUSIL, J., KONRÁD, Z., SUCHÁNEK, J. *Kriminalistika*. Praha: C. H. Beck, 2001.
80. MUSIL, J. Splňuje kriminalistika očekávání dnešní doby? *Sborník ze semináře, Bratislava: APZ*, 1995, s. 7–15.
81. MUSIL, J. Hodnocení znaleckého posudku. In *Kriminalistika*. 2010. č. 3
82. NAGATA, H., OHNO, H. Analysis of backward falls caused by accelerated floor movements using a dummy. *Industrial Health*, 2007, Vol. 45, p. 462–466. ISSN 1880-8026.
83. NARDE, A. L., DONGRE, A. P. Body Height Estimation Based on Foot Length and Foot Breadth. *J. Indian Acad. Forensic Med.* July-September 2013, Vol. 35, No. 3, pp. 245–248.
84. NĚMEC, B. a kol. *Učebnice kriminalistiky*. Praha: HSVB MV, 1959.
85. NEVITT, M. C., CUMMINGS, S. R., HUDES, E. S. Risk factors for injurious falls: a prospective study. *Journal of Gerontology*, September 1991, Vol. 46, No. 5, p. 164–170. ISSN 1758-535X.
86. NEVŠÍMALOVÁ, S., RŮŽIČKA, E., TICHÝ, J. *Neurologie*. 1. vyd. Praha: Galén, 2005. ISBN 80-7262-160-2. S. 163–170.
87. NOVÁK, J., SKOUPÝ, O., ŠPIČKA, I. *Sebeobrana a zákon*. Praha: Klavis, 1991.
88. NORDGAARD, A., ANSELL, R., DROTZ, W., JAEGER, L. Scale of conclusions for the value of evidence, *Law, Probability and Risk*, 2012, 11, 1–24.
89. O'HAGAN, A. et al., *Uncertain judgements: eliciting experts' probabilities*, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2006.
90. OTHMAN, Z. *Estimation of stature (body height) from foot, barefoot print and shoe print dimensions*. MSc Forensic Science, Universitait Amsterdam, 2010.



91. OZASLAN, A., KARADAYI, B., KOLUSAYIN, M. O., KAYA, A., AFSIN, H. *Predictive role of hand and foot dimensions in stature estimation*. Rom J Leg Med 20, 2012, pp. 41–46.
92. PAVOL, M. J., OWINGS, T. M., FOLEY, K. T., GRABINER, M. D. The Sex and Age of Older Adults Influence the Outcome of Induced Trips. *Journal of Gerontology*, 1999, Vol. 54A, No. 2, p. 103–108. ISSN 1758-535X.
93. PAVOL, M. J., OWINGS, T. M., FOLEY, K. T., GRABINER, M. D. Gait characteristics as risk factors for falling from trips induced in older adults. *Journal of Gerontology*, 1999, Vol. 54A, No. 11, p. 583–590. ISSN 1758-535X.
94. PAVROVSKÝ, J. Poranění lbi a mozku. Praha: Avicenum, 1977.
95. PAYNE, A. R., PATEL, S. *Project 427510*. MIRA 2001, Version 1.1.
96. PJEŠČAK, J. *Socialistická kriminalistika*. Praha: VŠ SNB, 1979.
97. PLANKA, B. a kol. *Kriminalistická balistika*. Plzeň: Aleš Čeněk, 2009.
98. PLANKA, B. STRAUS, J. *Kriminalistická balistika – praktické cvičení*. Praha: PA ČR, 2010.
99. PORADA, V. *Teorie kriminalistických stop a identifikace*. Praha: Academia, 1987.
100. PORADA, V. *Kriminalistická biomechanika*. In: VALENTA, J. a kol.: *Biomechanika*. Praha: Academia, 1985.
101. PORADA, V., STRAUS, J., KARAS, V. *Odhad somatických znaků člověka ze stop nohou*. Čs. kriminalistika, 4, 1992.
102. PORADA, V. a kol. *Kriminalistika. Technické, forenzní a kybernetické aspekty*. Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2016, 1018 s., ISBN 978-80-7380-589-0.
103. PORADA, V., STRAUS, J. *Kriminalistický experiment*. Soudní inženýrství č.5, 2000.
104. PORADA, V. et al. *Kriminalistika II*. Olomouc: PF UP, 1995.
105. PORTER, K. *Free fall trauma*. Trauma. 2006, č. 8. P. 157–167. ISSN 1460-4086 [online]. 2012 [cit.20.2.2012]. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1556-4029.2005.00026.x/abstract>
106. PRERAD, V., VYCHODIL, M. *Vyšetřovací experiment a rekonstrukce trestného činu*. Praha: AUC Iuridica, Monographia LIV, Univerzita Karlova, 1990.
107. PRERAD, V. *Vyšetřovací experiment*. Praha: Ústav kriminalistiky Právnické fakulty UK, 1972.
108. PRERAD, V. *Vyšetřovací pokus – problémy a pochybení při praktickém provádění a jejich procesní důsledky*. In *Bulletin advokacie*, 1997, č. 6–7, s. 55–71.
109. PRERAD, V. *Experiment*. Praha: Ústav kriminalistiky PF UK, 1992.
110. PRERAD, V., VYCHODIL, M. *Experiment a rekonstrukce trestného činu*. Praha: Univerzita Karlova, Monographia XIV, Iuridica 3/1990.
111. PROTIVINSKÝ, M. *Diskuse o postavení kriminalistiky v SRN pokračuje*. *Kriminalistika*, 2, 2001, s. 126–133.
112. RANI, M., TYAGI, A. K., RANGA, V. K., RANI, Y., MURARI, A. Stature estimates from foot dimensions, *Journal of Punjab Academy of Forensic Medicine & Toxicology*, 2011; 11(1).

113. REDFERN, M. S., MULLER, M., JENNINGS, J. R., FURMAN, J. M. Attentional dynamics in postural control during perturbations in young and older adults. *The Journals of Gerontology, Series A*, 2002, Vol. 57, No. 8.
114. ROBBINS, L. M. Estimating Height and Weight from Size of Footprints, *Journal of Forensic Sciences, JFSCA*, Vol. 31, No. 1, Jan. 1986, pp. 143–152.
115. ROSS, W. D., WILSON, N. C. *A Stratagem for Proportional Growth Assessment*. *Acta paediat. Belg.*, 28, 1974.
116. RŮŽA, J. *Mikroskopie*. Praha: Kriminalistický ústav, 1981.
117. SACHER, A. The application of forensic biomechanics to the resolution of unwitnessed falling accidents (Abstract). *Journal of forensic sciences*, September 1996, Vol. 41, No. 5. ISSN 0022-1198.
118. SAŽAJEVA, O. V. Optimizacija sudebno-medicinskoj diagnostiki mehanizmov travmy golovy pri padenii na ploskost'. Dizertační práce, *Sudebno-medicinskij žurnal*, Moskva, 2008.
119. SELIGER, V., VINAŘICKÝ, R., TREFNÝ, Z. *Fysiologie tělesných cvičení*. Praha: Avicenum, 1980.
120. SHAW, K. P., HSU, S. Y. Horizontal distance and height determining falling pattern. *Journal-of-Forensic-Sciences*. 1998; 43/4, p. 765–771.
121. SIELAFF, W. Kriminalistik im Europäischen Wandlungsprozess. *Kriminalistik*, 51, 1971, 1, S. 37–44.
122. SCHMITT, K. U., NIEDERER, P., WALZ, F. *Trauma Biomechanics*, Springer-Verlag, 2004.
123. SCHMITT, K. U. et al. *Trauma Biomechanics: Accidental injury traffic and sports*. Second Edition. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2007. 210 S. ISBN 978-3-540-73872-5.
124. SLOVÁK, D., ZVÁROVÁ, J. Stochastické modely v procesu identifikace. *EJBI – Ročník 7* (2011), číslo 1, s. 44–50.
125. SMEESTERS, C., HAYES, W. C., MCMAHON, T. A. Disturbance type and gait speed affect fall direction and impact location. *Journal of Biomechanics*, 2001, Vol. 34, p. 304–317. ISSN 0021-9290.
126. SMEESTERS, C., HAYES, W. C., MCMAHON, T. A. The threshold trip duration for which recovery is no longer possible is associated with strength and reaction time. *Journal of Biomechanics*, 1999, Vol. 34, No. 5, p. 589–595. ISSN 0021-9290.
127. STAPP, J. P. *Human and chimpanzee tolerance to linear decelerative force*. Ohio: Wright Air Development Center, 1952.
128. STRAKA, J., ZIMMER, J., CHMELÍK, J. Interpretace pravděpodobnostních závěrů v písmoznalectví. *Bulletin advokacie* č. 3, 2010.
129. STRNADOVÁ, H. *Vybrané parametry lokomoce a chodidla vzhledem k tělesné výšce jedince*. Praha: FTVS UK, Praha, 2014.
130. STRAUS, J. Tolerance lebky a mozku na vnější mechanické působení. *Soudní inženýrství*, 18, 2007, č. 1, s. 42–49.
131. STRAUS, J. Kriminalistika a policejní vědy. *Bezpečnostní teorie a praxe*, zvláštní číslo, 2000, s. 193–201.
132. STRAUS, J. *Aplikace forenzní biomechaniky*. Praha: Police History, 2001.

133. STRAUS, J. a kol. *Dějiny československé kriminalistiky*. Praha: Police history, 2003.
134. STRAUS, J., VAVERA, F. Dějiny československé kriminalistiky. *Policista*, 2004, č. 7, příloha.
135. STRAUS, J., VAVERA, F. Hans Gross – Osobnost, dílo a přínos pro rozvoj kriminalistiky. *Kriminalistický sborník*, 2004, č. 3, s. 54–59.
136. STRAUS, J. a kol. Úvod do kriminalistiky, 3. rozšířené vydání, Plzeň: A. Čeněk, 2012, ISBN 978-80-7380-367-4.
137. STRAUS, J. Zkušenosti ze znalecké praxe ve forenzní biomechanice. *Kriminalistika*, roč. 41, 2, 2008, s. 130–137.
138. STRAUS, J., PORADA, V. Forensic Biomechanical Application in Criminalistic. *Forensic Science International*. Volume 169, Supplement 1, 2007, p. 40.
139. STRAUS, J. Biomechanical analysis of extreme dynamic loading on head. *Rechtsmedizin*, Band 19, Heft 4, 2009, S. 302–303, ISSN 0937-9819.
140. STRAUS, J., Biomechanical analysis of selected types of dynamic head load. *Pohybové ústrojí*, ročník 19, 2012, č. 3, s. 331.
141. STRAUS, J. *Kinematic and dynamic analysis of blow biomechanics*. Sborník, 5th European Academy of Forensic Science. University of Strathclyde, Glasgow, Scotland UK, 2009, p. 107.
142. 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. ISBN 978-80-8736-15-4.
143. STRAUS, J. *Biomechanika tupého poranění hlavy*. Praha: Policejní akademie ČR, 2000.
144. STRAUS, J. a kol. *Biomechanika pádu z výšky*. Praha: PA ČR, 2004, ISBN 80-7251-149-1.
145. STRAUS, J. Možnost využití biomechanického obsahu při identifikaci osob podle ručního písma. *Čs. kriminalistika*, 2, 1986.
146. STRAUS, J. Určení tělesné výšky osoby z trasologických stop vytvořených v různém terénu. *Čs. kriminalistika*, 3, 1989.
147. STRAUS, J. Identifikační hodnota plantogramu bosé nohy. *Kriminalistika*, 1, 1997.
148. STRAUS, J. Predikce hmotnosti těla z plantogramu bosé nohy. *Kriminalistika*, 3, 1998.
149. STRAUS, J. a kol. *Kriminalistická taktika*. 2. rozšířené vydání. Plzeň: A. Čeněk, 2008, ISBN 978-80-7380-052-9.
150. STRAUS, J. Identifikační faktory plantogramu bosé nohy. *Čs. kriminalistika*, 3–4, 1990.
151. STRAUS, J. Biomechanická charakteristika extrémního dynamického zatěžování. Závěrečná výzkumná zpráva VU 3/1, Praha: PA ČR 2007.
152. STRAUS, J. *Biomechanika tupého poranění organismu*. PA ČR Praha 2000.
153. STRAUS, J. Tolerance lebky a mozku na vnější mechanické působení. In.: *Soudní inženýrství*, 18, 2007, č. 1, s. 42–49.

154. STRAUS, J. Balance of Mechanical Energy at External Head Impact. Research Papers: *Criminalistic and Forensic Examination: Science, Studies, Practice*. Vilnius 2007, p. 169–173.
155. STRAUS, J., PORADA, V. Forensic Biomechanical Application in Criminalistic. *Forensic Science International*. Volume 169, Supplement 1, 2007, p. 40.
156. STRAUS, J. Kritéria zranění člověka při extrémním dynamickém zatěžování organismu. *Pohybové ústrojí*, 18, 2011, č. 1-2, s. 18–25, ISSN 1212-4575.
157. STRAUS, J. Biomechanická analýza pádu z výšky. *Sborník z konference „Trestně právní a kriminalistické aspekty dokazování“*. Praha: VŠFS, 2016.
158. STRAUS, J., KREJČÍ, Z. Význam ohledání místa činu pro forenzně biomechanické zkoumání. *Sborník z konference „Trestně právní a kriminalistické aspekty dokazování“*. Praha: VŠFS, 2016.
159. STRAUS, J., KREJČÍ, Z. Ohledání místa činu při biomechanickém hodnocení úderu do hlavy. In: VIKTORYOVÁ, J., BLATNICKÝ, J. *Teória a prax vyšetrovania - interdisciplinárne aspekty*. Bratislava: Akadémia Policajného zboru v Bratislave, 2017. s. 226–242, ISBN 978-80-8054-709-7.
160. STRAUS, J., DANKO, F. Reakční čas na náhodný podnět vyžadující komplexní motorickou odezvu - pilotní studie. *Pohybové ústrojí*, roč. 16, 2009, č. 1+2, s. 52–63. ISSN 1212-4575.
161. SUCHÁNEK, J. Některé příčiny ukončení procesu kriminalisticko-technické identifikace na úrovni určení skupinové příslušnosti. *Čs. kriminalistika*, 1, 1988, s. 64.
162. TARONI, F., AITKEN, C. G. G., GARBOLINO, P. De Finetti's subjectivism, the assessment of probabilities and the evaluation of evidence: a commentary for forensic scientists, *Science & Justice*, 2001, 41, 145–150. Thompson W. C.
163. TARONI, F., AITKEN, C. How the probability of a false positive affects the value of DNA evidence, *Journal of Forensic Sciences*, 2003, 48, 47–54.
164. TOMCZAK, P. D., BUIKSTRA, J. E. Analysis of blunt trauma injuries: vertical deceleration versus horizontal deceleration injuries. Anthropology Department, University of New Mexico, Albuquerque 87131, USA. *J-Forensic-Sci.* 1999; 44(2), p. 253–262.
165. TOMIOKA, M., OWINGS, T. M., LORD, D., GRABINER, M. D. *Biomechanics of recovery from a backwards fall* [online]. [cit. 2010-02-09]. Dostupné na: <<http://www.asbweb.org/conferences/2001/pdf/099.pdf>>
166. VERSACE, J. *A Review of the Severity Index*. Ford Motor Co, New York: Society of Automotive Engineers, 1999.
167. TOPINARD, P. *Anthropology*. Chapman and Hall, London, 1877.
168. TITLBACH, Z., TITLBACHOVÁ, S., ŠTĚCHOVÁ, D. Zjištění tělesné výšky osob ze stop nohou, *Čs. kriminalistika*, 3, 1971, s. 223–239.
169. VALENTA, J. a kol. *Biomechanika*. Praha: Academia, 1985.
170. VALENTA, J., PORADA, V., STRAUS, J. *Biomechanics*. Praha: Police history, 2004.
171. VALERIAN, L. Vybrané kriminalistické metody při objasňování vražd a podezřelých úmrtí. Dizertační práce, Bratislava: Akadémia Policajného zboru v Bratislavě 2006, 169 s.
172. VALEŠKA J. *Bulletin advokacie* č. 9, 1994, s. 19.

173. VAN DEN BOGERT, A. J., PAVOL, M. J., GRABINER, M. D. Response time is more important than walking speed for the ability of older adults to avoid a fall after a trip. *Journal of Biomechanics*, February 2002, Vol. 35, No. 2, p. 200. ISSN 0021-9290.
174. VANĚK, M., HOŠEK, V., RYCHTECKÝ, A., SLEPIČKA, P. *Psychologie sportu*. Praha: SPN, 1980.
175. VESELÝ, V., VILÍMEK, M. Head Injury Biomechanics I - Head and Neck Injury. *Bulletin of Applied Mechanics* 8(32), 65–76 (2012).
176. WHITING, W. C., ZERNICKE, R. F. *Biomechanics of Musculoskeletal Injury*. Human Kinetics, Leeds, 1998.
177. VYCHODIL, M. *Rekonstrukce trestného činu*. Praha: Ústav kriminalistiky Právnické fakulty UK, 1973.
178. VYCHODIL, M. *Využití modelů při vyšetřování*. Praha: Knihnice Vojenské prokuratury, 1984.
179. WALILKO, T. J., VIANO, D. C., BIR, C. A. Biomechanics of the head for Olympic boxer punches to the face. *British Journal of Sports Medicine*; Oct. 2005, Vol. 39, Issue 10, p. 710–719.
180. WIERCINSKI, A. Wzajemność między cechami pomiarowymi stopy a wzrostem. *Problemy Kryminalistyki*, 1970, No. 88, p. 610–614.
181. WOODSON, W. E., TILLMAN, B., TILLMAN, P. *Human Factors Design Handbook*. New York: McGraw-Hill Professional, 1991. ISBN 0070717680.
182. ZARUBIN, S. V. Eksperimentalnoe modelirovanie padeniya čeloveka najeznič. Chabarovsk, 2003.
183. ZHOU, X., DRAGANICH, L. F., AMIROUCHE, F. A dynamic model for simulating a trip and fall during gait. *Medical Engineering & Physics*, 2002, Vol. 24, p. 121–122. ISSN 1350-4533.
184. Definition of Forensic Science. All about forensic science (online, 30. 1. 2015), dostupné na <http://www.all-about-forensic-science.com/definition-of-forensic-science.html>
185. [http://www.medicabaze.cz/index.php?sec=term\\_detail&catId=22&cname=Neurologie&letter=P&termId=3388&tname=Poran%C4%9Bn%C3%AD+kraniocerebr%C3%A1ln%C3%AD&h=empty#jump](http://www.medicabaze.cz/index.php?sec=term_detail&catId=22&cname=Neurologie&letter=P&termId=3388&tname=Poran%C4%9Bn%C3%AD+kraniocerebr%C3%A1ln%C3%AD&h=empty#jump), ke dni 28. 4. 2011

## Summary

### Theory of Forensic Biomechanics

Forensic Biomechanics is a young forensic science, its short axis of development has undergone a rapid expansion and the future appears to be a discipline that also, for example, will help to better and more intensive fighting crime. Forensic biomechanics solve issues and problems that can not be answered by any other forensic science.

Biomechanics is defined as the discipline that contributes to the solution of biological and medical problems, which include sub-problems and mechanical nature called "Biomechanical problems". Their solutions are used insights, approaches, methods and theories of mechanics. Biomechanical problems are solved on the biomechanical objects that can have different character. These may be elements of the flora or fauna. In biomechanics it may be a technical object, in a different interaction with the human organism (implant fixator), or is itself the human organism as a whole, or its unseparated (in vivo), respectively separated part (in vitro).

Biomechanics is defined as an interdisciplinary science focused mainly on studying the mechanical structure and mechanical behaviour of living systems and their interactions with the environment.

Forensic biomechanics is the science which applies biomechanics and biomechanical methods for examining the investigative tracks with biomechanical content and decoding information from a forensically relevant events, which arose as a result of human activity and movement that relates to the investigation of the events. Forensic biomechanics explores and explains the circuit investigative tracks that have in themselves contained biomechanical content, thus described applications provide information on the human musculoskeletal system and its motion behaviour. Forensic biomechanics applied biomechanical principles to the problems occurring in the judicial practice, both civil and criminal law. Studying the mechanics of movement, particularly the movement of muscle control apparatus. Criminal procedure provides information on how this could lead to injuries during the violent attacks, suicides, murders and mass disasters, as well as whether the movement of people was feasible without foreign intervention. In the context of civil proceedings it can be used to assess the falls without witnesses. Forensic biomechanics is based on physical principles and includes solutions using calculations, often with computer models.

Forensic biomechanics worth is being explored in joint biomechanics penetration and criminology. Creatively applies biomechanical examination methods, procedures and ways of solving the problems of biomechanics on criminology. Forensic biomechanics studies and examines the musculoskeletal system and the physical behaviour of people who have a connection with the offense, leaving forensic clues that have in them encoded biomechanical content.

Subject Criminology like every other science is determined by a kind of studied the laws of the objective world. In the case of forensic biomechanics can define the subject of exploration in two directions. The subject of forensic biomechanics is examining forensic clues with biomechanical content and forensically relevant changes that resulted from mechanical interaction of "human-around".

The book analysed the most frequent questions in the theory of forensic biomechanics.

Extensive measurements on large files has shown that physical height of the person is a significant length and width of bare feet, the length and width of the shoe length and width of the track shoes and can be relatively accurately calculated probable body height according to these parameters.

Mechanical extreme dynamic loads organism. These are typically situations where the attacker attacks the victim with punches, stick or other hard object. Most often, the attack is directed at the victim's head. In the case of these biomechanical analysis, an assessment of whether the contested person died immediately or some time survived and theoretically it would be possible to save her. In principle, it is important to identify and quantify important threshold for survival in extreme mechanical loads victim's head.

Biomechanical assessment of falls from a height of victims, most of them from windows of the house. Sometimes it happens that the aggressor attacked the victim and intended to kill by throwing out of the window and the investigation is prevented that fell victim by herself, or by some accident. Biomechanical analysis can assess whether the person dropped out alone, without foreign fault or whether it was at the moment of falling granted power pulse, and thus it had been fired (or could even bounce). It is to assess the geometry and kinematics of the centre of gravity in the fall as an open kinematic chain.

## Poznámky