



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ
Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva

Analýza a výběr kritérií pro výběr ochranné vesty proti bodným zbraním

Analysis and Selection of Criteria for Selection of Protective Vests Against Stabbing Weapons

Diplomová práce

Studijní program: Civilní nouzové plánování

Autor diplomové práce: Bc. Lýdie Leová

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Patrik Kutílek, MSc., Ph.D.

Kladno 2021



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Leová** Jméno: **Lýdie** Osobní číslo: **465272**
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**
Garantující katedra: **Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva**
Studijní program: **Civilní nouzové plánování**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Analýza a výběr kritérií pro výběr ochranné vesty proti bodným zbraním

Název diplomové práce anglicky:

Analysis and Selection of Criteria for Selection of Protective Vests Against Stabbing Weapons

Pokyny pro vypracování:

Předmětem diplomové práce bude analýza a určení kritérií pro výběr ochranné vesty proti konkrétním bodným zbraním, z hlediska navýšení bezpečnosti příslušníků bezpečnostních sborů. V teoretické části budou analyzovány a představeny normy určující požadavky na ochranné vesty, rovněž budou na základě studia literatury popsány jednotlivé druhy bodných zbraní a varianty útoků. V další části budou uvedeny vlastnosti a parametry ochranných vest dostupných na českém trhu. V praktické části budou analyzovány nejčastější formy útoků bodnými zbraněmi vázané na konkrétní situaci a prostředí. Pomocí analytické retrospektivní studie bude určen nejpravděpodobnější druh bodné zbraně včetně formy hrozcího útoku. Polostrukturovaným rozhovorem budou získána aktuální data konkrétních skupin útoků. Pomocí multikriteriální analýzy bude vybrán nejvhodnější typ ochranné vesty v závislosti na bodné zbraně, hrozcímu útoku a prostředí.

Seznam doporučené literatury:

- [1] SKRYLEV, Igor, Encyklopedie nožů: úplná encyklopedie zbraní a výstroje, Praha: Naše vojsko, 2013, ISBN 978-80-206-1324-0
- [2] EL MESSIRY, Magdi, Protective armor engineering design, Palm Bay, Florida: Apple Academic Press, 2019, ISBN 978-17-718-8787-8
- [3] JANČÁŘ, Josef, Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů, Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2003, ISBN 80-214-2443-5

Jméno a příjmení vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Patrik Kutílek, MSc., Ph.D.


Jméno a příjmení konzultanta(ky) diplomové práce:

Ing. Petr Volf, Bc. Jan Hýbl

Datum zadání diplomové práce: **21.09.2020**

Platnost zadání diplomové práce: **18.09.2022**


prof. MUDr. Leoš Navrátil, CSc., MBA, dr.h.c.
podpis vedoucí(ho) katedry


prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D., MBA
podpis děkana(ky)

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem Analýza a výběr kritérií pro výběr ochranné vesty proti bodným zbraním vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů, které uvádím v seznamu bibliografických odkazů.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

V Kladně dne 13.05.2021

.....

Bc. Lýdie Leová

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu práce panu doc. Ing. Patriku Kutílkovi, MSc., Ph.D. za vedení celé práce, pomoc při jejím zpracování a za významné rady a připomínky. Dále bych ráda poděkovala Ing. Petru Volfovi, který se významně podílel na vyhodnocení nejčastějších typů útoků bodnou zbraní v softwarových programech Vicon Nexus 2.70, Visual3D v5 Professional a Matlab R2019a a za konzultace při řešení dané problematiky. Také bych chtěla poděkovat respondentům, kteří byli předmětem měření a kteří měli významný vliv na splnění cílů práce. Poděkování patří také panu Martinovi Žižkovi za poskytnutí podkladů a důležitých informací pro zpracování mé práce.

ABSTRAKT

Tato práce přináší přehled kritérií pro výběr ochranné vesty proti konkrétním bodným zbraním, z hlediska navýšení bezpečnosti příslušníku bezpečnostních sborů. V práci jsou studovány vlastnosti a typy ochranných vest proti konkrétním bodným zbraním na základě studie a analýzy nejčastějších typů útoků, studie nejčastějších bodných zbraní, silového působení během útoku a rešerše současných norem. Pro splnění cíle práce a verifikaci či falzifikaci hypotéz byly využity metody: analýza, analytická retrospektivní studie, biomechanické měření, polostrukturovaný rozhovor a multikriteriální analýza.

Teoretická část práce zachycuje a popisuje druhy útoků bodnou zbraní a druhy bodných zbraní. Dále se tato práce zabývá ochrannými vestami, jejich historickým vývojem, parametry, vlastnosti ochranných vest a druhy výrobního materiálu. Součástí této části je také studium fyzikálního působení a parametry vyskytující se během útoku. V této části jsou také nejčastější typy útoků včetně nejčastěji použitých zbraní, a to na základě analytické retrospektivní studie. Dále jsou analyzovány a představeny normy určující požadavky na ochranné vesty. Následně byly představeny konkrétní typy vest dostupných na internetovém obchodě.

V experimentální části byly provedeny rozhovory s příslušníky bezpečnostních sborů a ozbrojených sil, aby byly získány aktuální data o konkrétních skupinách útoků, čímž se následně ověřily závěry o nejpravděpodobnějších útocích bodnou zbraní z analytické retrospektivní studie. Následně proběhlo měření nejčastějších typů útoků prostřednictvím kamerového systému Vicon Nexus 2.70, kdy každý proband předvedl nejčastější typy útoků bodnou zbraní. Kinetické a kinematické výpočty byly provedeny pomocí programu Visual 3D v5 Professional a prostřednictvím vytvořeného skriptu v programu pro vědeckotechnické výpočty Matlab R2019a byla dopočítána výsledná kinetická energie útoku. Na závěr multikriteriální analýzou byly vybrány nejvhodnější typy ochranných vest, které jsou dostupné na internetovém obchodě, v závislosti na bodné zbraní a hrozícímu útoku.

Klíčová slova

Bodné zbraně; MoCap systém; analýza pohybu; normy odolnosti; ochranné vesty; útok nožem; materiálové vlastnosti

ABSTRACT

The work provides an overview of the criteria for selecting a protective vest against specific stabbing weapons to increase the security forces' safety. The work studies the properties and types of protective vests against specific stabbing weapons based on the study and analysis of the most common types of attacks, the study of the most common stabbing weapons, force during the attack and a search of current standards. To reach the goal of the work and to verify or falsify hypotheses, the following methods were used: analysis, analytical retrospective study, biomechanical measurement, semi-structured interview and multicriteria analysis.

The theoretical part of the work captures and describes the types of stabbing attacks and types of stabbing weapons. Furthermore, this work deals with safety vests, historical development, parameters, properties of protective vests and types of production material. Part of this theoretical part is also the study of physical activity and parameters occurring during the attack. This section also analyzes the most common types of attacks, including the most commonly used weapons, based on an analytical retrospective study. Furthermore, standards determining the requirements for safety vests are analyzed and presented. Subsequently, specific types of vests available on the online store were introduced.

In the experimental part, interviews were conducted with the security forces and the armed forces to obtain up-to-date data on specific groups of attacks, which subsequently verified the conclusions about the most likely stabbing attacks from an analytical retrospective study. Later, the most common types of attacks were measured using the Vicon Nexus 2.70 camera system, where each proband demonstrated the most common types of stabbing attacks. Kinetic and kinematic calculations were performed using Visual 3D v5 Professional. The resulting kinetic energy of the episode was calculated using a script created in the program for scientific and technical measures Matlab R2019a. Finally, a multicriteria analysis selected the most suitable types of protective vests available on the online store, depending on the stabbing weapon and the impending attack.

Keywords

Stabbing weapons; MoCap system; motion analysis; resistance standards; protective vests; knife attack; material properties

Obsah

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | ÚVOD | 9 |
| 2 | CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZY | 10 |
| 2.1 | Cíle práce | 10 |
| 2.2 | Hypotézy | 11 |
| 3 | PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU | 12 |
| 3.1 | Útoky bodnými zbraněmi | 12 |
| 3.1.1 | <i>Druhy útoků</i> | 14 |
| 3.2 | Druhy bodných zbraní | 17 |
| 3.2.1 | <i>Improvizované bodné zbraně</i> | 19 |
| 3.2.2 | <i>Nůž</i> | 19 |
| 3.3 | Ochranné vesty proti útoku bodnou zbraní..... | 20 |
| 3.3.1 | <i>Historie</i> | 21 |
| 3.3.2 | <i>Mechanismus průniku zbraně</i> | 22 |
| 3.3.3 | <i>Ochranné mechanismy v ochranných vestách</i> | 23 |
| 3.3.4 | <i>Materiál</i> | 24 |
| 3.3.5 | <i>Vlákna</i> | 26 |
| 3.3.6 | <i>Charakteristiky ochranných vest</i> | 29 |
| 3.4 | Normy hodnocení ochranných vest | 31 |
| 3.5 | Fyzikální vlastnosti útoku nožem..... | 31 |
| 3.5.1 | <i>Fyzikální postupy určení parametru během útoku</i> | 31 |
| 3.5.2 | <i>Fyzikální účinky během útoku</i> | 35 |
| 3.6 | Závěr kapitoly | 38 |
| 4 | METODIKA | 40 |
| 4.1 | Analýza fyzikálních vlastností | 40 |
| 4.1.1 | <i>Analýza norem a parametrů pro hodnocení vest</i> | 40 |
| 4.2 | Analytická retrospektivní studie..... | 51 |
| 4.2.1 | <i>Analytická retrospektivní studie nejčastějších zbraní a typy útoků</i> | 51 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 4.3 | Polostrukturovaný rozhovor | 58 |
| 4.3.1 | <i>Polostrukturovaný rozhovor s příslušníky BS a OS</i> | <i>58</i> |
| 4.4 | Biomechanické měření a analýza pohybu | 59 |
| 4.4.1 | <i>Určení charakteristik bodných útoků biomechanickým měřením.....</i> | <i>59</i> |
| 4.5 | Multikriteriální analýza..... | 79 |
| 4.5.1 | <i>Multikriteriální analýza pro výběr nejvhodnější typ ochranné vest</i> | <i>79</i> |
| 4.6 | Závěr kapitoly..... | 88 |
| 5 | VÝSLEDKY | 90 |
| 5.1 | Výsledky porovnání parametrů norem | 90 |
| 5.2 | Vyhodnocení rozhovoru | 92 |
| 5.3 | Nejčastější bodné zbraně a útoky..... | 93 |
| 5.4 | Výsledky měření a hodnocení útoků | 94 |
| 5.5 | Volba nejvhodnějších ochranných vest..... | 94 |
| 5.6 | Doporučené hodnoty fyzikálních vlastností vest dle norem | 95 |
| 5.7 | Závěr kapitoly..... | 96 |
| 6 | DISKUZE | 97 |
| 6.1 | Naplnění cílů práce | 97 |
| 6.2 | Zhodnocení hypotéz | 106 |
| 6.3 | Další postup řešení..... | 108 |
| 7 | ZÁVĚR | 109 |
| 8 | SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK | 111 |
| 9 | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 112 |
| 10 | SEZNAM OBRÁZKŮ | 119 |
| 11 | SEZNAM TABULEK | 122 |
| 12 | SEZNAM PŘÍLOH..... | 124 |

1 ÚVOD

Útoky chladnými zbraněmi se v posledních letech stávají celosvětovým problémem, a to především v zemích, kde je omezen přístup ke střelným zbraním. Výhoda chladných zbraní oproti střelným nespočívá pouze v jejich dostupnosti, ale také v tom, že se dají lépe skrýt a k zacházení s nimi není zapotřebí speciálního výcviku a téměř pokaždé se podaří zasáhnout cíl. To přispělo k tomu, že za posledních několik let výrazně vzrostly tyto kriminální zločiny. Snaha o snížení těchto trestních činů v některých zemích Evropské unie spočívá především v přísných pravidlech pro držení a převoz zbraní. Omezení se většinou vztahuje na délku čepele a konkrétní typ chladné zbraně (např. motýlek). Mezi nejstriktnější země patří Německo, Francie a Anglie. U nás zatím není žádný zákon, který by upravoval držení chladných zbraní, a proto je nezbytné být proti těmto formám útoku dobře chráněn [1].

Současným problémem však je, že není systematicky stanovena metoda volby a charakteristik ochranných vest s ohledem na nejčastější typy útoků, s následným výběrem vhodných vest. Analýza a určení kritérií pro výběr ochranné vesty proti konkrétním bodným zbraním, z hlediska navýšení bezpečnosti příslušníků bezpečnostních sborů, se tedy ukazuje jako důležitý předpoklad. Jedním z předpokladů volby vest je splnění norem, přičemž však nemůže dojít k předimenzování s ohledem na další fyzikální vlastnosti jakými je např. hmotnost. Volba vhodných vest tedy předpokládá nalezené vhodného kompromisu, a to také s ohledem na druhy bodných zbraní a varianty útoků. Varianty útoků je možné nejen kvalitativně hodnotit, ale provádět měření pomocí např. MoCap systémů a kvantitativní hodnocení útoků. Tyto požadavky následně mohou být konfrontovány se současným stavem ochranných vest dostupných na českém trhu. Pomocí multikriteriální analýzy lze následně zvolit nejvhodnější typ ochranné.

2 CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZY

2.1 Cíle práce

Hlavním cílem diplomové práce, v souladu s výše uvedeným, je analyzovat a určit kritéria pro výběr ochranné vesty proti konkrétním bodným zbraním, z hlediska navýšení bezpečnosti příslušníků bezpečnostních sborů. Uvedené předpokládá stanovit požadavky na ochranné vesty a určit typ ochranných vest proti bodným zbraním na základě těchto kritérií:

- rešerše a analýza současných norem,
- rešerše nejčastějších bodných zbraní,
- studium a analýza nejčastějších typů útoků,
- studium silového působení během útoku.

Pro práci byly vytvořeny tyto na hlavní cíl práce navazující dílčí cíle:

- sjednotit požadavky norem a požadavků uživatelů (členů ozbrojených složek),
- stanovit a fyzikálně ohodnotit nejčastější typy útoků a zbraně,
- určit nejvhodnější typ ochranné vesty.

Tato práce se snaží co nejvíce čerpat z požadavků jednotlivých norem, které jsou však v každé zemi odlišné. V práci je snahou tyto požadavky co nejvíce sjednotit, aby určený typ ochranné vesty mohl být použit v souladu s většinou z nich. Balistická ochrana současných vest zajišťuje, že cíl je odolný vůči zásahům ostrými předměty s určitou úrovní kinetické energie, přičemž většina studií hodnotících balistickou ochranu se zaměřuje na bodné útoky způsobené nožem. V dnešní době se můžeme setkat s různými typy „po domácku“ vyrobených zbraní, tzv. improvizovanými zbraněmi, proto se práce bude zabývat nejčastějšími bodnými zbraněmi, které zahrnují i IBZ vyrobené ve věznicích. Dalším kritériem pro stanovení odolnosti ochranné vesty je typ útoků včetně jeho silového působení. Ve spolupráci s příslušníky BS a OS bude provedeno testování nejčastějších typů bodných útoků. Žádný návrh balistické ochrany nemůže být vhodný pro všechny situace a jeho odolnost závisí na kombinaci různých faktorů. V této práci bude prostřednictvím multikriteriální analýzy následně vybrán nejvhodnější typ ochranné vesty, který zohledňuje výše zmíněná i další kritéria. Výsledky práce by měly přispět ke zvýšení bezpečnosti nejen příslušníků bezpečnostních složek, ale i civilního obyvatelstva, které si může ochranné vesty dostupné na trhu zakoupit.

2.2 Hypotézy

Hypotézy byly vytvořeny v souvislosti s cíli práce. Za účelem splnění hlavního cíle a dílčích cílů práce byly stanoveny následující hypotézy:

H1: Předpokládá se, že je možné obecně sjednotit národní/mezinárodní normy, které jsou v každé zemi odlišné.

H2: Předpokládá se, že ochranné vesty testované podle národních/mezinárodních norem splňují fyzikální charakteristiky, které se vyskytují během útoku.

H3: Předpokládá se, že současné ochranné vesty dostupné na trhu, které jsou odolné proti chladným zbraním, splňují národní/mezinárodní stanovené normy.

H4: Předpokládá se, že současné ochranné vesty proti bodným zbraním jsou odolné vůči nejčastějším typům útoku bodnou zbraní.

3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU

3.1 Útoky bodnými zbraněmi

Útoky bodnými zbraněmi lze rozdělit podle úchopu zbraně a způsobu provedení.

- **Úchop zbraně**

Úchop nože závisí především na preferenci dotyčného a druhu útoku. Samotný úchop zbraně rozlišujeme na standardní a reverzní [2].

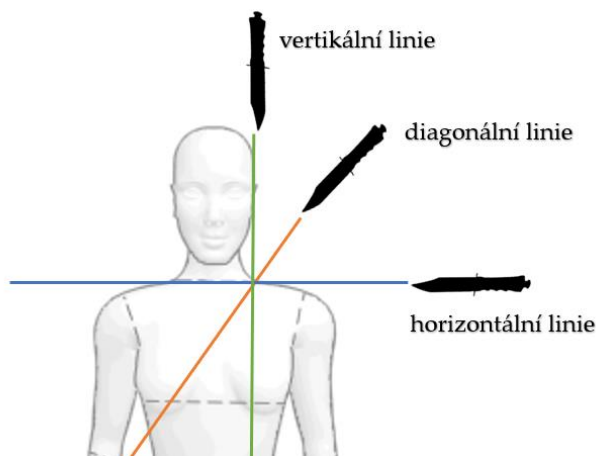
Standardní úchop zbraně umožňuje větší rozsah útoku a lepší koordinaci se zbraní. Jedná se o držení, kdy čepel zbraně přirozeně vyčnívá vpřed z radiální straně ruky. V závislosti na poloze palce, rozlišujeme úchop přirozený a kordový. U přirozeného úchopu je palec kladen kolem rukojeti a leží proti ostatním prstům. U kordového úchopu je palec na horní hraně rukojeti [2; 3].

Reverzní úchop neumožňuje tolik variant útoku jako u standardního úchopu, ale za to má větší sílu díky výraznému využití tělesné hmotnosti. U reverzního úchopu čepel vyčnívá zespodu ulnární strany ruky. I u reverzního úchopu zbraně podle polohy palce rozlišujeme přirozený a šavlový úchop. Přirozený úchop je charakteristický tím, že palec objímá rukojeť. U šavlového úchopu palec spočívá na konci rukojeti [2; 3].

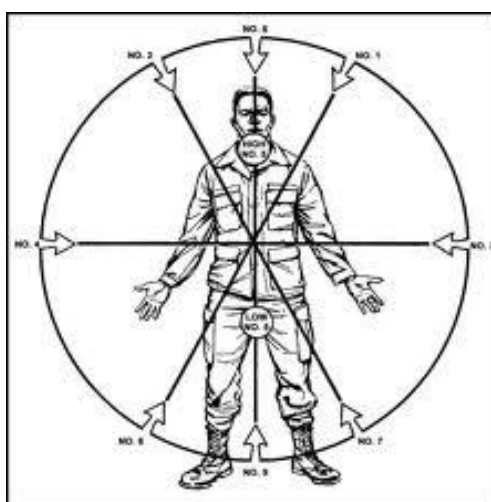
Podle úchopu zbraně lze do jisté míry předvídat směr a provedení útoku. Pokud bude útočník držet zbraň v reverzním úchopu, pravděpodobně se bude jednat o útok vedený po oblouku shora na oblast hlavy, klíční kost či trupu. Při klasickém úchopu lze očekávat útok vedený do oblasti horního či středního pásma. Pokud útočník drží zbraň v tzv. kordovém úchopu, pravděpodobně bude útok veden po přímce do oblasti břicha či trupu [2; 3].

- **Úhly útoku**

Všechny způsoby útoku nože mají 3 linie provedení – vertikální, horizontální a diagonální. Tyto linie se odvíjí od podélné osy čepele ve vztahu k tělu oběti (viz obr. 1). V mnoha bojových uměních se používá číslování jednotlivých úhlů útoků. Například Eskima rozlišuje 8 úhlů (viz obr. 2). Tento systém však není jednotný, a proto se diplomová práce zaměří na útoky provedené v diagonální, horizontální a vertikální linii [2; 4].



Obrázek 1: Horizontální, diagonální a vertikální linie. Zdroj: autor.



Obrázek 2: Úhly útoků v bojovém systému Eskrima. Zdroj: [4].

- **Provedení útoku**

Zda se bude jednat o přímý nebo obloukový útok, závisí na vzdálenosti útočnicka a oběti. Jestliže se útočník nachází v bezprostřední blízkosti, útoky budou vedeny přímo do středního pásma. Tyto útoky jsou provedeny v krátkém čase a s několika opakováními. Z hlediska sebeobrany se jedná o jeden z nejnebezpečnějších útoků, neboť se útočník nemusí napřahovat a útok je tak nenápadný. Obloukový útok se používá převážně na střední vzdálenost (na délku paže) a je často doprovázen výkrokem vpřed. Při tomto útoku útočník zapojuje celé tělo a výsledná kinetická energie útoku je větší než u přímých útoků. Útočník se však před útokem většinou napřahuje, což umožňuje oběti včas zareagovat. Většina obloukových útoků je vedena do horního pásma [2; 5].

V systému Modern Combat se rozlišují ještě útoky provedené směřující dovnitř (tzv. „forhand“) a ven (tzv. „backhand“) [2].

3.1.1 Druhy útoků

Podle úchopu zbraně, úhlu útoku a jeho provedení lze rozlišit jednotlivé druhy útoků. Tato kapitola se zaměří pouze na bodné techniky.

- **Přímý vpich**

Při tomto útoku se zbraň drží v kordovém uchopení a útok je veden po přímce v horizontální linii. Útok je často prováděn na krátkou vzdálenost. To znamená, že se útočník nachází v těsné blízkosti. Útoky jsou prováděné velmi rychle a v několika opakováních, tzv. „šicí stroj“. Cílená oblast tohoto útoku je střední pásmo. Při tomto útoku si útočník může přidržet oběť volnou rukou, aby jí zamezil v úniku [2; 3; 5].



Obrázek 3: Přímý vpich v horizontální linii v kordovém úchopu. Foto: autor.

- **Forehandový vpich v diagonální linii**

Při tomto útoku, který je veden po oblouku, se zbraň drží v standardním úchopu a v diagonální linii. Útok je prováděn na střední vzdálenost, to znamená na délku paže. Při tomto útoku útočník zapojuje celé tělo a výsledná kinetická energie útoku je větší než u přímých útoků. To znamená, že zranění způsobená tímto útokem mohou být smrtelná. Útok je veden do oblasti krku, s cílem zasáhnout krční tepnu [2; 3; 5].



Obrázek 4: Forehandový vpich po diagonále na klíční kost v standardním uchopení. Foto: autor.

- **Vpich zespoda nahoru**

Při tomto útku se zbraň drží v standardním úchopu. Tento útok je veden po oblouku na krátkou až střední vzdálenost do středního pásma ve vertikální linii. Při tomto útku si útočník opět může přidržet oběť volnou rukou, aby zamezila úniku oběti. Zranění způsobená tímto typem útoků jsou velmi vážná, neboť výsledná energie útku je velká [2; 3; 5].



Obrázek 5: Vpich ze spodu nahoru ve vertikální linii ve standardním uchopení. Foto: autor.

- **Forehandový vpich v horizontální linii**

Při tomto útku se zbraň drží ve standardním úchopu. Útok je veden po oblouku, nejčastěji do středního pásma v horizontální linii. Tento útok je veden na střední vzdálenost, přičemž se útočník většinou napřahuje, což umožňuje oběti včas reagovat [2; 3; 5].



Obrázek 6: Forehandový vpich v horizontální linii ve standardním uchopení. Foto: autor.

- **Vpich shora dolu**

Při tomto útoku se zbraň drží v reverzním šavlovém úchopu a útok je veden po oblouku ve vertikální linii. Zasahovanou oblastí bývá horní pásmo, zejména oblast krku. Tento útok je veden na střední vzdálenost. I při tomto útoku se útočník napřahuje, přičemž dává najevo směr útoku [2; 5].



Obrázek 7: Vpich shora dolu v reverzním šavlovém uchopení. Foto: autor.

- **Backhandový vpich v diagonální a v horizontální linii**

Tyto útoky jsou méně časté. Většinou se provádí v kombinaci s jinými typy útoků. Jedná se o obloukové útoky vedené na střední vzdálenost, přičemž se zbraň drží v reverzním uchopení. V případě útoku v diagonální linii je zaženu oblastí nejčastěji oblast krku, kdy cílem je zasáhnout krční tepnu. V případě útoku v horizontální linii je zasaženou oblastí nejčastěji oblast břicha, trupu [2; 5].

3.2 Druhy bodných zbraní

- Chladné zbraně

Petra Klučina definuje chladné zbraně takto: „*Chladné zbraně jsou bojové prostředky, které ovládá jejich držitel přímo svou svalovou silou [6].*“ Další, komplexnější definice chladných zbraní je v knize Historické zbraně, kde se chladná zbraň popisuje jako zbraň, které „*patří celá řada předmětů denní potřeby, které se v průběhu času zhotovovaly z nejrůznějších vhodných materiálů jako kámen, dřevo, kov. Byly konstruovány nebo sestrojeny takovým způsobem, aby se daly ovládat silou svalů svého uživatele a používat k boji z blízka, k lovu a později ke sportovním účelům. Charakteristickým rysem chladných zbraní je jejich přímý fyzický účinek prostřednictvím seku, bodu nebo úderu [7].*“

Chladné zbraně jsou pevně spjaté s existencí člověka, a i v současné době se bez různých druhů řezných a bodných zbraní neobejdeme. Chladné zbraně používáme každý den, jsou snadno dostupné, a proto jsou útoky chladnými zbraněmi velmi časté. Přestože nejsou tak traumatizující jako útoky střelnou zbraní, vzhledem k jejich dostupnosti je může použít téměř každý, a proto se stávají nebezpečnou hrozbou [8].

Na chladné zbraně jsou kladeny velké požadavky, mezi které patří dostatečná tvrdost, pevnost a pružnost zbraně, přičemž velmi záleží na vyvážení jednotlivých vlastností. Pokud je materiál na výrobu příliš tvrdý, zbraň se stává křehkou a hrozí velké riziko k poškození a rozlomení. Pokud bude čepel naopak příliš měkká, řezání a bodání s takovouto zbraní nebude dostatečně účinné. Vlastnosti materiálu jsou tedy velmi důležité pro užitnou hodnotu zbraně. Další důležitou vlastností zbraně je její penetrační schopnost, která je závislá především na ostrosti čepele, cílené oblasti těla, úhlu průniku, energie a rychlosti útoku [8].

Chladné zbraně můžeme rozdělit na:

- zbraně sečné (meče, šavle, tesáky...),
- zbraně bodné (kordy, rapíry, dýky...),
- zbraně úderné (sekery, řemdihy, palcáty...) [8; 9].

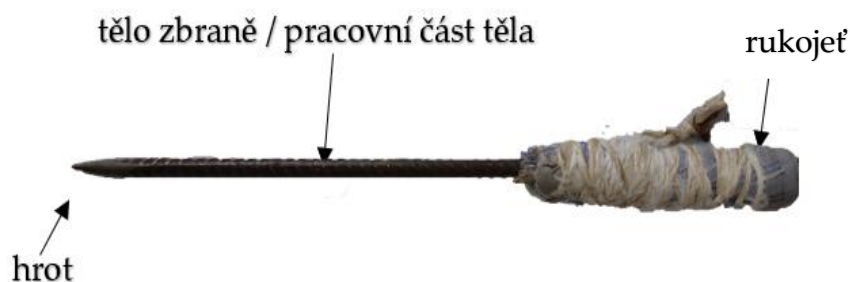
- **Bodné zbraně**

Bodné zbraně jsou zbraně s hrotem a řadí se do chladných zbraní využívající kinetickou energii pevné pracovní části. Primárním účelem těchto zbraní je bodání do cíleného předmětu. Mezi typické bodné zbraně patří například kopí, dýky, rapíry, flerety, bajonety a kopí. Do této kategorie lze zařadit i nože, jež jsou kombinací sečných a bodných zbraní (nože), nebo tzv. improvizovaně vyrobené bodné zbraně z předmětů, které původně sloužily k jiným účelům [6; 9].

Obecně lze říct, že se bodné zbraně konstrukčně skládají z rukojeti a pracovní části, která je zpravidla zakončena hrotem. Rukojeť slouží k uchopení a manipulaci se zbraní jednou rukou nebo oběma. Pracovní částí zbraně bývá nejčastěji čepel, která může být na jedné či obou stranách zbroušená do ostří, popřípadě břitů [8; 10].



Obrázek 8: Nůž. Zdroj: autor.



Obrázek 9: Improvizovaná bodná zbraň (zbroušená ocelová tyč). Zdroj: autor.

3.2.1 Improvizované bodné zbraně

Improvizované bodné zbraně (dále jen „IBZ“) jsou zbraně vyrobené z předmětů denní potřeby, které byly původně konstruovány pro jiný účel. Podle původního předmětu lze IBZ rozdělit na zbraně vyrobené z:

- pracovního materiálu (nůžky, hřeby, ocelové tyče, pilníky...),
- pracovního nářadí (šroubováky, kleště...),
- kuchyňského vybavení (kuchyňské přístroje, kuchyňské nože, kuchyňské náčiní...),
- variant dlouhých předmětů (hole, deštník...),
- variant krátkých předmětů do dlaně, tzv. „palm sticks“ – hřebeny, pera, klíče atp. [5; 11].

3.2.2 Nůž

Nůž je nástroj určený převážně k řezání měkkých částí. Čepel nože má povětšinou plochý tvar a nejčastěji je z jedné strany zbroušená do ostří. Nože se liší tvarem čepelí, konstrukcí, druhem výbrusu atd. U nožů se rozlišují dva základní typy – nože s fixní a nefixní čepelí [10].

- Nože s nefixní čepelí (kapesní nože):
 - zavírací nože,
 - vystřelovací nože,
 - multifunkční nože.
- Nože s fixní čepelí:
 - kuchyňské nože,
 - bojové nože,
 - tábornické nože,
 - osekávací nože,
 - lovecké nože.

Tvar čepelce patří k zásadním faktorům určujícím penetračně řezné schopnosti zbraně. V závislosti na účelu zbraně se rozlišují čepelce zbroušené do jednostranného nebo oboustranného ostří. Pokud se jedná o nástroj určený primárně k řezání či krájení měkkého materiálu, čepel má jednostrannou ostří. Oboustranně zbroušené čepelce se vyskytují u zbraní, které mají za cíl dobře proniknout do tkáně. Další rozlišení podle ostří je na čepelce s rovným, se zubatým anebo kombinovaným ostřím, přičemž zbraně

se zubatým ostřím mají lepší schopnost řezat i pevné, vláknité materiály. Přehled různých tvarů čepelí (viz obr. 10) [12; 13].



Obrázek 10: Tvary čepelí. Zdroj: [12]

Stejně jako tvar čepelí, tak i volba materiálu pro výrobu nože určuje penetrační schopnost zbraně. Nelze obecně říct, který materiál je pro výrobu nože nejvhodnější, protože každý má své výhody i nevýhody. Mezi nejčastěji používané materiály pro výrobu nožů patří uhlíková ocel, pružinové ocele, korozivzdorné ocele, damaškové ocele, práškové ocele a keramické materiály. Výborné řezné vlastnosti nabízí nože z keramického materiálu, které jsou velmi ostré. Nevýhodou těchto nožů je náročné broušení a křehkost materiálu, která vyžaduje velmi ohleduplné zacházení, aby se nevytvořily na ostří zoubky znehodnocující vlastnosti nože. Pevnost a tvrdost nabízejí nože vyrobené z damaškové oceli, pružinové oceli a práškové oceli. Nevýhoda může být, že na úkor pevnosti a tvrdosti materiálu mohou být nože zároveň křehké a při používání může docházet k odštěpování materiálu [8].

3.3 Ochranné vesty proti útoku bodnou zbraní

V posledních dvou desetiletích se spektrum hrozeb stále více rozšiřuje a zahrnuje nepřehledné množství ostrých a špičatých předmětů. Právě přísné právní předpisy o kontrole zbraní v mnoha zemích měly za následek značné snížení útoků prostřednictvím střelných zbraní. V závislosti na změně charakteru hrozeb vznikly nové požadavky na vývoj ochranných prostředků, které buď kombinují vlastnosti ochranných vest a chrání nositele před střelnými, a chladnými zbraněmi, anebo představují zcela novou formu ochrany, která chrání nositele jenom proti chladným zbraním [13].

3.3.1 Historie

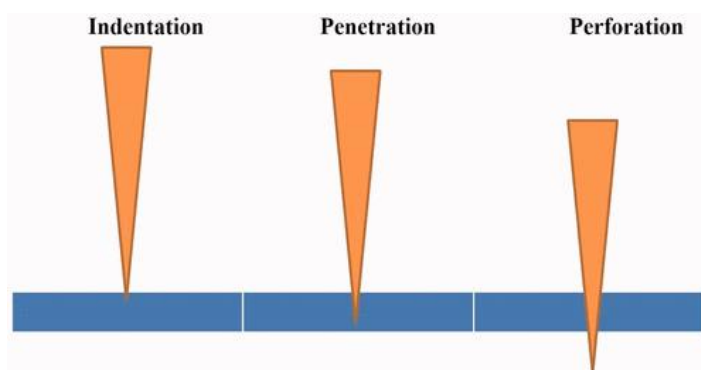
Vzhledem k tomu, že nůž je jeden z nejstarších nástrojů a jednou z nejstarších zbraní, kterou člověk používal, vývoj ochrany v podobě brnění započal již ve 13. století př. n. l., kdy Mongolové používali první primitivní ochranné prostředky vyrobené ze zvířecí kůže. Později se na ochranu používaly látkové zbroje vyrobené z hedvábí nebo lenu. Oproti zvířecí kůži umožňovala nositeli větší pohyblivost a obratnost. Důležitým milníkem ve vývoji zbroje byl vynález kroužkové zbroje vytvořené z husté sítě malých kovových kroužků, která se velmi rozšířila ve 12.–16. století po celé Evropě. Středověké brnění poskytovalo ochranu zejména proti chladným zbraním (meče, oštěpy atd.). V 17. století s vynálezem střelného prachu a palných zbraní většina současných brněních nebyla dostatečně účinná a došlo tak ke změně výrobního materiálu zbroje. Zbroj se tedy vyráběla většinou z kovu, což zároveň výrazně navyšovalo její hmotnost a snižovalo pohybové schopnosti nositele. V následných letech se experimentovalo s ocelí a později pak i jinými materiály (nylonová tkanina). Hlavním cílem bylo dostatečně ochránit nositele a snížit hmotnost zbroje za účelem zvýšení bojeschopnosti a obratnosti. V polovině 60. let společnost DuPont uvedla na trh nový materiál z para-aramidových vláken nazývaný Kevlar. Jedná se o krystalicky polymerní roztok s mimořádnou pevností a tuhostí. Dokonce je prokázáno, že je 5x silnější než ocel, což umožňuje výrobu lehčích a bezpečných vest. Dalším výrobcem je společnost Akzo Nobel, která produkt uvedla na trh pod názvem Twaron. Tento nový typ vláken byl představen Národní institucí spravedlnosti (NIJ) a následně se začaly vyvíjet lehké ochranné prostředky z těchto vláken. V letech 1975 a 1976 se na trh uvedly dvě nové ochranné vesty vyrobené z kevlaru. Tyto vesty se následně staly nezbytnou součástí výbavy bezpečnostních složek a ozbrojených sil. Od té doby se na trh uvedlo mnoho dalších ochranných prostředků nabízejících široké spektrum ochrany. Na trhu jsou k dispozici také tenčí, lehčí a odolnější materiály než Kevlar, ale za to jsou cenově dražší. Mezi tyto materiály patří například Dyneema od DSM, Twaron od Teijin Twaron, Zylon od Toyobo, Honeywell's GoldFlex, Spectra a Pinnacle Armor's DragonSkin. Evoluci ochranných prostředků lze spatřit v celé historii, přičemž její vývoj úzce souvisí s vývojem zbraní a způsobu boje [14; 15; 16].

3.3.2 Mechanismus průniku zbraně

Mezi mechanismem průniku střely a průniku chladné zbraně je významný rozdíl. V případě průniku střely je hmotnost střely velmi malá, avšak rychlost nárazu velmi vysoká. Zatímco v případě chladné zbraně, konkrétně nože, je hmotnost podstatně vyšší a rychlost nárazu daleko nižší oproti střele. Nicméně kvůli špičatému tvaru nože je velikost energie nárazu ve skutečnosti vyšší, neboť střela se při nárazu zploští a působí tedy na širokou plochu. Například velikost energie v případě střely ráže 9 mm (s hmotností 8 g a rychlostí 400 m / s) v místě nárazu by byla asi $10 \text{ J} / \text{mm}^2$, zatímco v případě útoku nožem (s rychlostí nárazu nože 5 m / s, plochou hrotu nože 0,25 mm a energií útoku 25 J) by velikost energie byla asi $100 \text{ J} / \text{mm}^2$. Proto by mohl být dopad nože na tělo nositele v případě útoku vyšší v porovnání s kulkou. Neprůstřelná vesta tudíž nemusí poskytovat dostatečnou ochranu proti bodným útokům [13].

Mechanismus průniku chladné zbraně závisí na konkrétním typu zbraně, zejména na tvaru čepele, ostrosti čepele, materiálu atd. Obecně platí, že zbraň předává energii okolnímu materiálu během penetrace, dokud se nezastaví. Právě při vývoji vesty a volbě materiálu je nezbytné toto analyzovat, neboť jednotlivé fáze průniku absorbují část energie a brání tak dalšímu pronikání vlákny [15].

Při útoku chladnou zbraní lze obecně vymezit tyto 3 fáze – zářez, penetraci a perforaci (viz obr. 11).



Obrázek 11: Fáze pronikání zbraně během bodnutí. Zdroj: [13].

V první fázi jsou přímo zasažena vlákna materiálu, čímž dojde k jejich přemístění nebo zničení, přičemž vznikne zářez. Odolnost materiálu v prvotní fázi závisí především na tvaru čepele, úhlu průniku, třecí interakci a toku napětí. Energie je rozptýlena v podélném a příčném směru a následně je absorbována vlákny. Vysoce pevná vlákna v tkanině absorbují značnou část energie a zabrání dalšímu pronikání. Při výrobě je tedy zapotřebí zaměřit se na druh materiálu. Ve druhé fázi čepel proniká hlouběji do materiálu,

příčemž během procesu pronikání působí třecí síly. V některých případech může čepel proniknout až k poslední vrstvě materiálu, kde se vytvoří hrbol. V této fázi se kinetická energie přemění na deformační energii, která deformuje celou strukturu. Charakter průniku je dán ostroťmi hrotu, tloušťkou a tvarem čepelce a povahou materiálu použitého v ochranné vestě. V závěrečné fázi nůž prochází poslední vrstvou materiálu ochranné vesty až do těla nositele, kde vznikne bodná rána [13; 15].

3.3.3 Ochranné mechanismy v ochranných vestách

V případě bodného útoku množství absorbované energie (E) je výsledek součinu aplikované síly (F) a vzdálenosti (D), po které interakce probíhá. Matematicky zapisujeme ve tvaru:

$$E = FD \text{ [J]}$$

Z toho vyplývá, že pro danou sílu lze absorpci energie maximalizovat zvětšením vzdálenosti. Toho lze dosáhnout dvěma způsoby. První způsob je, že materiál zcela absorbuje energii, přičemž dojde k deformaci panelu, ale nedojde k penetraci. Druhý způsob je, že zbraň může částečně proniknout, přičemž během procesu působí třecí síla a dochází k absorpci energie. U druhého způsobu je zapotřebí vhodně zvolit materiál, aby nedošlo k úplné perforaci a následnému poranění nositele [13].

Podle druhu použitého materiálu, konstrukce a ochranného mechanismu lze ochranné vesty proti bodným zbraním rozdělit na tzv. „hard body armour“ a „soft body armour“ [15].

- **Hard body armour**

Tvrdé ochranné vesty jsou oproti měkkým vyrobeny z tuhého materiálu a skládají se z nosiče a tvrdých panelů. Z historického hlediska se jedná o první typ ochranné vesty, při jejíž výrobě se používala ocel. V dnešní době jsou vesty vyrobené z oxidové keramiky, polyetylenu, karbidu boru nebo karbidu křemíku. Nejčastěji se jedná o spojení několika materiálů se specifickými vlastnostmi do jednoho tvrdého panelu, což poskytuje vysokou úroveň ochrany. Nevýhodou tohoto typu ochranné vesty je nedostatečná flexibilita a nepohodlnost. Vzhledem tuhosti materiálu je také zapotřebí, aby otvory kolem krku a průramků vesty byly dostatečně velké a zajišťovaly tak volnost pohybu. Další nevýhodou je, že pokud je proveden diagonální útok, může dojít k proklouznutí zbraně mezi pláty. Z toho důvodu se kombinují s měkkými panely, které maximalizují

komfort a bezpečnost. Princip ochrany tvrdé ochranné vesty spočívá v absorpci energie během prvotní fáze útoku, přičemž dochází k deformaci plátu, případně i zbraně [15; 16].

- **Soft body armour**

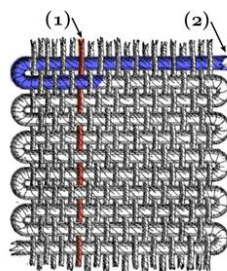
Měkké ochranné vesty jsou vyrobeny z měkkých materiálů, které zaručují pružnost. Díky tomu umožňují dostatečnou volnost pohybu. Stejně jako tvrdé ochranné vesty se skládají z nosiče a panelů. Panely jsou rozmístěny tak, aby zakrývaly nejdůležitější orgány. Aby nedošlo ke ztrátě vlastností vláken vlivem vlhkosti a tepla, jsou panely zabezpečeny vodotěsnou a nepropustnou plastovou fólií. Aby byla měkká ochranná vesta dostatečně odolná proti útoku chladnou zbraní, je zapotřebí vhodně zvolit materiál a jeho vrstvení. Pro výrobu se nejčastěji používají dva typy materiálů – tkané textilie a laminátové netkané textilie [15; 16].

3.3.4 Materiál

Materiály používané k ochraně proti bodnutí mají mnoho podob. Většina z nich je založena na technických textilích a tkaninách. Textilní materiály jsou známe svou flexibilitou oproti pevným materiálům jako keramické desky nebo kruhové pletivo. Tyto pružné textilní materiály mohou mít různé formy (tkané a netkané látky, tkaniny ošetřené STF atd.) a mohou být použity samostatně či kombinovaně dle požadované ochrany [13; 16].

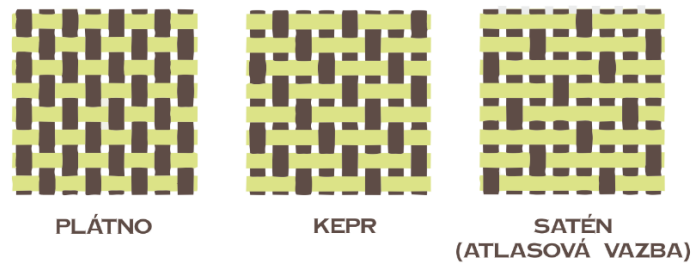
- **Tkané textilie**

Tkaniny se stále široce využívají pro výrobu ochranných vest. Ve srovnání s jinými strukturami, jako jsou netkané nebo pletené textilie, mají vyšší hustotu příze. Na druhou stranu v důsledku pravidelného provázání osnovních a útkových nití vzniká v materiálu zvlnění, což může mít za následek snížení tahových a tlakových vlastností ve srovnání s jinými materiály (jednosměrné (UD) textilie nebo příčné lamináty) [13; 15; 17].



Obrázek 12: Schéma osnovy (1) se zatvákaným útkem (2) - zvlnění materiálu. Zdroj: [18].

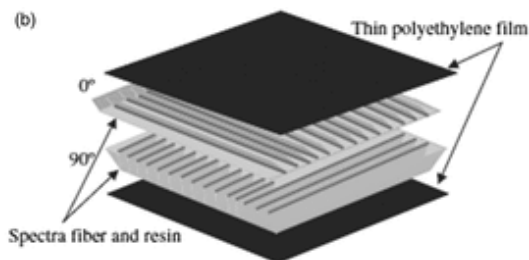
Při výrobě ochranných vest také záleží na vazbě tkanin. S nižší hustotou přízí nebude materiál tolik zvlněný a napětí mezi přízí bude nízké. To může vést k posunutí přízí a následně k průniku zbraně materiálem. Pokud bude hustota naopak vysoká, bude materiál i více zvlněn a napětí mezi přízí bude taktéž vysoké. Při průniku zbraně materiálem tak může dojít k degradaci a následnému průniku. Nejjednodušší vazbou tkaniny je plátňová vazba. Dále se používá vazba keprová, atlasová nebo tzv. Hopsackova vazba [13; 15].



Obrázek 13: Druhy tkaných vazeb. Zdroj: [19]

- **Netkané textilie**

Netkané textilie neboli „lamináty“ jsou druhy kompozitních materiálů, které tvoří několik vrstev stejného nebo různého materiálu. Jednosměrná (UD) tkanina je typ netkané textilie, kde jsou příze zarovnané jednosměrně v jedné vrstvě a následující vrstva je zarovnána směrem k první vrstvě, obvykle pod úhlem 90°. Vrstvy jsou trvale spojeny teplem, tlakem nebo vhodným lepidlem. Vlastnosti materiálu závisí na typu vlákna, počtu vrstev a vazbou mezi vlákny. Obecně však tento materiál vykazuje vysoké mechanické vlastnosti a odolnost proti probodnutí [13; 15].



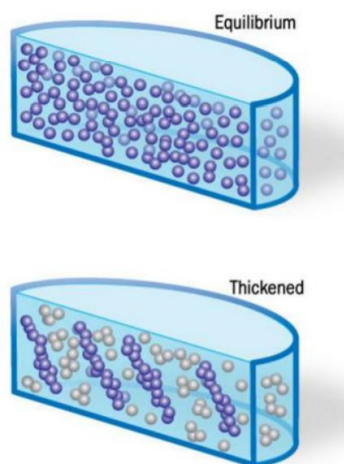
Obrázek 14: Jednosměrná (UD) tkanina. Zdroj: [13]

- **Tkané textilie ošetřené STF**

Jedním ze způsobů, jak navýšit ochranné vlastnosti vest, je přidání kapaliny zvané STF (Shear Thickening Fluid). Jedná se o koloid, který je vysoce naplněn malými, tuhými částicemi, které se mírně odpuzují, takže se snadno pohybují po celém objemu kapaliny, aniž by se shlukovaly nebo usazovaly na dně (tekutý stav). Ačkoliv se jedná o smykem

zhuštěnou tekutinu, při mechanickém napětí se chová jako pevná látka, neboť energie nárazu přemůže odpudivé síly mezi částicemi, které se začnou přitahovat a vytvářet shluky (pevný stav) [13; 15].

Když se energie rozptýlí, částice se opět začnou odpuzovat a shluky se rozpadnou (tekutý stav). Výroba látky je poměrně jednoduchá. Látka se vyrábí z částic oxidu křemičitého suspendovaného v polyethyleglykolu. Částice oxidu křemičitého mají průměr několik nanometrů (~450nm), což k vzhledem její velikosti některé studie popisují tekutinu jako nanotechnologii. Látka STF proniká vlákny Kevleru a drží koloidní roztok na místě. Když dojde k mechanickému napětí při nárazu, proces ztvrdnutí proběhne během několika milisekund. Kevlar ošetřený STF oproti čistému Kevlaru je ohebnější a také daleko silnější. Pro výrobu ochranné vesty je tudíž potřeba méně vrstev. Při laboratorních testech bylo prokázáno, že 4 vrstvy Kevlaru s STF dokáže rozptýlit stejné množství energie jako 14 vrstev čistého Kevlaru. Při bodnutí dojde k rozptýlení energie na širokou oblast těla nositele a snižuje se trauma tupé síly. Dále dochází k vyššímu tření mezi přízí a třením mezi přízí a bodnou zbraní, tudíž se zvyšuje odolnost proti bodnutí [13; 15].



Obrázek 15: STF – nahoře roztok v rovnováze, dole zhuštěná kapalina. Zdroj: [20]

3.3.5 Vlákna

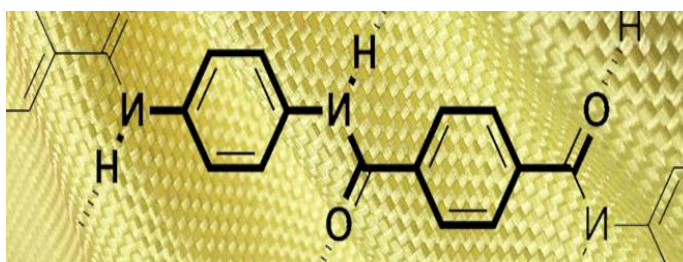
Při výrobě textilií se používají různé druhy vláken, přičemž jejím hlavním úkolem je absorbovat a rozptýlit energii, která je během bodnutí přenášena bodnou zbraní. V této části budou uvedeny vlákna, která se nejčastěji používají k výrobě ochranných vest, a to z důvodu jejich vlastností – pevnost, modul pružnosti a prodloužení při přetržení, schopnost absorbovat energii atd. V následující tabulce (viz tab.1) je uveden přehled nejpoužívanějších vláken, včetně jejich vlastností [13; 15; 16].

Tabulka 1: Typy vláken a jejich vlastnosti. Zdroj: [15].

| Typ vlákna | Pevnost [N/tex] | Modul pružnosti [N/tex] | Prodloužení [%] | Hustota [g/cm ³] | Znovuzískání vlhkosti [%] |
|---------------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|------------------------------|---------------------------|
| ARAMID (Kevlar/ Twaron) | 1,7 – 2,3 | 50–115 | 1,5 – 4,5 | 1,54 | 5 |
| UHMWPE (Dyneema/ Spectra) | 2,5 – 3,7 | 75–120 | 2,9 – 3,8 | 0,97 | 0 |
| PBO (Zylon) | 3,8 – 4,8 | 180 | 1,5 – 3,7 | 1,44 | 0 |

- **Para-aramidy (Kevlar, Twaron)**

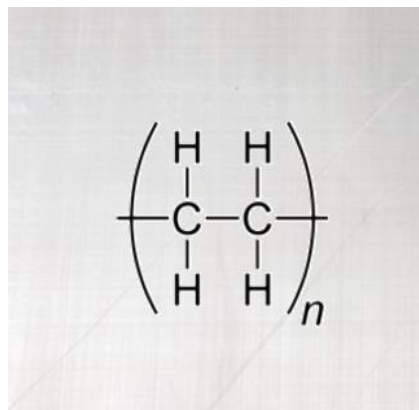
Para-aramidy patří díky svým výborným vlastnostem mezi nejčastěji používaná vlákna k výrobě ochranných vest. Žlutá vlákna se na trhu objevila poprvé v roce 1965 pod značkou Kevlar společnosti DuPont. Dalším výrobcem tohoto typu vláken je společnost Teijin Aramid (dříve Akzo Nobel), která produkt uvedla na trh pod názvem Twaron. Para-aramid je aromatický polyamid skládající se z cyklických aromatických prvků a amidové skupiny, konkrétně fenylové skupiny. Para-aramid vykazuje velmi dobré vlastnosti, například pevnost vůči hmotnosti, vysoký modul pružnosti a v neposlední řadě vysokou rozměrovou stabilitu, tedy dobrou odolnost proti proříznutí, která je výsledkem krystalické struktury s molekulárními řetězci orientovanými podél osy vlákna. Pro představu – Kevlar je cca pětkrát pevnější v tahu než ocel při stejné váze. Nevýhodou tohoto vlákna je jeho vysoká náchylnost k hydrolyze a citlivost na světlo a vlhkost. Vysoká citlivost na ultrafialové záření může způsobit, že vlákna ztratí až 75 % své pevnosti. Z toho důvodu musí být vlákna chráněna neprůhledným a nepropustným krytem, aby se zabránilo degradaci a ztrátě užitečných vlastností vláken [13; 15].



Obrázek 16: Chemická stavba Kevlaru. Zdroj: [21].

- **UHMWPE (Dyneema, Spectra)**

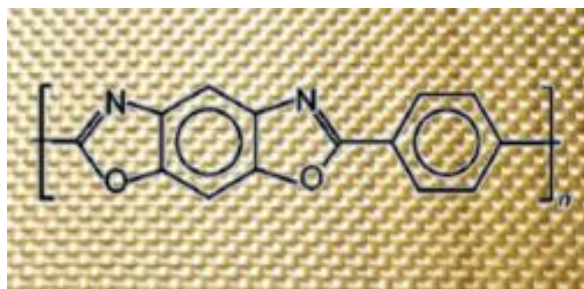
Polyetylen s ultra vysokou molekulární hmotností (dále jen „UHMWPE“) je speciálně vyrobený polyetylen s extrémně dlouhými lineárními řetězci, které jsou spojeny pomocí Van der Waalsových vazeb. Komerční úspěch si tato vlákna získala zejména díky svým nadstandardním mechanickým vlastnostem. Vztaženo na hmotnost se jedná o nejpevnější a téměř nejtužší komerčně dostupný materiál. Je silnější než ocel, dokonce silnější než aramid. Vyniká i vysokou absorpcí energie a vysokou odolností proti nárazu. I přes všechny výhody, jako je vysoká pevnost, lehkost a odolnost, tak tečení, nízká tepelná odolnost, přilnavost a kompresní vlastnosti omezují jeho aplikaci. Vlákna degradují již při teplotách 80–100 °C, z toho důvodu se kombinují s aramidovými vlákny. Vznikne tak materiál, který s dobrou tepelnou odolností, nízkou měrnou hmotností a vysokou pevností. Nejznámějšími společnostmi vyrábějící tento typ vláken je společnost DSM (značka Dyneema) a společnost Honeywell (značka Spectra) [15; 22].



Obrázek 17: Chemická stavba UHMWPE ($n > 100000$). Zdroj: [23].

- **PBO (Zylon)**

Poly-para-fenylen-2,6-benzo-bisoxazol (dále jen „PBO“) díky své struktuře, vykazuje velmi dobré mechanické vlastnosti. Značí se vysokou teplotní odolností a je téměř dvakrát pevnější v tahu než vlákna para-aramidová. Na druhou stranu je vysoce citlivý na dopad ultrafialového záření, proto musí být chráněn jinými krycími materiály. Tento typ vláken vyrábí japonská společnost Toyobo pod značkou Zylon. Kvůli technologické chybě při výrobě ale vlákna degradovala rychleji, než udával výrobce, a na základě následného soudního sporu bylo zakázáno vlákno využívat k výrobě balistické ochrany v USA [13; 15].



Obrázek 18: Chemická stavba PBO. Zdroj: [24]

3.3.6 Charakteristiky ochranných vest

Ochranné vesty by měly být navrženy tak, aby vyvážily konkurenční požadavky na nízkou hmotnost, ochranu a pohodlí během nošení a samozřejmě také přijatelnou cenu. Podle německého technické pokynů německé policie (TR) musí ochranné vesty splňovat následující požadavky. Vesta se musí snadno utahovat a nesmí bránit pohybu. S tím souvisí možnost přizpůsobovat standardní velikost vesty velikosti těla. Obecně platí, že vesty pokrývají oblast hrudníku a zad, čímž se minimalizují rizika vážného ohrožení zdraví a života nositele.

- **Ochrana**

Materiály používané při výrobě ochranných vest proti bodným zbraním by měly zabránit penetraci bodné zbraně materiálem do těla nositele. Jak už bylo zmíněno, vesta by měla chránit životně důležité orgány (srdce, plíce, játra, ledviny, slezinu atd.). Úroveň ochrany je dána povahou hrozby, které by byl nositel nejpravděpodobněji vystaven.

Tato práce se dříve věnovala jednotlivým bodným zbraním a typům útoků. K bodnému útoku je možné využít širokou škálu zbraní. Také techniky útoku jsou rozmanité. Vytvořit návrh vhodného pancéřování s požadovanou úrovní ochrany je tedy náročné. Nicméně úroveň ochrany proti bodnutí je stanovená v jednotlivých normách, které jsou rozebrány v kapitole 5.3. Posledním trendem v mnoha zemích je vytvoření panelu proti několika druhům hrozeb (balistická a bodná ochrana). Mezi takové panely patří například panel SafariLand SBA-MT22-II-S2-M MT22 Series Prism® od společnosti Mallory. Tento panel kombinuje několik nejpokročilejších tkaných aramidových vláken a splňuje normu NIJ 0101-06 [13; 15].

- **Komfortní vlastnosti**

Kromě ochrany je třeba brát v úvahu také komfortní vlastnosti vesty, zejména pohodlnost během nošení, termo-fyziologický komfort a mobilitu nositele. Vztah mezi úrovní ochrany a pohodlím je inverzní. Vzhledem k požadované úrovni ochrany jsou vesty vyrobeny z několika vrstev (průměrný pancíř až 40–50). To může způsobit, že vesta je těžká, málo flexibilní a omezuje pohyb nositele. Vysoká úroveň ochrany snižuje komfortní vlastnosti vesty a tím pádem se zkracuje i doba nošení [13; 15].

Také termo-fyziologický komfort je důležitým aspektem z hlediska pohodlného nošení. Při dlouhodobém nošení ochranné vesty by nemělo docházet k hromadění tepla. Materiál by měl umožnit odvádět metabolické teplo a vlhkost. Problém je, že panely neumožňují cirkulaci vzduchu. Při fyzické námaze nebo vlivem vysokých teplot okolí dochází k větší produkci potu, který ulpívá na pokožce, neboť se nemůže odpařovat. Pro nositele je toto nepříjemné, zvláště, obzvláště pak v letním období. Z toho důvodu transport vlhkosti v tkaninách hraje důležitou roli. Jedním ze způsobů, jak tuto problematiku řešit, je použití síťovaných tkanin jako vnitřní vrstvy oděvu. Tyto látky dobře odvádějí teplo a vlhkost [13; 15].

- **Ergonomické vlastnosti**

Přizpůsobení ochranné vesty tělu nositele také hraje významnou roli. Konstrukce ochranné vesty by neměla ovlivnit pohodlí, mobilitu a kognitivní funkce nositele. Přizpůsobení vesty tělu nositele lze hodnotit ve 4 stupních. Prvním stupněm je standardní velikost vesty. Ve druhém stupni se hodnotí délka ochranné vesty a třetí stupeň hodnotí velikost průramků a výstřihů. Čtvrtý stupeň hodnotí individuální charakteristiky těla, jako přidání košíčků pro ženy, nebo druh činnosti (jízda v autě atd.) [13; 15].

Kromě přizpůsobení je důležitým ergonomickým faktorem také hmotnost ochranné vesty. Zejména pro dlouhodobé nošení. Ale jak už bylo zmíněno, úroveň ochrany souvisí také s mírou pohodlí, kam můžeme zařadit i hmotnost vesty. Proto musí být nalezena rovnováha mezi komfortem a ochranou [13; 15].

Mobilita je ovlivněna několika faktory – počtem a tloušťkou vrstev, designem a přizpůsobením vesty. Se zvyšujícím se počtem vrstev se zvyšuje i celková hmotnost, což může mít vliv na pohyblivost nositele. V několika případech může omezený pohyb

vést k nepříjemným pocitům během nošení, jako je bolestivost při pohybu, dření během pohybu atd [13; 15].

3.4 Normy hodnocení ochranných vest

Vzhledem k existenci mnoha typů hrozeb neexistuje univerzální vesta, která by nositele ochránila před všemi druhy ohrožení. Každá ochranná vesta má jinou úroveň ochrany, a to v závislosti na druhu materiálu a jeho vrstvení. Proto je nutné, aby se odolnost ochranných vest určitým způsobem klasifikovala. K tomu slouží určené národní a mezinárodní normy.

Mezi takové normy patří například NIJ Standard-0115.00, VPAM KDIW 2004, The Home Office Body Armour Standard 2017, ČSN EN ISO 13998, ČSN 39 5360. Tyto normy přesně definují úroveň ochrany v závislosti na energii a typu zbraně. Dále stanovují podmínky pro testování odolnosti [25].

Odolnost ochranných vest se testuje ve zkušebnách s oprávněním tyto zkoušky provádět. Tato činnost podléhá normám, které mimo jiné vymezují, jakým způsobem, za jakých podmínek a s jakým technickým vybavením se provádí zkouška. Po provedení zkoušky se vyhotoví protokol a pokud výrobek vyhovuje všem stanoveným parametrům, je mu vydán certifikát [25].

V České republice má Český úřad pro zkoumání zbraní a střeliva oprávnění provádět zkoušky odolnosti ochranných prostředků podle národních a mezinárodních norem [25].

3.5 Fyzikální vlastnosti útoku nožem

3.5.1 Fyzikální postupy určení parametru během útoku

- **Druhý pohybový zákon – zákon síly**

Pohybový stav útočnicka se mění, tudíž se mění i vektor rychlosti a útočnick se pohybuje se zrychlením nebo zpomalením. Zákon vyjadřuje vztah mezi výslednicí působících sil (F) a zrychlením útočnicka (a), kdy platí: velikost zrychlení útočnicka je přímo úměrná velikosti výslednice sil (F) působících na těleso a nepřímo úměrná hmotnosti (m) útočnicka. Matematicky se zapisuje ve tvaru:

$$F = ma \text{ [N] ; } a = \frac{F}{m} \text{ [m} \cdot \text{s}^{-2}\text{]}$$

Jinou možností aplikace tohoto zákona je situace, kdy útočník působí silou úderu (F) na protivníka a tím za jistých okolností uvádí jeho tělo o hmotnosti (m) do pohybu se zrychlením (a). Tento zákon také umožňuje zjistit, jak velká síla (F) vzniká při úderu, jestliže je hmota o hmotnosti (m) tímto nárazem zpomalena s určitým zpomalením (a) (viz impuls síly) [26].

- **Třetí pohybový zákon – akce reakce**

Při kontaktu útočníka s cílovým bodem úderu působí útočník silou (F) a jako reakce současně vzniká síla opačného směru ($-F$), kterou cílový bod působí na útočníka. Síly akce a reakce jsou stejně velké, liší se však svými silovými účinky, které jsou závislé na hmotnosti. Síla reakce podložky působí stejně velkou silou jako útočník působí na ní. Bez působení sil nemůže dojít ke změnám pohybového stavu útočníka [26].

- **Vnější síly**

Při provádění útoku dochází ke spolupůsobení vnějších sil a vnitřních svalových sil, přičemž vnitřní svalové síly jsou prvotním činitelem. Tíhová síla (F_G) působí na všechny hmotné objekty na povrchu Země, ať se nacházejí v klidu či v pohybu, přičemž se její působíště nachází v těžišti útočníka. Při útoku se překonává tíhová síla svalovými silami. Z druhého Newtonova zákona vyplývá, že stálá síla uděluje tělesu stálé zrychlení, v tomto případě je to tíhové zrychlení g ($= 9,806\ 65\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$). Pro velikost tíhové síly platí:

$$F_G = mg \text{ [N]}$$

Tíha (G) je tlaková síla, kterou působí útočník na podložku. Její působíště je v kontaktu útočníka s podložkou. Jelikož útočník při útoku nesetrvává v klidu, velikost tíhy se nerovná velikosti tíhové síly. Při pohybu velikost tíhy závisí na setrvačných silách. Tíha tělesa může být stejná, větší nebo menší, než je tíhová síla. K tíhové síle se musí přičíst velikost svalové síly, jejímž působením roste tíha [26].

Časový účinek síly – hybnost, impuls síly, 1. impulsová věta

Hybnost (p) určuje pohybový stav útočníka. Hybnost má stejný směr jako vektor okamžité rychlosti tělesa. Velikost hybnosti závisí na hmotnosti (m) tělesa a na jeho rychlosti (v). Matematicky se zapisuje ve tvaru:

$$p = mv \text{ [kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}\text{]}$$

Při útoku nožem se musí vypočíst hybnost nože a hybnost útočnicka. Hybnost útočnicka se zjistí výpočtem hybností jednotlivých segmentů, které vychází z rychlostí jednotlivých segmentů a rozložení hmoty segmentů z biomechanické tabulky (viz obr. 19) [26].

| název segmentu | B_0 (kg) | B_1 | B_2 (kg.cm ⁻¹) |
|---------------------|------------|---------|------------------------------|
| hlava | 1,296 | 0,0171 | 0,0143 |
| trup - horní část | 8,2144 | 0,1862 | -0,0584 |
| trup - střední část | 7,181 | 0,2234 | -0,0663 |
| trup - dolní část | -7,498 | 0,0976 | 0,04896 |
| stehno | -2,649 | 0,1463 | 0,0137 |
| bérec | -1,592 | 0,03616 | 0,0121 |
| noha | -0,829 | 0,0077 | 0,0073 |
| nadloktí | 0,25 | 0,03013 | -0,0027 |
| předloktí | 0,3185 | 0,01445 | -0,00114 |
| ruka | -0,1165 | 0,0036 | 0,00175 |

$$m_i = B_0 + B_1 m + B_2 v$$

kde m = celková hmotnost (kg) a v = výška osoby (cm)

Obrázek 19: Tabulka na výpočet hmotnosti segmentu dle Zaciorského a Selujanova. Zdroj: [27]

Impuls síly (I) vyjadřuje časový účinek síly na těleso a platí:

$$I = F \Delta t \text{ [N} \cdot \text{s]}$$

Hybnost, kterou má před nárazem útočnick a která se během kontaktu předává cílenému bodu, má určitou velikost, jejíž změně při nárazu odpovídá impuls síly. „Důsledkem je tedy skutečnost, že při vzájemném silovém působení těles se hybnost jednoho z nich zvýší o tolik, o kolik se tímto silovým působením sníží hybnost druhého tělesa [26].“

1. Impulsová věta: Časová změna hybnosti tělesa je rovna výsledné vnější síle a platí:

$$F \Delta t = m \Delta v$$

„Je patrné, že pohybový účinek síly závisí na velikosti působící síly a na době jejího působení. Jestliže tělu udělujeme požadovanou rychlost, zvětšujeme jeho hybnost, jedná se o pohyb zrychlený [26].“ Pro rychlost, které segment těla dosáhne, pak po dosazení platí:

$$v = \frac{F \Delta t}{m} = \sqrt{2as}$$

Z tohoto vztahu vyplývá, že pokud dráha, po které segment zrychluje, je delší, dosáhne tak i větší rychlosti. Ovšem pokud se zvětší rychlost dojde i k prodloužení doby působení síly [26].

- **Tlak**

Při útoku vzniká tlak, který je roven síle rozložené na určité ploše. Platí tedy:

$$p = F_{sp} = \frac{F}{s} \text{ [pa]}$$

Velikost tlaku způsobuje zranění při nárazu. Zvláště při útoku nožem je plocha kontaktu hrotu nože velmi malá. Dochází tak k maximalizování velikosti síly a množství energie připadající na jednotku plošného obsahu, což má za následek penetraci nože do těla [26].

- **Energie**

Velikost kinetické energie útočnicka závisí na jeho rychlosti (v) a hmotnosti (m). „Velikost kinetické energie však nezávisí na směru rychlosti, pouze na její velikosti. Uvádíme-li těleso do pohybu, musíme vykonat odpovídající mechanickou práci, to znamená, že musíme působit na těleso silou F (předpokládejme konstantní) po určité dráze s . Těleso se pohybuje rovnoměrně zrychleně po dráze s , čímž roste jeho rychlost. Urychlením tělesa dochází ke změně jeho kinetické energie. Uvažujme, že do pohybu uvádíme těleso z klidového stavu [26].“ Platí tedy:

$$W = Fs = mas = ma \frac{1}{2} at^2 = \frac{1}{2} m(at)^2 = \frac{1}{2} mv^2$$

Velikost hmotnosti má vliv na výslednou kinetickou energii úderu. Například, pokud útočnick při přímém útoku nezapojí celé tělo, jeho energie bude menší než u obloukových úderů, kde útočnick zapojuje celé tělo [26].

Potenciální energie pružnosti je uložena ve svalech. Při útoku se svaly útočnicka dostávají při náprahu do určitého předpětí a jeho tělo a paže mají tuto potenciální energii. Jakmile útočnick zahájí úder, potenciální energie pružnosti se začne měnit v kinetickou energii. Velikost kinetické energie závisí na hmotnosti útočnicka a rychlosti jeho útoku. Při nárazu do cílového bodu se kinetická energie částečně přeměňuje na kinetickou energii cílového bodu a částečně na vnitřní energii útočnicka a cílového bodu. Poměr těchto dvou forem energie závisí na druhu srážky [26].

- **Výpočet energie bodných útoků**

Pro výpočet celkové energie útoku je nejprve zapotřebí znát kinetickou energii zapojených segmentů těla, která se vypočítá součtem translační a rotační energie. Translační energie segmentu se vypočítá z hmotnosti (m_i) a rychlosti (v_i) segmentu.

Rotační energie se vypočítá na základě znalosti momentu setrvačnosti a úhlové rychlosti segmentu. Hmotnosti jednotlivých segmentů víme z biomechanické tabulky (viz obr. 19). Ostatní veličiny, jako rychlosti segmentu, segmentový moment setrvačnosti a úhlovou rychlost segmentu, se zjistí například prostřednictvím softwarových programů pro analýzu pohybu [28].

Matematicky se vyjadřuje takto:

$$E_{k,in} = \frac{1}{2} \sum [m_i (v_i - v)^2 + I_i (\omega_i - \omega)^2],$$

Kde m je hmotnost segmentu, v je rychlost, I je moment setrvačnosti a ω úhlová rychlost. Celková energie útoku se získá následně součtem všech kinetických energií zapojených segmentů. Tato energie se následně vlivem nárazu do cílového objektu transformuje na deformační energii [28]. Matematicky lze vyjádřit takto:

$$E_k = \sum E_{k.in} \rightarrow E_{pp} = \frac{1}{2} k \chi^2$$

3.5.2 Fyzikální účinky během útoku

Mezi parametry, které jsou sledovány v případě hodnocení biomechaniky útoku nožem, patří rychlost, energie, hybnost segmentů a nože, působící síla a točivý moment. Pro účely analýzy jednotlivých parametrů je možné využít kamerové systémy Motion Capture system (dále jen „MoCap“). Mezi systémy, které byly využity pro studium biomechaniky bodnutí, patří například Vicon (Oxford, United Kingdom). Jeho alternativami, které se využívají při studiu biomechaniky pohybu horní končetiny, jsou například systém Qualisys (Göteborg, Sweden), OptiTrack (Corvallis, Oregon USA) a další. Tyto MoCap systémy jsou založeny na principu sledování infračervených pasivních/aktivních optických markerů sadou kamer. Způsob měření prostřednictvím pasivních infračervených markerů je pohodlnější, neboť vyžaduje pouze připevnění nezávislých reflexních značek na kůži/oděv subjektu. Zatímco aktivní markery (standardně infračervené LED) vyžadují připojení k baterii prostřednictvím napájecích kabelů. Aktivní markery však tuto nevýhodu vynahrazují následným snadnějším zpracováním dat včetně nezaměnitelností markerů v případě, že jsou zakryty nebo se nacházejí v těsné blízkosti. U systémů využívajících pasivní markery (Vicon, Qualisys) je i přes řadu algoritmů, které se snaží automaticky rozpoznat identitu markeru na základě jeho pravděpodobné trajektorie, nutné manuální čištění dat uživatelem [29; 30; 31; 32]

Chadwick a spol. využil pro potřeby určení biomechaniky bodnutí nožem systém Vicon s 6 kamerami, přičemž pro analýzu byly vybrány rigidní segmenty horního trupu, paže, předloktí a ruky držící nůž. Rychlosti vypočítané na základě měřené trajektorie těchto segmentů, spolu se znalostí rozložení hmotnosti na základě biomechanických tabulek, umožnilo výpočet energie, rychlosti a momentu segmentů. Pro potřeby určení hmotnosti segmentů se používá mnoho metod s různými výsledky - (Dempster (DM), Zatsiorsky a Seluyanov (ZM), Cheng (CM) [29; 32].

Tabulka 2: Hmotnosti jednotlivých segmentů k vzhledem hmotnosti těla, různé metody. Zdroj: [32]

| | OM [% hm.] (SD) | CM [% hm.] (SD) | DM [% hm.] | ZM [% hm.] |
|---------------------|-----------------|-----------------|------------|------------|
| Hlava a krk | 7,13 (0,59) | 7,25(0,6) | 8,1 | 7,35 |
| Trup a pánev | 46,49 (1,61) | 43,5(3,5) | 49,7 | 42,55 |
| Trup | 35,32 (1,72) | - | 35,5 | - |
| Pánev | 11,17 (0,94) | - | 14,2 | - |
| Paže | 3,73 (0,28) | 3,77(0,5) | 2,8 | 2,67 |
| Předloktí | 1,33 (0,09) | 1,41(0,3) | 1,6 | 1,61 |
| Ruka | 0,57 (0,06) | 0,62(0,32) | 0,6 | 0,65 |
| Stehno | 11,41 (1,04) | 12,8(1,8) | 10 | 14,31 |
| Holeň | 4,48 (0,37) | 4,14(0,3) | 4,65 | 4,44 |
| Noha | 1,66 (0,16) | 1,88(0,2) | 1,45 | 1,46 |

Pro změření síly byl použit speciální nůž, který byl konstrukčně navržen tak, aby naměřil axiální sílu (po délce čepele), řeznou sílu (rovnoběžně se šířkou čepele), boční sílu (přes čepel) a točivý moment. Měření se zúčastnilo celkem 20 probandů z řad studentů a příslušníků policie (17 mužů a 3 ženy) s hmotností v rozsahu 54–98 kg (průměr: 79,6 kg) a výškou v rozsahu 163–198 cm (průměr: 178,9 cm). Probandi pod dohledem policejních instruktorů provedli 3 typy útoků – krátký přímý úder, horizontální obloukový úder a úder shora, a to v 5 opakování do 2 úrovní cíle. Celkem bylo naměřeno 30 útoků. První fáze, tzn. před kontaktem špičky nože s cílem, byly výsledky vyhodnoceny systémem Vicon Nexus (viz tab. 3). Výsledky druhé fáze, od počátečního kontaktu špičky siloměrného nože s cílem po zastavení pohybu, jsou zobrazeny v tabulce 4 [29].

Tabulka 3: Výsledky naměřené během první fáze. Zdroj: [29]

| | Rychlost [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] | Moment ($\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) | Energie [J] |
|----------------------|---|---|-------------|
| Minimum | 2,6 | 12 | 7 |
| Průměr | 5,8 | 40 | 36 |
| 95% percentil | 8,4 | 8,4 | 69 |
| Maximum | 9,2 | 103 | 103 |

Tabulka 4: Výsledky naměřené v průběhu druhé fáze siloměrným nožem. Zdroj [29]

| | Axiální síla (N) | Řezná síla (N) | Boční síla (N) | Točivý moment (Nm) |
|----------------------|------------------|----------------|----------------|--------------------|
| Minimum | 474 | 18 | 14 | 0,4 |
| Medián | 1091 | 146 | 88 | 2,6 |
| 95% percentil | 1885 | 465 | 343 | 6,6 |
| Maximum | 2261 | 869 | 634 | 9,4 |

Horsfall a spol. využili k určení biomechaniky bodnutí nožem speciálně konstruovaný nůž, kterým se naměřila síla a zrychlení během nárazu. Z těchto základních údajů je možné následně odvodit další údaje, jako je celková energie nárazu a rychlost nárazu. Okamžitá energie byla následně vypočítaná ze vztahu: délka vzdálenosti provedeného úderu vynásobená velikostí síly, což se následně sečetlo, aby se určila celková energie bodnutí:

$$E = \sum i = 0i = Fi \cdot \Delta xi$$

Do testování se zapojilo několik skupin dobrovolníků – studenti z Royal Military College of Science (RMCS), policisté z Gloucester a Hertfordshire a návštěvníci Mezinárodního veletrhu policie a bezpečnosti. Při testování se měřily dva typy útoků – přímý vpich a vpich shora dolů, přičemž některé skupiny provedly oba typy útoků. Výsledky jednotlivých skupin jsou znázorněny v tabulce 5 [33].

Tabulka 5: Výsledky testování. Zdroj [33]

| Skupiny | Počet testů | Prům. energie (J) | 95% percentil energie (J) | Max energie (J) | Prům. rychlost (ms ⁻¹) | 95% percentil rychlosti (ms ⁻¹) | Max rychlost (ms ⁻¹) |
|---------------------------------------|-------------|-------------------|---------------------------|-----------------|------------------------------------|---|----------------------------------|
| Všichni přímé bodnutí | 157 | 26,4 | 54,4 | 63,4 | 5,8 | 8,2 | 10,1 |
| Všichni bodnutí shora dolu | 46 | 46,1 | 77,3 | 114,9 | 8,5 | 11,0 | 11,6 |
| Muži přímé bodnutí | 142 | 28,1 | 54,9 | 63,4 | 6,0 | 8,3 | 10,1 |
| Ženy přímé bodnutí | 15 | 10,8 | 22,4 | 30,9 | 4,6 | 6,0 | 7,4 |
| RMCS přímé bodnutí | 32 | 26,8 | 50,9 | 57,5 | 6,1 | 8,3 | 9,4 |
| Policie Gloucestershire přímé bodnutí | 60 | 31,6 | 57 | 64 | 6,1 | 7,8 | 9,0 |

3.6 Závěr kapitoly

Tato část práce se zabývala jednotlivými útoky bodnou zbraní a druhy bodných zbraní. Dále se zabývala ochrannými vestami, jejich historickým vývojem a druhem materiálu. Na závěr byly popsány fyzikální působení během útoků a parametry, které se během útoků vyskytují a následně hodnotí.

Součástí kapitoly byla rešerše primárních a sekundárních zdrojů. V kapitole byl zvolen přístup syntetické rešerše, která umožnila identifikovat, ohodnotit a provést syntézu existujících informací. Tento postup zároveň umožnil minimalizovat ovlivnění textu vlastními názory a poskytnout tak objektivní pohled na danou problematiku. Při tvorbě literární rešerše se vycházelo převážně z vědeckých článků, monografií a elektronických zdrojů [34].

Rešerše útoků bodnou zbraní měla ukázat způsoby provedení jednotlivých útoků včetně jejich cílené oblasti. Zjištěné poznatky se uplatní následně při hodnocení kinetické energie útoků, kdy znalost trajektorie útoků (přímá, oblouková) a zapojení segmentů umožní vypočítat výslednou kinetickou energii jednotlivých druhů útoků. Cílená oblast jednotlivých druhů útoků poslouží následně pro určení typu útoku na základě bodných zranění, kterými se zabývaly studie uvedené v diplomové práci.

Rešerše ochranných vest měla ukázat, jaké existují druhy vest, jak se od sebe liší a jaké jsou jejich výhody a nevýhody. Tato část práce se také věnovala mechanismu bodnutí, kde bylo zjištěno, že neprůstřelná vesta s ochranou vložkou proti střelné zbraní nemůže dostatečně ochránit nositele proti útoku bodnou zbraní. Znalost mechanismu bodnutí, obzvláště jeho jednotlivých fází, umožňuje při vývoji ochranné vesty vhodně kombinovat materiál a jeho vrstvy tak, aby nositeli poskytovala maximální ochranu a zároveň do jisté míry zajistila uživatelský komfort. Získané poznatky o vlastnostech vláken poslouží následně pro hodnocení kritéria „materiál“ v multikriteriální analýze.

Studium fyzikálního působení během útoků měla ukázat fyzikální postupy pro hodnocení parametrů, které se hodnotí v případě biomechaniky útoku nožem. Parametry, které se hodnotí během útoku, jsou rychlost (translační, úhlová), energie (translační, rotační) a moment setrvačnosti zapojených segmentů. Pro analýzu parametrů je možné využít kamerových systémů MoCap, mezi které patří například Vicon Nexus. Pro stanovení kinetické energie útoku bude v souladu s předcházejícími studiemi použit pro analýzu parametru program Vicon Nexus a na základě fyzikálního vztahu

$(E_k = \sum E_{k.in} \rightarrow E_{pp} = \frac{1}{2} k \chi^2)$ vypočítaná výsledná kinetická energie útoku. V rámci řešení nebyl zjištěn postup pro vyhodnocení parametrů v programu Vicone Nexus, tudíž se touto problematikou bude zabývat experimentální část práce.

Tato část práce má sloužit jako úvod do problematiky, které bude věnován větší prostor v praktické části.

4 METODIKA

4.1 Analýza fyzikálních vlastností

Analýza dat byla provedena za účelem uspořádání, strukturování a získávání významu ze získaných dat [35]. Tato metoda byla použita pro verifikaci nebo falzifikaci hypotézy H1 (Předpokládá se, že je možné obecně sjednotit národní/mezinárodní normy, které jsou v každém zemi odlišné) a splnění dílčího cíle (tj. sjednotit požadavky norem a požadavků uživatelů (členů ozbrojených složek)).

4.1.1 Analýza norem a parametrů pro hodnocení vest

NIJ Standard-0115.00

Tato norma stanovuje minimální požadavky odolnosti vest proti bodnutí včetně její zkoušky. V této normě jsou zahrnuty pouze bodné zbraně, jejichž hrot leží v blízkosti středové linie zaťaté pěsti držící zbraň. Sekery a kladiva v této normě zahrnuty nejsou [36].

Ochranné vesty jsou rozdělené do tříd v závislosti na druhu ohrožení, dále pak do úrovní označujících bodnou energii, kterou by vesta měla pojmout [36].

- **Třídy odolnosti**

V této normě jsou definovány 2 třídy. První třída, tzv. „Edge Blade“, se vztahuje na vysoce kvalitní bodné zbraně, běžně dostupné na trhu. V ulicích se očekávají převážně zbraně této kvality a jejich maximální hloubka penetrace je 7 mm. Druhá třída, tzv. „Spike“, se vztahuje na improvizovaně vyrobené bodné zbraně a jejich maximální penetrace je 20 mm [36].

- **Úrovně ochrany**

Úrovně ochrany vycházejí ze studie PSDB provedené v letech 1997–1999, kdy se měřilo, jakou silou je schopný bodnout průměrný muž. Ze studie vyšlo, že nejnižší úroveň 1 odpovídá 85 percentilům, úroveň 2 odpovídá 90 percentilům a úroveň 3 odpovídá 96 percentilům [36].

V tabulce 6 můžete vidět rozdělení jednotlivých úrovní ochrany ve dvou různých energiích (E1, E2). E1 uvádí maximální průnik čepele 7 mm. Při tomto průniku je poškození vnitřních orgánů nepravděpodobné. E2 uvádí průnik čepele 20 mm, kdy se kinetická

energie hrotu čepele navýšila o 50 %. Ani při tomto průniku by nemělo dojít k výraznému poškození vnitřních orgánů a ohrožení na životě [36].

Tabulka 6: Úrovně ochrany. Zdroj: [36].

| Úroveň ochrany | E1 [J] (maximální penetrace 7 mm) | E2 [J] (maximální penetrace 20 mm) |
|----------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 24 ± 0,50 | 36 ± 0,60 |
| 2 | 33 ± 0,60 | 50 ± 0,70 |
| 3 | 43 ± 0,60 | 65 ± 0,80 |

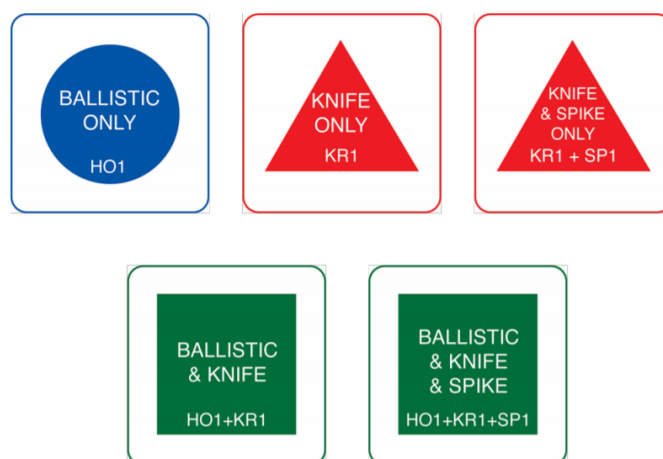
V úrovni 1 jsou klasifikovány ochranné vesty s nízkou úrovní ochrany, které se používají spíše jako doplňkové vybavení. Tyto vesty jsou vhodné pro dlouhodobé nošení v málo rizikových oblastech. V úrovni 2 jsou klasifikovány ochranné vesty pro všechny bezpečnostní složky, které poskytují lepší úroveň ochrany. Ochranné vesty klasifikované v úrovni 3 mají vysokou úroveň ochrany a jsou určeny pro krátkodobé nošení ve vysoce rizikových oblastech [36].

- **Zkouška odolnosti**

Zkoušky se provádí při teplotách 21±6 °C a relativní vlhkosti vzduchu 50±20 %. Zkouška odolnosti se provádí na přístroji „Drop Mass“, kdy jsou spouštěny 2 (P1 a S1) druhy čepele na testovaný materiál v daných energiích (viz tab. 6). Čepel P1 představuje malý nůž s jednou řeznou hranou a čepel S1 představuje velký nůž (např. kuchyňský) s dvěma řeznými hranami. Obě čepele mají špičatý hrot. Testovací materiál je umístěn na podkladový materiál, který se skládá z několika vrstev materiálu [36].

The Home Office Body Armour Standard (2017)

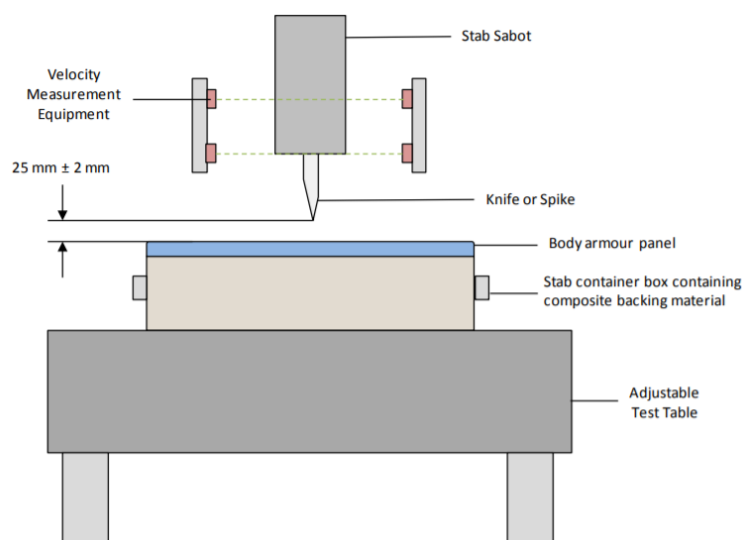
Tato norma stanovuje standardy neprůstřelných vest britské policie pro chladné zbraně, střelné zbraně i jejich kombinaci. Dále jsou zde stanoveny metody testování odolnosti vest. V této normě jsou ochranné vesty rozděleny do 4 kategorií podle konkrétní hrozby (viz obr. 20) [37].



Obrázek 20: Kategorie ochranných vest proti hrozbám. Zdroj: [37].

- **Zkouška odolnosti proti bodným zbraním**

Zkoušky odolnosti se provádí při teplotách 20 ± 3 ° C s relativní vlhkostí 40 až 70 % volným pádem do testovacího materiálu o min. rozměrech 400 x 333 mm. Pod testovacím materiálem je podkladový materiál o rozměrech 420 x 350 x 100 mm. V testovacím zařízení se bodná zbraň nastaví do předem definované výšky odpovídající zkušební energii (viz tab. 7). Testovací zbraň pod vlivem gravitace volným pádem dopadá na testovací materiál v předem určeném místě. Aby se zabránilo rotaci zbraně kolem její osy, je zbraň umístěna ve speciálním pouzdře. Celková hmotnost zbraně a pouzdra je $1\,900 \pm 20,5$ g [37].



Obrázek 21: Testovací zařízení pro zkoušku odolnosti materiálu (testovací HOSDB 2017). Zdroj: [37].

V tabulce 7 jsou uvedeny jednotlivé úrovně ochrany v závislosti na energii E1, E2 a maximální možné průniky u jednotlivých úrovní ochrany. Dále je zde definován limit

průniku (SPL), což znamená, že při jedné testovací sérii je povolena jedna kritická hodnota [37].

Tabulka 7: Úroveň ochrany. Zdroj: [37].

| Úroveň ochrany | E1 | | | E2 | | |
|----------------|-----------|--------------------------|-----------------|-----------|--------------------------|--------------------|
| | E[J] J | Maximální průnik [mm] | SPL [mm] | E[J] J | Maximální průnik [mm] | SPL [mm] |
| KR1 | 24 | 8 | 9 | 36 | 20 | 30 |
| KR1+SP1 | 24 | KR1=8, SP1=0 | KR1=9, SP1=0 | 36 | KR1=20, SP1=N/A | KR1=20, SP1=N/A |
| KR2 | 33 | 8 | 9 | 50 | 20 | 30 |
| KR2+SP2 | 33 | KR2=8, SP2=0 | KR2=9, SP2=0 | 50 | KR2=20, SP2=N/A | KR2=20, SP2=N/A |

Při E1 je v testovací sérii povolen jeden kritický průnik až do 9 mm. Ostatní průniky musí být do 8 mm. Při E2 je povolen kritický průnik až do 30 mm a všechny ostatní musí být do 20 mm. Špice (SP1, SP2) se hodnotí pouze při E1, a přitom nejsou povoleny žádné průniky [37].

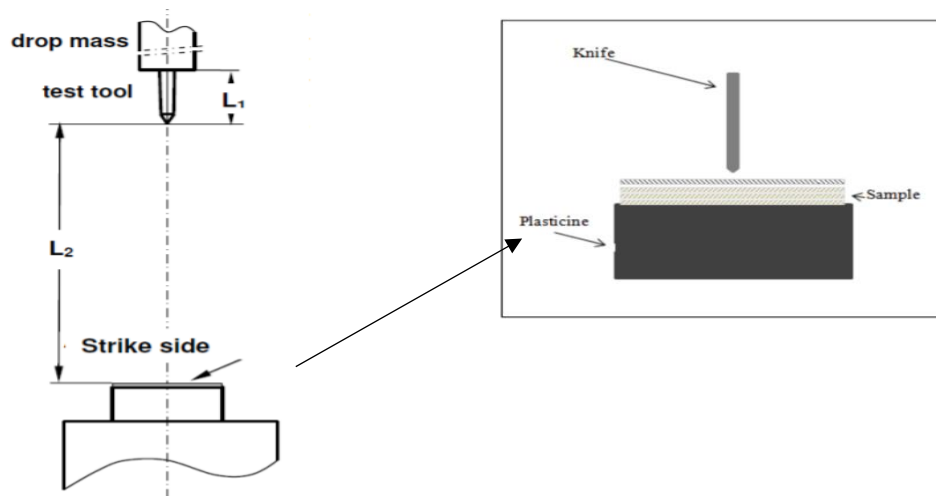
VPAM KDIW 2004

Tato norma popisuje požadavky, klasifikace a zkušební postupy pro ochranné prostředky odolné proti probodnutí, propíchnutí a nárazu tupými předměty. V Německu nebo v jiných německy mluvících zemích je široce používán pro zkoušku odolnosti tento zkušební standard [38].

- **Zkouška odolnosti proti bodnutí nožem – K**

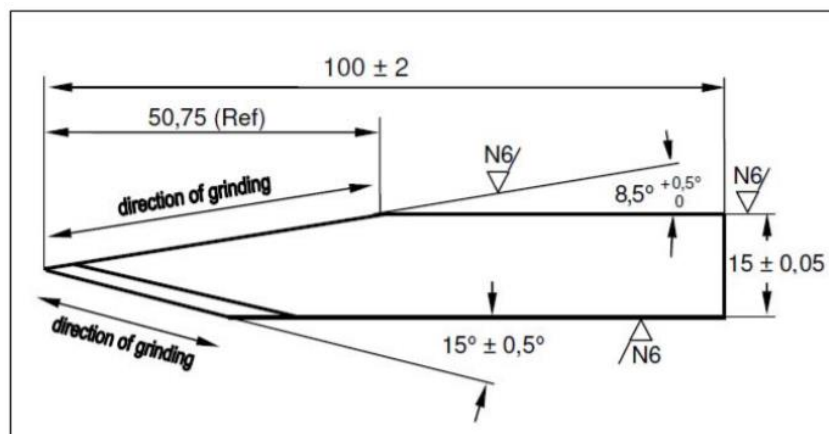
Zkoušky se provádí při teplotách $+20 \pm 2$ °C a relativní vlhkosti vzduchu 65 ± 5 %. Zkouška odolnosti probíhá na speciálním zařízení (viz obr. 22), kde je čepel definované ostrosti a velikosti spuštěna z definované výšky na testovací materiál, pod kterým je podkladový materiál (plastelína) o rozměrech 350 x 400 x 150 mm. Podkladový materiál slouží k měření hloubky penetrace čepel, která se měří pomocí pravítka. Rozměry čepel jsou uvedené na obrázku 23. Pádová hmotnost zbraně včetně speciálního uchycovacího zařízení je 2,5 kg. Aby se dosáhlo toho, že zbraň zasáhne materiál pod pravým úhlem (90°), je uchycovací zařízení zbraně vedeno po kolejnici. Při testování vzorků různé tloušťky se upravuje i výška pádu, přičemž musí být vždy splněna

potencionální energie 15 J pro maximální hloubku penetrace 10 mm a 25 J pro maximální hloubku penetrace 20 mm v nejnižší úrovni ochrany (viz tab. 8) [38].



Obrázek 22: Testovací zařízení pro testování odolnosti materiálu (testovací standard VPAM KDIW 2004).

Zdroj: [38]



Obrázek 23: Rozměry čepelky pro zkoušku odolnosti materiálu (testovací standard VPAM KDIW 2004). Zdroj: [38].

V tabulce 8 je zkouška odolnosti proti noži rozdělena do 4 kategorií podle stupně ochrany. K1 představuje nejnižší stupeň ochrany a K4 nejvyšší [38].

Tabulka 8: Klasifikace a zkušební podmínky pro nůž. Zdroj: [38].

| Třída | Bod nárazu | Energie nárazu [J] | Úhel dopadu [°] | Maximální průnik [mm] |
|-----------|------------|--------------------|-----------------|-----------------------|
| K1 | Povrch | 15 | 90 | 10 |
| | Překrytí | | | |
| | Šev | | 25 | |
| | Povrch | 25 | 90 | 20 |
| | Překrytí | | | |
| | Šev | | 25 | |
| K2 | Povrch | 25 | 90 | 10 |
| | Překrytí | | | |
| | Šev | | 25 | |
| | Povrch | 40 | 90 | 20 |
| | Překrytí | | | |
| | Šev | | 25 | |
| K3 | Povrch | 40 | 90 | 10 |
| | Překrytí | | | |
| | Šev | | 25 | |
| | Povrch | 65 | 90 | 20 |
| | Překrytí | | | |
| | Šev | | 25 | |
| K4 | Povrch | 65 | 90 | 10 |
| | Překrytí | | | |
| | Šev | | 25 | |
| | Povrch | 80 | 90 | 20 |
| | Překrytí | | | |
| | Šev | | 25 | |

- **Zkouška odolnosti proti probodnutí hrotem**

V tabulce 9 je zkouška odolnosti proti hrotu rozdělena do 4 kategorií podle stupně ochrany. D1 představuje nejnižší stupeň ochrany a D4 nejvyšší [38].

Tabulka 9: Klasifikace a zkušební podmínky pro hřebík. Zdroj [38].

| Třída | Bod nárazu | Energie nárazu [J] | Úhel dopadu [°] | Maximální průnik [mm] |
|--------------|-------------------|---------------------------|------------------------|------------------------------|
| D1 | Povrch | 15 | 90 | 10 |
| | Překrytí | | | |
| | Šev | | 25 | |
| | Povrch | 25 | 90 | 20 |
| | Překrytí | | | |
| | Šev | | 25 | |
| D2 | Povrch | 25 | 90 | 10 |
| | Překrytí | | | |
| | Šev | | 25 | |
| | Povrch | 40 | 90 | 20 |
| | Překrytí | | | |
| | Šev | | 25 | |
| D3 | Povrch | 40 | 90 | 10 |
| | Překrytí | | | |
| | Šev | | 25 | |
| | Povrch | 65 | 90 | 20 |
| | Překrytí | | | |
| | Šev | | 25 | |
| D4 | Povrch | 65 | 90 | 10 |
| | Překrytí | | | |
| | Šev | | 25 | |
| | Povrch | 80 | 90 | 20 |
| | Překrytí | | | |
| | Šev | | 25 | |

- **Zkouška odolnosti proti propíchnutí jehlou**

V tabulce 10 je zkouška odolnosti proti propíchnutí jehlou uvedena jediná úroveň ochrany [38].

Tabulka 10: Klasifikace a zkušební podmínky pro jehlu. Zdroj [38].

| Třída | Bod nárazu | Energie nárazu [J] | Úhel dopadu [°] | Maximální průnik [mm] |
|--------------|-------------------|---------------------------|------------------------|------------------------------|
| I 1 | Povrch | 2,5 | 90 | 0 |
| | Překrytí | | | |
| | Šev | | 60 | |

- **Zkouška odolnosti proti nárazu tupým předmětem**

V tabulce 11 je uvedena zkouška odolnosti proti nárazu tupým předmětem, která je rozdělena do 4 kategorií podle stupně ochrany. W1 představuje nejnižší stupeň a W4 nejvyšší ochrany [38].

Tabulka 11: Klasifikace a zkušební podmínky pro náraz. Zdroj: [38].

| Třída | Bod nárazu | Energie nárazu [J] | Úhel dopadu [°] | Maximální průnik [mm] |
|--------------|-------------------|---------------------------|------------------------|------------------------------|
| W 1 | Povrch | 15 | 90 | 10 |
| | Překrytí | | | |
| | Šev | | | |
| W2 | Povrch | 25 | 90 | 10 |
| | Překrytí | | | |
| | Šev | | | |
| W3 | Povrch | 40 | 90 | 10 |
| | Překrytí | | | |
| | Šev | | | |
| W4 | Povrch | 65 | 90 | 20 |
| | Překrytí | | | |
| | Šev | | | |
| W5 | Povrch | 100 | 90 | 20 |
| | Překrytí | | | |
| | Šev | | | |

ČSN 39 5360

Česká norma s názvem „Zkouška odolnosti ochranných prostředků“ určuje požadavky na prostředky balistické ochrany proti střelným zbraním (TBO), bodným zbraním (TON) a střepinám (V50). Dále je zde popsán průběh zkoušek a následné vyhodnocení [39].

- **Zkouška TON**

Zkouška odolnosti se provádí ve dvou režimech. Za běžných provozních podmínek i za ztížených provozních podmínek se zkouška provádí v prostředí o teplotě 21 °C (± 3 °C) a relativní vlhkosti vzduchu 40–80 % [39].

Zkušební zařízení se sestává ze zkušební bodné zbraně o celkové hmotnosti 2,6 kg (± 50 g) s dopadovou energií 35 J (± 1 J) s hrotem z nástrojové oceli ve tvaru polokoule, jehly, čepele a podkladového materiálu o rozměrech 350 x 400 x 100 mm, na kterém je upevněn vzorek testovacího materiálu o min. rozměrech 500x500 mm [39].

Vzorek je otestován třemi pády z výšky 2 m ($\pm 0,03$ m). Vpichy se provádějí tak, aby tvořily rovnostranný trojúhelník o stranách 60 mm (± 10 mm). Po každém vpichu se vyhodnocují tyto parametry:

- a) účinek hrotu na ochranném prostředku,
- b) hloubka vtisku v podkladové materiálu,
- c) hloubka proniknutí do podkladového materiálu při průniku [39].

Na základě vyhodnocení testu odolnosti je klasifikován stupeň ochrany, která je dána stanovením třídy odolnosti proti bodným zbraním – TON I-III [39].

Tabulka 12: Rozdělení zkoušky TON. Zdroj: [39].

| TON | Zkušební zbraň | Energie [J] |
|-----|----------------|----------------|
| I | polokoule | 35 (± 1) |
| II | jehla | |
| III | čepel | |

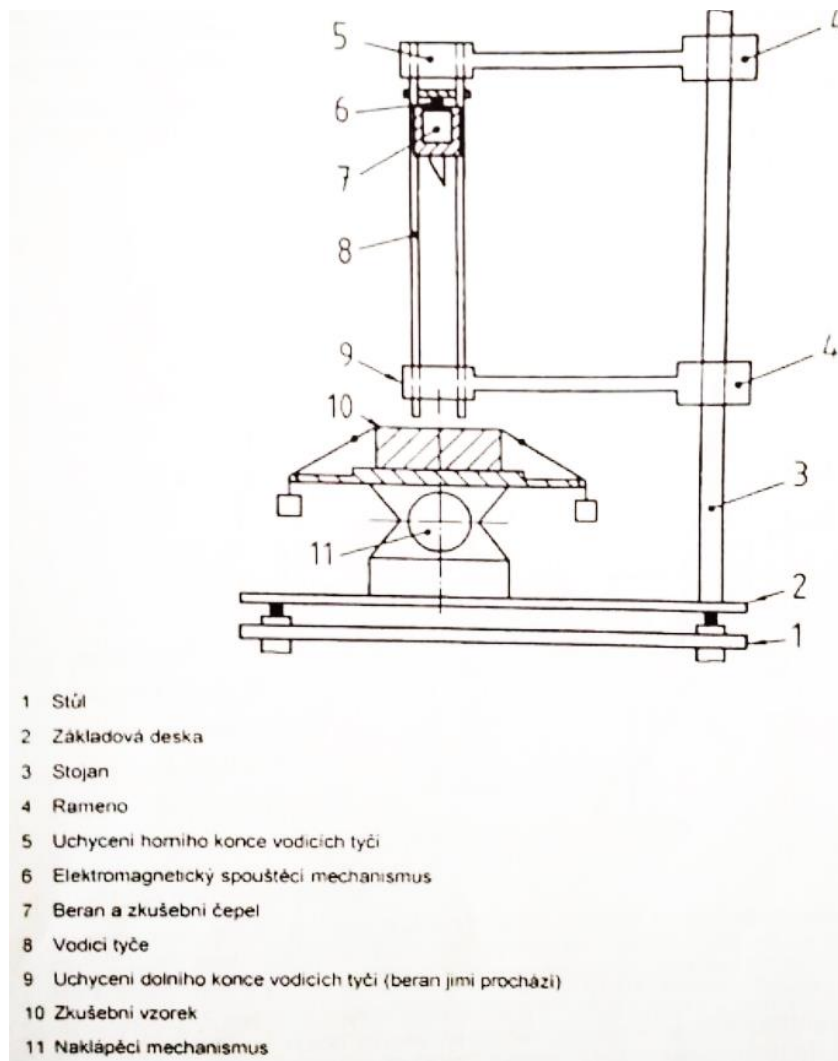
ČSN EN ISO 13998

Evropská norma „Ochranné oděvy – Zástěry, kalhoty a vesty, chránící proti říznutí a bodnutí“ stanovuje požadavky na konstrukci, odolnost proti průniku, odolnost proti řezu, rozměry, ergonomické charakteristiky a návod pro uživatele ochranných oděvů. Dále popisuje klasifikaci úrovně ochrany a příslušné metody zkoušení [40].

- **Zkouška odolnosti proti průniku**

Stupeň ochrany ochranných oděvů je klasifikována do 2 tříd a používá se pro stanovení náročnosti zkoušky, které má být oděvní součást podrobena. Zkouška odolnosti se provádí pomocí zkušebního zařízení (viz obr. 24). Ochranný materiál se zkouší opakovanými nárazy zkušebními čepeli, které jsou normou rozděleny do tří kategorií – velmi úzký nůž, úzký nůž a široký nůž. Jednotlivé typy nožů se liší šířkou špičky čepel, která je měřena ve vzdálenosti 20 mm od špičky čepel (viz tab. 13). Čepel nože je uchycena pomocí speciálního uchycovacího zařízení (tzv. „beran s čepelí“) a ve své počáteční poloze je držen elektromagnetem [40].

Beran se pohybuje ve svislé poloze prostřednictvím koleček nebo ložisek po dvou vodících tyčích. Výška berana se nastavuje tak, aby se rychlost špičky čepel v okamžiku nárazu na zkušební vzorek rovnala rychlosti hmoty padající volně ve vzduchoprázdnu z předepsané zkušební výšky v závislosti na dosažené předepsané energie (viz tab. 14). Zkušební vzorek ochranného materiálu je uchycen na podkladový materiál s vnitřními rozměry 300 x 300 x 100 mm, který je naplněn plastickou hmotou simulující lidské tělo. Zkušební vzorek nesmí být menší než 400 x 400 mm. Zkouška probíhá při teplotě vzduchu $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ a relativní vlhkosti vzduchu $(65 \pm 5) \%$ [40].



Obrázek 24: Testovací zařízení pro testování odolnosti materiálu (testovací standart ČSN EN ISO 13998).

Zdroj: [40].

Tabulka 13: Parametry nože podle druhu nože (testovací standart ČSN EN ISO 13998). Zdroj: [40].

| Druh nože | Šířka čepel ve vzdálenosti 20 mm od špičky [mm] |
|----------------|---|
| Velmi úzký nůž | <8 |
| Úzký nůž | 8-12,5 |
| Široký nůž | > 12,5 |

Tabulka 14: Třídy odolnosti (testovací standart ČSN EN ISO 13998). Zdroj: [40].

| Třída | Energie [J] | Max průnik [mm] |
|-------|-------------|-----------------|
| 1 | 2,4±0,1 | 10 (max 17) |
| 2 | 4,9±0,2 | 12 (max 15) |

Třída 1 určuje ochranné oděvy vhodné pro práci s nízkou úrovní rizika, kdy se například používají jen nože se širokou čepelí. Materiál při zkoušce odolnosti v této třídě musí při energii 2,45 J odolat průniku nože nárazem, přičemž průměrný průnik nesmí přesáhnout 10 mm a žádný jednotlivý průnik nesmí být vyšší než 17 mm [40].

Třída 2 určuje ochranné oděvy vhodné pro práci s vyšší úrovní rizika, kdy se při práci používají nože s úzkou čepelí. Materiál při zkoušce odolnosti v této třídě nesmí při energii 4,9 J přesáhnout 12 mm a žádný jednotlivý průnik nesmí být vyšší než 15 mm [40].

4.2 Analytická retrospektivní studie

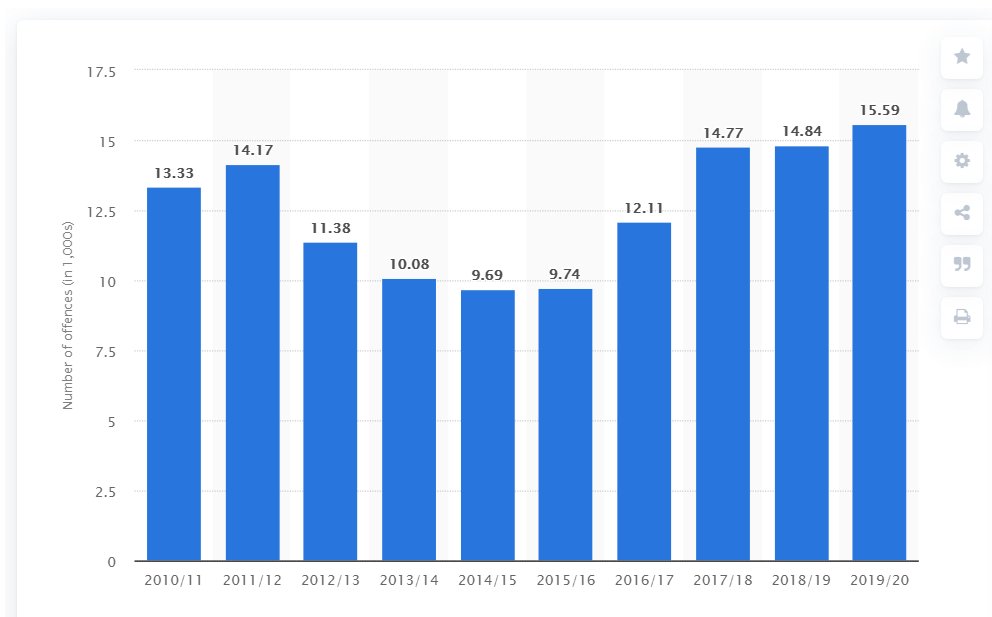
Tato metoda byla použita pro splnění jedné části dílčího cíle (tj. stanovit a fyzikálně ohodnotit nejčastější typy útoků a zbraní,). Tato metoda zjišťuje údaje z minulosti, přičemž je soustředěna na kauzální problematiku [35]. V případě této práce prostřednictvím této metody byly prošetřeny jednotlivé studie, odborné články zabývající se touto problematikou, načež spolu s polostrukturovaným rozhovorem byly vyhodnoceny závěry ohledně nejpravděpodobnějšího typu útoku a použité zbraně.

4.2.1 Analytická retrospektivní studie nejčastějších zbraní a typů útoků

Ke splnění dílčího cíle „stanovit nejčastější typy útoků a zbraně“ je provedena analytická retrospektivní studie článků a provedených studií.

Útoky bodnými zbraněmi se stávají celosvětovým problémem, neboť jejich četnost výrazně stoupá. To dokazují studie a články, které se zabývají touto problematikou.

Například statistika zabývající se tzv. „knife crime“ v Londýně v letech 2010-2020, kterou publikoval D. Clark poukazuje na to, že v letech 2019/20 počet trestných činů způsobených bodnými zbraněmi byl více než 15 000. Ve srovnání s rokem 2014/2015, kdy počet trestných činů byl nejnižší za sledované období, se počet trestných činů zvýšil o víc než 5000, viz obr. Ve zprávě není uvedeno rozlišení útoků dle typů útoků [41].



Obrázek 25: Statistika trestných činů způsobených bodnými zbraněmi v Londýně v letech 2010/2. Zdroj: [41]

Další studie poukazuje na útoky v Anglii a Walesu, kde je nůž či jiný ostrý předmět původcem cca 1/3 všech vražd. Studie se zabývala silami generovanými při bodném útoku a měla za cíl posoudit, zda běžně použité hodnotící škály při poskytování důkazů u soudu je vhodná nebo by se mělo přihlížet na vědeckější přístup, který by to dokázal kvantifikovat. Typy útoku ve studii nebyly rozlišeny [42].

V článku „Global rise of knife crime – why?“, jehož autorem je generální ředitel mezinárodní společnosti PPPS Group specializující se na design, výrobu a dodávky vest odolných proti bodnutí, poukazuje, že nárůst trestných činů způsobených bodnou zbraní neprobíhá jenom ve Spojeném Království, ale i po celém světě. Například v Číně, která není příliš zmiňována, se mezi lety 2014–2017 stalo několik incidentů, které si vyžádaly desítky (99) mrtvých a několik stovek (256) zraněných. V Německu během prvních 5 měsíců v roce 2017 bylo nahlášeno více než 1600 trestných činů souvisejících s noži jako útočnou zbraní. V Kanadě, Austrálii, Belgii, Francii, Izraeli také zaznamenali větší nárůst těchto kriminálních činů. V článku se také uvádí, proč jsou bodné zbraně při těchto trestných činech tak oblíbené. Ve většině zemí je držení střelné zbraně bez oprávněného průkazu nelegální a přístup k nim je značně omezen. Bodné zbraně, zejména nože, jsou běžně dostupné a přístup k nim je neomezený. Další výhodou nožů oproti střelným zbraním je, že se dají lépe skrýt, k jejich používání není zapotřebí speciální výcvik a téměř vždy se jimi podaří zasáhnout cíl. Nože se staly v posledních letech oblíbenou zbraní tzv. „osamělých vlků“. Například v Jeruzalému v Izraeli terorista zranil 7 policistů

bodným útokem. Ve Francii útočník nožem zranil 4 lidi a 1 zabil. V Číně bylo zabito 33 lidí a 130 dalších bylo zraněno, když skupina mužů koordinovala teroristický útok pomocí nožů na vlakovém nádraží v provincii Yunnan a mnoha dalších [41].

Případová studie „Violence-related knife injuries in a UK city; epidemiology and impact on secondary care resource“ měla za cíl určit spektrum poranění způsobených bodnou zbraní ve Velké Británii. V této studii je poukázáno na rostoucí počet trestných činů v souvislosti s chladnou zbraní. V Anglii a Walesu v roce 2019 bylo zaznamenáno 47 136 přestupků, zatím nejvíce od roku 1946. Přestože ostré předměty představují z 39–45 % vražednou zbraň, příčina nárustu tohoto druhu kriminality je nejasná. Jak už bylo zmíněno v jiných studiích, příčiny jsou multifaktoriální. Úmrtnost ve Spojeném Království v nemocnici na poranění nožem se pohybuje mezi 0,5-8 %, přičemž nejčastější příčina úmrtí je v důsledku bodného zranění do oblasti hrudníku (srdce). Pro komplexní popis charakteristik pacienta a úrazu byla data sbírána ze třech zdrojů po dobu tří let. Prvním zdrojem byla databáze TANR (Trauma Audit and Research Network) – národní infrastruktura zaznamenávající zranění související s chladnou zbraní. Tato databáze zahrnuje pacienty, kteří splňují tato kritéria:

- délka pobytu v nemocnici je větší než 72 h.,
- pacient byl přijat na intenzivní péči,
- hospitalizační úmrtnost [43].

Druhým zdrojem byl protokol MTP z nemocniční krevní banky, který obsahuje informace o masivní krevní transfuzi. Třetím zdrojem byly interní elektronické zdravotnické záznamy obsahující ve zprávě slovo nůž/ ostrý předmět. U těchto pacientů jsou popisy poranění kódovány centrálně pomocí „Abbreviated Injury Score“, což umožňuje kvantifikovat závažnost poranění (ISS).

Charakteristiky pacientů a zranění byly rozděleny do těchto kategorií: věk, pohlaví, intoxikace alkoholem nebo drogou, zda osoba je/byla obětí domácího násilí, drogová závislost, Charlson Co-morbidity Index, psychiatrická historie, psychiatrická diagnóza, zbraň a místo poranění. Popis zbraně byl kategorizován tak, aby byl v souladu se zákony podle anglického práva:

- skládací čepel o délce 3 palce nebo méně, které je legální vlastnit (<7,6cm),
- nůž pro domácnost,

- nůž (jiný / blíže neurčený),
- mačeta [43].

Výsledky studie byly následující. Celkem 532 pacientů bylo přijato do nemocnice po zranění způsobené chladnou zbraní. Během sledovaného tříletého období byl pozorován nárůst roční incidence, který připadá zejména na osoby ve věku 16–25 let. Výskyt poranění nožem u žen se během sledovaného období nezvýšil. V domácím prostředí bylo zraněno 16,4 % mužů, 64,9 % žen a 16,2 % těhotných žen. Popis zbraní byl dokumentován v záznamech pacientů v 63,7 %, přičemž nejčastější zbraní byl nůž (38 %). Druhou nejčastější zbraní byla mačeta (13,9 %). Úmrtnost pacientů v důsledku poranění nožem byla 1,9 % (10/532), přičemž všichni byli muži. 5 mužů zemřelo (50 %) na poranění hrudníku, 3 zemřeli v důsledku krvácení do břišní dutiny a 2 zemřeli v důsledku vykrvácení z krční tepny. U 7 případů nebyla známa zbraň. Ve 22 % případů byli pacienti poranění na končetinách. Poranění ve více oblastech měli 4 pacienti z 10 (42 %). Poranění v oblastech hlavy a krku utrpělo 41 pacientů (8 %). Poranění hrudníku utrpělo 98 pacientů (18 %) a poranění břicha 57 pacientů (11 %) [43].

V závěrečné zprávě, kterou zpracovali J. Cavanaugh a spol., se uvádí, že nejčastější improvizované zbraně jsou obvykle vyrobené ze dřeva, plastu nebo měkkého kovu a mají délku čepele 4–6 palců (10,16 – 15,24 cm). Autoři vycházejí z údajů poskytnutých Ministerstvem spravedlnosti Spojených států amerických [44].

V článku „Self-defence against knife attacks: evidence-based approach“ od Patrice Bonnafoux, (instruktor sebeobrany – krav maga) popisuje podle videozáznamů pořízených z bezpečnostních kamer nejčastější útoky chladnou zbraní. Data byla shromážděna z více než 150 incidentů s chladnou zbraní zachycených na videozáznamech bezpečnostních kamer či mobilních telefonech. Z jeho zjištění vyplývá že ze 150 incidentů je 71,1 % útoků vedeno „prázdnou rukou“. Útočník použije duhou ruku, ve které nedrží nůž, k iniciačnímu úderu, nebo častěji pak k uchopení oběti, přičemž jsou útoky bodnou zbraní vedeny nejčastěji do oblasti hrudníku či krku. Tyto typy útoků jsou nepředvídatelné a z pohledu sebeobrany se jim dá těžko zabránit, neboť první reakce oběti bude podmíněna pohybem „prázdné“ ruky. Ve většině případech se jedná o rychlé, krátké, opakované bodnutí, přičemž v prvních okamžicích jsou bodnutí směřována do jedné oblasti. Při pokusu o útěk oběti jsou bodnutí následně rozmístěna po těle. Co se týče držení zbraně, tak z 58,8 % se jednalo o klasický úchop.

Byly zaznamenány i incidenty, kdy se během útoku měnilo uchopení zbraně. V žádném incidentu nebyla zaznamenána výměna ruky [41].

V publikaci „Protection against knives and other weapons“ se udává, že nejvíce zranění způsobených nožem je v oblasti hrudníku a břicha (střední pásmo). Hlava, oblast obličeje a paže jsou následující nejčastěji zasažené oblasti. Nejméně zasaženými oblastmi jsou nohy, krk a oblast ramen [45].

V publikaci „Stab resistant body armour“ od Horsfalla je rozebrána problematika hrozeb, jež rozebírá nejčastější zranění způsobená noži. Publikace poukazuje na několik studií zabývajících se touto problematikou, načež výsledky ze studií se víceméně shodují. Podle Rouse, který zkoumal bodná zranění podle umístění, zjistil, že z celkem 69 jednotlivých ran bylo 50 v oblasti hrudi, 12 na hlavě a 7 v oblasti břicha a dolních končetin. Murray a Green uvedli, že z 27 smrtelných ran 18 bylo v oblasti hrudi. Další studie, kterou provedl Fligelstone, poukazuje, že z 92 smrtelných ran, bylo 37 v oblasti břicha a 29 v oblasti hrudi. Ze studií tedy vyplývá, že nejvíce zasaženou oblastí na těle je hrudník, proto by měla mít tato oblast nejvyšší prioritu ochrany při konstruování ochranné vesty [33].

Dále byla navštívena nejmenovaná věznice, kde proběhl průzkum IBZ. Celkem bylo shromážděno 22 zbraní. Zbraně byly rozděleny do 8 skupin podle předmětu či vyrobeného materiálu. Následně byly změřeny jednotlivé parametry jako hmotnost, délku, šířku a tloušťku zbraně (viz tab. 15).

Tabulka 15: Parametry improvizovaných bodných zbraní, Zdroj: autor.

| Předmět/ materiál | Typ zbraně (viz příloha) | Hmotnost zbraně [kg] | Délka zbraně [cm] | Délka těla zbraně / čepele [cm] | Délka rukojeti [cm] | Tvar těla zbraně / čepele |
|---|-------------------------------------|----------------------|-------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------------|
| 1. Kovové části konstrukcí vybavení (lůžka atp.) | dlouhý nůž (6) | 0,599 | 53,2 | 38,5 | 14,7 | ploché |
| | krátký nůž (7) | 0,404 | 40,8 | 22,2 | 18,6 | ploché |
| 2. Příborové upravené nože | příborový nůž (1) | 0,049 | 23,5 | 12,2 | 11,3 | ploché |
| 3. Části silných drátů | ocelová tyč (2) | 0,07 | 28 | 17 | 11 | kruhový |
| | ocelový drát s ohnutou rukojetí (3) | 0,054 | 18,8 | 13 | - | kruhový |
| 4. Hroty z nářadí pro údržbu (šroubováky atp.) | šroubovák (13) | 0,31 | 18,6 | 8 | 10,6 | kruhový |
| 5. Nože a dýky vyrobené z polotovarů | nůž se zoubkovanou čepelí (5) | 0,062 | 27 | 15,5 | 11,5 | ploché |
| | motýl dýka? (8) | 0,32 | 29,5 | 13,7 | 15,8 | ploché |
| | tlačná dýka | 0,085 | 16 | 11,4 | 3,5 | ploché |
| | nůž se zakřivenou rukojetí (10) | 0,168 | 27 | 18 | 9 | ploché |
| | - | 0,235 | - | - | - | - |
| | - | 0,404 | - | - | - | - |
| | - | 0,219 | - | - | - | - |
| | - | 0,244 | - | - | - | - |
| | - | 0,331 | - | - | - | - |
| | - | 0,326 | - | - | - | - |
| | - | 0,209 | - | - | - | - |
| - | 0,32 | - | - | - | - | |

| Předmět/ materiál | Typ zbraně (viz příloha) | Hmotnost zbraně [kg] | Délka zbraně [cm] | Délka těla zbraně / čepele [cm] | Délka rukojeti [cm] | Tvar těla zbraně / čepele |
|---|---------------------------------|-----------------------------|--------------------------|--|----------------------------|----------------------------------|
| 6. Hroty z výrobních nástrojů (pilníky atp.) | dílenský pilník (11) | 0,464 | 37,2 | 7 | 30,2 | čtvercový |
| | úzký nůž (12) | 0,014 | 18,5 | 9,5 | 9 | ploché |
| 7. Upravené části kleští | kombinované kleště (4) | 0,153 | 19 | 6,3 | 10,5 | |
| 8. Upravené části nůžek | krejčovské nůžky (14) | 0,14 | 26 | 11,3 | 11 | ploché |
| MEDIAN | - | 0,227 | 26,5 | 12,6 | 11 | ploché |

4.3 Polostrukturovaný rozhovor

Metoda rozhovoru představuje zprostředkovaný a vysoce interaktivní proces získávání dat. V práci byla použita neformální forma polostrukturovaného rozhovoru, kdy respondent má předem připravený seznam otázek, načež způsob a forma odpovědi na tyto otázky zůstává volitelná. Tato forma rozhovoru se pokládá ze nejvhodnější. Odpovědi respondenta během rozhovoru mohou být zaznamenány samotným dotazujícím obyčejně, stenograficky nebo za pomoci technického prostředku. K vzhledem malému počtu otázek a následující druhé metodě – biomechanické měření, kterou proband musel ještě absolvovat, byla zvolena forma záznamu na papír [46].

Polostrukturované rozhovory sloužily ke splnění jedné části dílčího cíle práce v oblasti vnímání nejčastějších typů útoku bodnou zbraní samotnými příslušníky bezpečnostních sborů a ozbrojených sil. Rozhovory byla získaná data, která následně, pro lepší přehlednost, byla zpracována v tabulkovém procesoru Microsoft Excel a znázorněna v tabulce (viz obr. 59).

4.3.1 Polostrukturovaný rozhovor s příslušníky BS a OS

Rozhovory probíhaly před samotným měřením probandů, načež následující metodou biomechanického měření byly naměřeny nejčastější typy útoků.

Účelem rozhovoru bylo zjistit, jaké jsou podle příslušníků bezpečnostních sborů (dále jen „BS“) a ozbrojených sil (dále jen „OS“) nejčastější typy útoků a zda korespondují s poznatky získanými prostřednictvím analytické retrospektivní studie. Rozhovor tvořily 4 primární otázky (viz níže), které byly formulovány tak, aby reflektovaly názory dotázaných.

1. *Jaké jsou podle Vás nejčastější útoky bodnou zbraní?*
2. *Jsou někde tyto útoky klasifikovány? Mají odborný název?*
3. *Jaké jsou podle Vás nejpravděpodobnější útoky bodnou zbraní z pohledu neprofesionálního útočníka?*
4. *Jaká je podle vás nejzranitelnější oblast?*

Bylo provedeno celkem 6 rozhovorů.

4.4 Biomechanické měření a analýza pohybu

Za účelem verifikace hypotézy H4 (Předpokládá se, že současné ochranné vesty proti bodným zbraním jsou odolné vůči nejčastějším typům útoku bodnou zbraní) byla využita metoda biomechanického měření a analýzy záznamu pohybu, konkrétně kinematická analýza. Kinematická analýza zkoumá pohyb z fyzikálního pohledu a zahrnuje několik dílčích metod jako akcelerometrie, goniometrie či kinematografickou metodu. V práci byla použita kinematografická metoda, která slouží k vyhodnocení filmového záznamu, prostřednictvím kinematografických systémů, jako je například Vicon Nexus nebo Visual3D Professional. Systémy jsou vybaveny příslušným softwarem pro zpracování a vyhodnocení pohybové aktivity na videozáznamu. Mimo jiné také nabízí konstrukci modelu pohybujícího se člověka a následnou práci s modelem. Výstupem jsou kinogramy doplněné o číselné údaje, případně grafy zobrazující sledované parametry v čase [47].

Kinematografická analýza byla použita k analýze pohybu během útoku bodnou zbraní a získání dat o kinetické energii úderu. Měření pohybu během útoku bylo provedeno prostřednictvím programu Vicon Nexus 2.70. V programu Visual3D v5 Professional byly následně získaná data pro vyhodnocení fyzikálních charakteristik vyskytující se během útoku (rychlost, energie, pohyb těžiště atd.) K zjištění konečných výsledků ze záznamu pohybu byl použit program pro vědeckotechnické výpočty Matlab.

4.4.1 Určení charakteristik bodných útoků biomechanickým měřením

Biomechanické měření v programu Vicon Nexus

Měření bylo provedeno v systému MoCap – Vicon Nexus 2.70. Tento systém umožňuje zachytit pohyb prostřednictvím kamer a reprodukovat jej do digitálního prostředí, kde je následně analyzován.

- **Účel měření**

Účelem měření bylo stanovit pomocí zařízení pro 3D kinematickou analýzu pohybu kinetickou energii úderu při útoku nožem.

Měření bylo provedeno za účelem stanovení kritéria určujícího volbu ochranných vest proti bodným zbraním.

- **Předmět měření**

Probandi byli vybráni z řad příslušníků bezpečnostních sborů a ozbrojených sil.

Tabulka 16: Seznam probandů

| Proband | Výška [cm] | Hmotnost [kg] | Dominantní ruka |
|---------------------------------|------------|---------------|-----------------|
| Strážník městské policie Praha | 182 | 93 | pravá |
| Strážník městské policie Praha | 172 | 96 | pravá |
| Příslušník vězeňské služby | 187 | 97 | pravá |
| Příslušník PČR | 190 | 98 | pravá |
| Instruktor AČR pro boje zblízka | 178 | 89 | pravá |
| Instruktor AČR pro boje zblízka | 178 | 75 | levá |

Měření absolvovali 4 příslušníci z BS a 2 příslušníci OS.

- **Způsob měření**

Požadované vybavení k měření:

- místo pro měření – laboratoř na Fakultě FBMI, ČVUT, na Kladně,
- počítačová jednotka s programem Vicon Nexus,
- 7x kamera typu Bonita 10,
- min 38x reflektivní markery o rozměrech 9 mm,
- 2x maketa nože (gumový, dřevěný).

- **Popis měřicího místa**

Měření probíhalo v přizpůsobené laboratoři Fakulty biomedicínského inženýrství ČVUT v Kladně. Laboratoř je vybavena 7 kamerami typu Bonita 10, které snímají prostor o rozměrech 6,5 m x 3,5 m x 2,9 m, a počítačovou jednotkou s programem Vicon Nexus 2.70. Program zpracovává záznam pořízený z kamer, na jehož základě vypočítá základní kinematické parametry.

- **Popis systému pro měření pohybu**

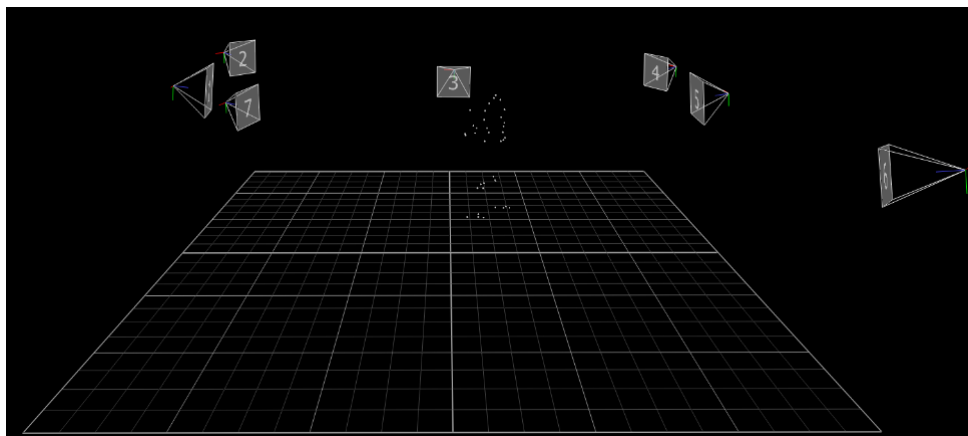
Optické systémy MoCap (Motion captur) pro analýzu pohybu se skládají z hardwarového a softwarového vybavení. Součástí hardwarového vybavení jsou vysokorychlostní kamery s infračervenými zářiči, kalibrační vybavení, ovládací

panel pro kamerový systém, počítačové jednotky a markery různých rozměrů. Do softwarového vybavení patří program Vicon Nexus, který snímá data [48].

- **Kamery**

Kamery zachycují obraz přes infračervený filtr. Každá kamera má kolem své čočky umístěné stroboskopické infračervené LED diody emitující IR záření, které se odráží od reflektivních markerů zpět do čoček kamery, kde se následně převádí na videosignál. Dráha jednotlivých markerů je následně uložena na paměťové médium. Snímání pohybu má přesnost na setiny milimetru a pokud nedojde k posunutí snímače, hodnota pozice se považuje za konečnou. V počítačové jednotce pomocí programu Vicon Nexus 2.70 je možné z analyzovaných bodů vytvářet modely ve 3D a vypočítat základní kinematické parametry (trajektorie, úhel, rychlost, zrychlení atd) [49].

Princip snímání pohybu spočívá ve vhodném rozmístění kamer, které snímají scénu z několika pohledů. Aby bylo možné snímat ve 3D, musí marker snímat alespoň 2 kamery, přičemž úhel mezi optickými osami jednotlivých kamer by měl být 90° . Toho se nejlépe docílí, pokud jsou kamery rozmístěny do kruhu či do elipsoidního tvaru. Rozmístění však záleží na velikosti laboratoři. Na obrázku 34 můžeme vidět rozmístění kamer v laboratoři na fakultě FBMI z pohledu programu Vicon Nexus 2.70.



Obrázek 26: Rozmístění kamer z pohledu Vicon Nexus 2.70 v laboratoři FBMI. Zdroj: autor

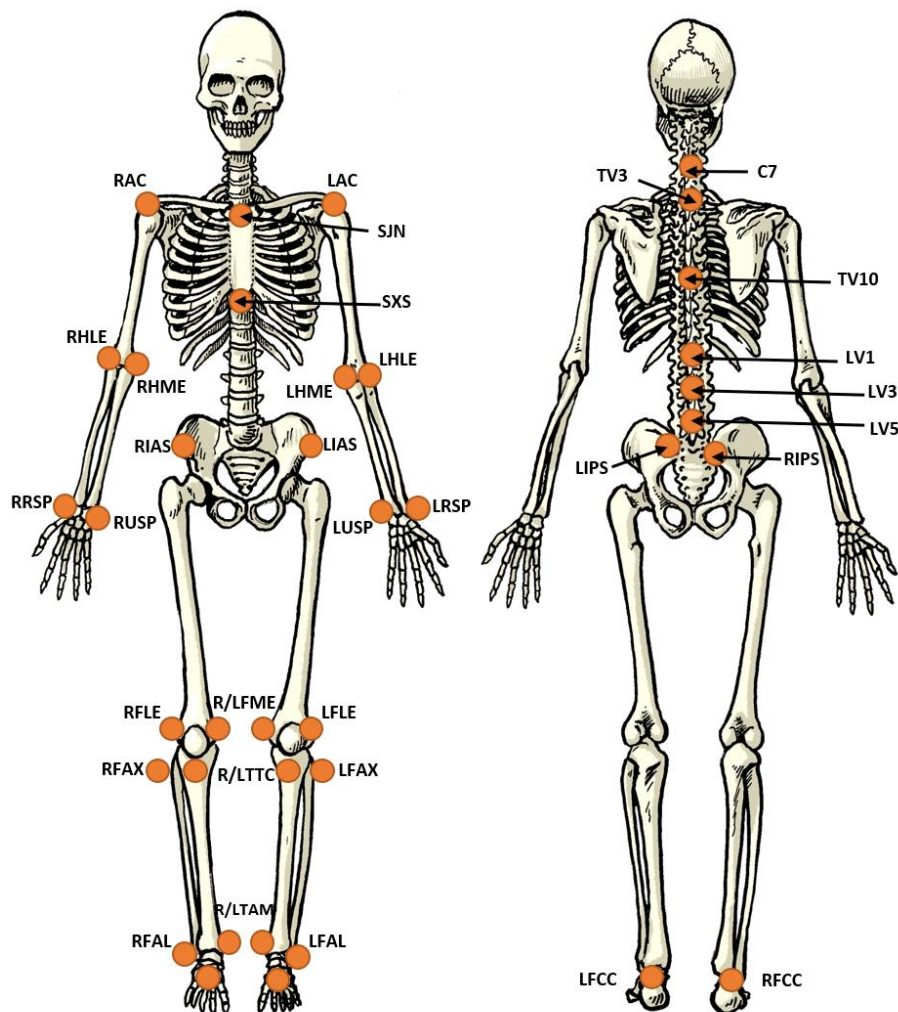
Kalibrace kamer se provádí před každou sérií měření z důvodu správného vyhodnocení pozic kamer a rozměru snímaného prostoru. Po nastavení kalibračního módu v programu Vicon Nexus 2.70 se měřený prostor kalibruje za pomoci kalibrační hůlky, na níž jsou rozmístěny reflektivní markery v přesných vzdálenostech. Prostor se kalibruje do té doby, dokud není celé pole měřicího prostoru definováno. Na závěr se

kalibrační hůlka umístí do středu prostoru na podlahu, aby se nastavil počáteční bod souřadnicového systému, v němž bude pohyb snímán.

- **Reflektivní markery**

Reflektivní markery se umísťují nejlépe na holou, suchou kůži bez ochlupení na předem definované anatomické body. Na základě umístění markerů na lidském těle lze definovat vybrané segmenty těla. V práci byl použit model IOR Gait Full-Body Model (viz obrázek 35). Na probanda bylo umístěno celkem 38 markerů o velikosti 9 mm.

Pro umístění reflektivních markerů na probanda byly použity oboustranně lepící páska, která se nastříhala podle velikosti markeru. V případě náročnějších pohybových úkonů nebo pocení probanda začne může dojít k odpadnutí markerů. Pokud se tak stane během měření, proband pokračuje dál. Po skončení série měření se na probanda marker opět umístí.

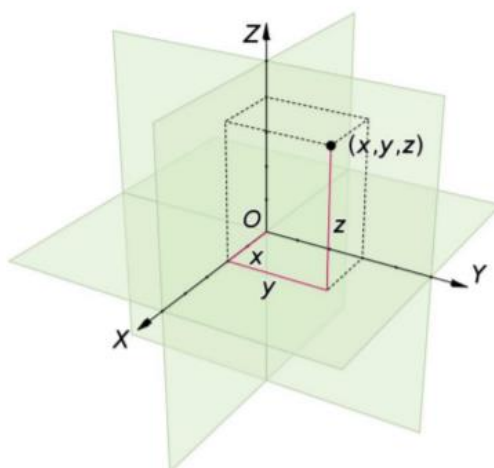


Obrázek 27: Rozmístění reflektivních markeru podle modelu IOR Gait Full-Body Mode. Zdroj: [50], autor

- **Metoda zpracování dat**

Aby byl zachycen záznam ve 3D zobrazení, musí být markerem snímán alespoň 2 kamerami. Pohybová data markerů se ukládají jako soustavy prostorových souřadnic v čase, které následně lze modelovat do 3D zobrazení [48].

System Vicon Nexus 2.70 poskytuje data z pohybu ve formě kartézské souřadnice, u které jsou souřadné osy vzájemně kolmé přímky protínající se v jednom bodě (viz obr. 28) [51].



Obrázek 28: Ukázka bodu o souřadnici (x,y,z) v kartézské soustavě souřadnic. Zdroj: [51]

- **Realizace měření**

Z každých probandů absolvoval celkem 3 měření, kdy provedli nejčastější útoky po 5 opakování. V tabulce 17 je uveden přehled provedených typů útoků.

Tabulka 17: Nejčastější typy útoků

| Typ útoku | Uchopení zbraně | Cíl útoku |
|----------------------------------|-----------------|---------------|
| přímý vpich | standardní | břicho, trup |
| vpich zespona nahoru (rozpárání) | standardní | břicho, pánev |
| vpich shora dolu reverzní úchop | reverzní | hlava, krk |

- **Protokol z měření**

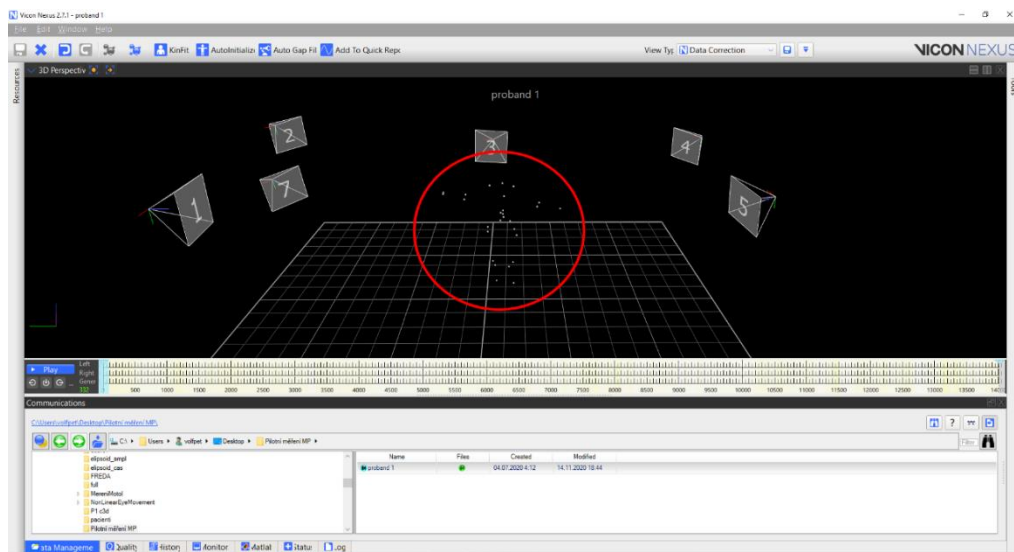
- 1) Spuštění systému Vicon Nexus 2.70 v počítačové jednotce.
- 2) Provedení kalibrace kamer kalibrační hůlkou.
- 3) Zkontrolování funkčnosti programu.
- 4) Nastříhání a nalepení oboustranné lepicí pásky na reflektivní markery, které se později budou umísťovat na probanda.
- 5) Proband je podrobně seznámen s experimentem, jeho průběhem, přínosy a případnými riziky.
- 6) Na holou kůži probanda je následně umístěno 38 reflektivních markerů o velikosti 9 mm podle předem definovaných anatomických bodů podle modelu IOR Gait Full-Body Model.
- 7) Umístění 4 reflektivních markerů na maketu nože.
- 8) Následně se určí nejčastější typy útoků bodnými zbraněmi, které budou nahrávány.
- 9) Zapnutí nahrávání videozáznamu v programu Vicon Nexus 2.70.
- 10) Při měření útoků do prostoru proband předvedl postupně 3 typů útoků po 5 opakováních. Pokud během měření odpadly některé markery, měření se nepřerušovalo a pokračovalo se dál. Odpadnuté markery byly znovu umístěny po sérii měření.
- 11) Po každém provedení série jednotlivého typu útoku se videozáznam ukončí a uloží pod konkrétním názvem. Celkem je nahráno a uloženo 18 záznamů.
- 12) Proband si následně za asistence sundá reflektivní markery.
- 13) Naměřená data jsou ještě jednou zkontrolována.

- **Vytvoření modelu**

V programu Vicon Nexus 2.70 byla provedena statická kalibrace modelu a přiřazení bodů k příslušným tělesným segmentům. Následně jsou jednotlivé body pojmenovány podle modelu IOR Gait Full-Body Model.

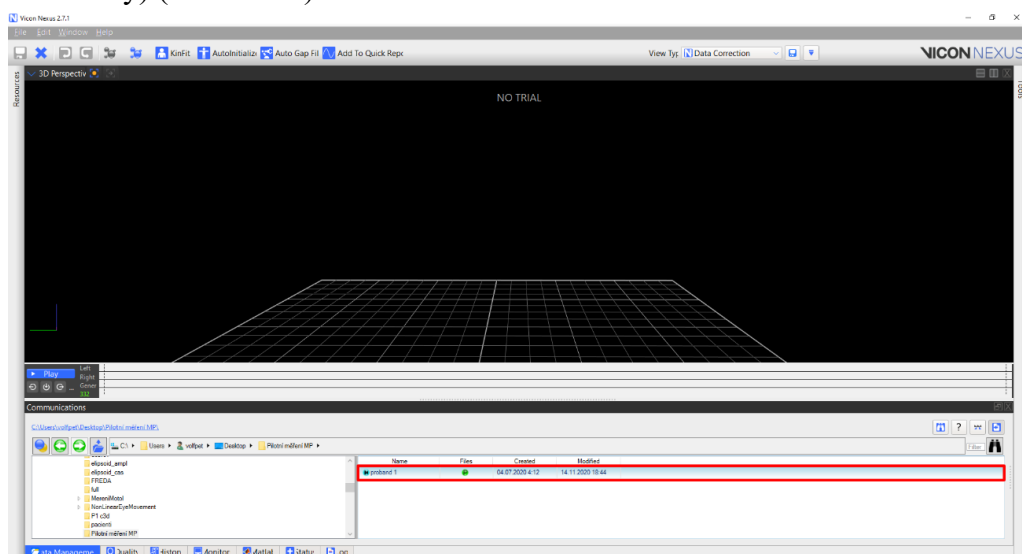
- **Postup vytvoření modelu**

- 1) V programu Vicon Nexus 2.70 se načtou naměřená data z měření. V liště „communications“ se otevře složka, ve které jsou uložena naměřená data a následně se klikne na soubor s daty (viz obr. 29).



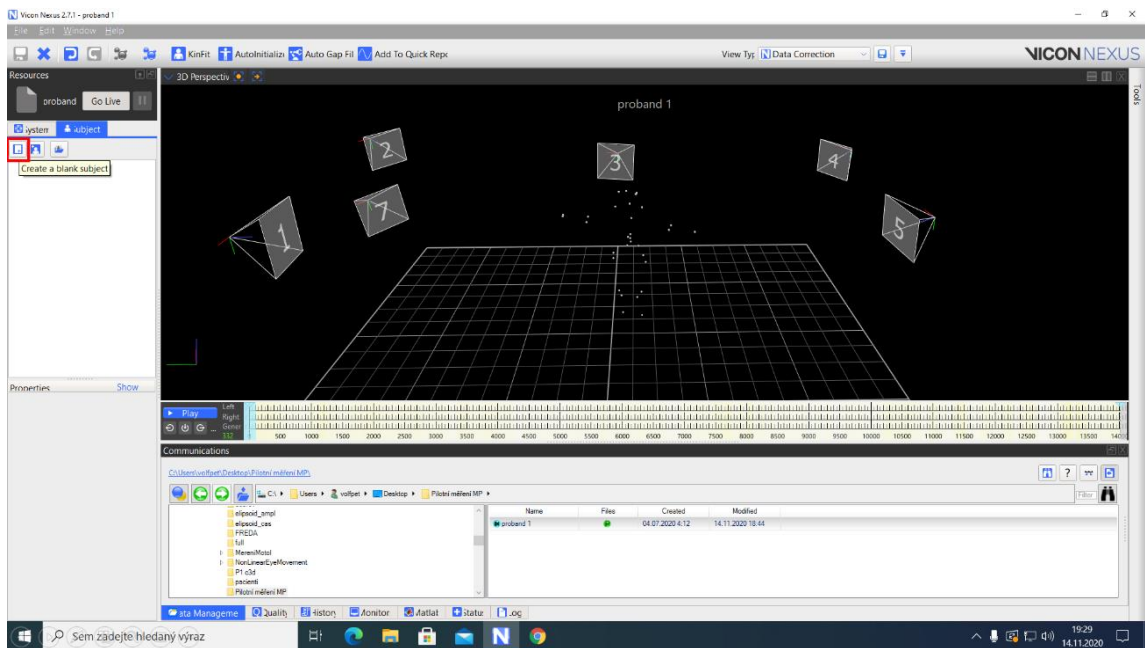
Obrázek 29: Načtení naměřených dat v programu Vicon Nexus 2.70. Zdroj: autor.

- 2) Po načtení dat se objeví model postavy, kterou tvoří šedé body (reflektivní markery) (viz obr. 30).



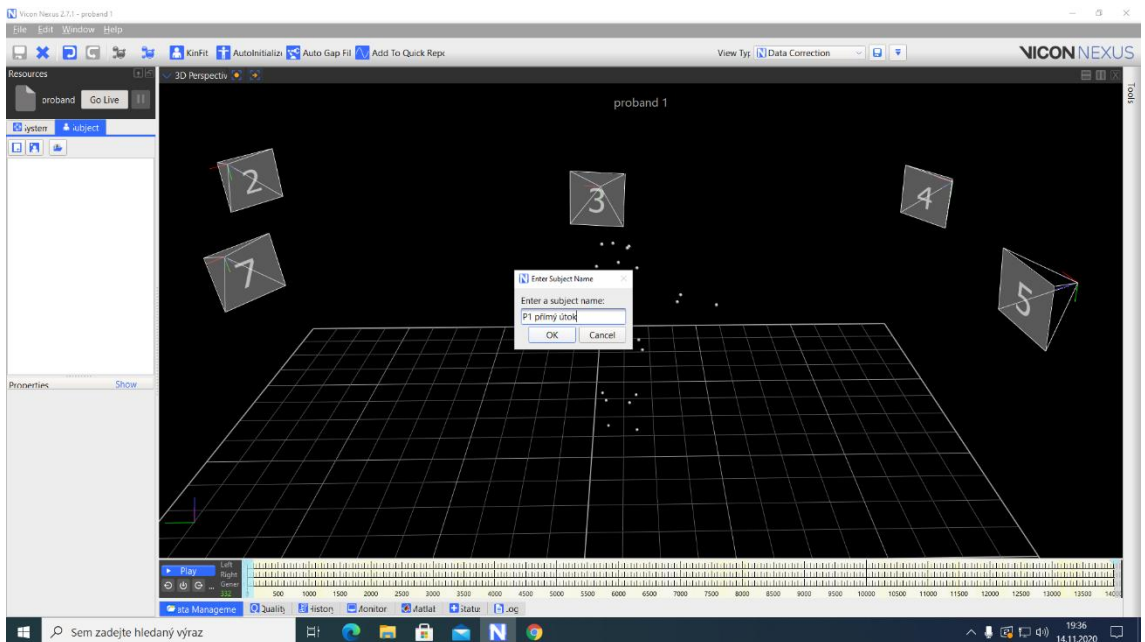
Obrázek 30: Načtená naměřená data v programu Vicon Nexus 2.70. Zdroj: autor.

- 3) Založení subjekt. Vlevo se klikne na kolonku „subject“ a následně na první kolonku „create a blank subject“ (viz obr. 31).



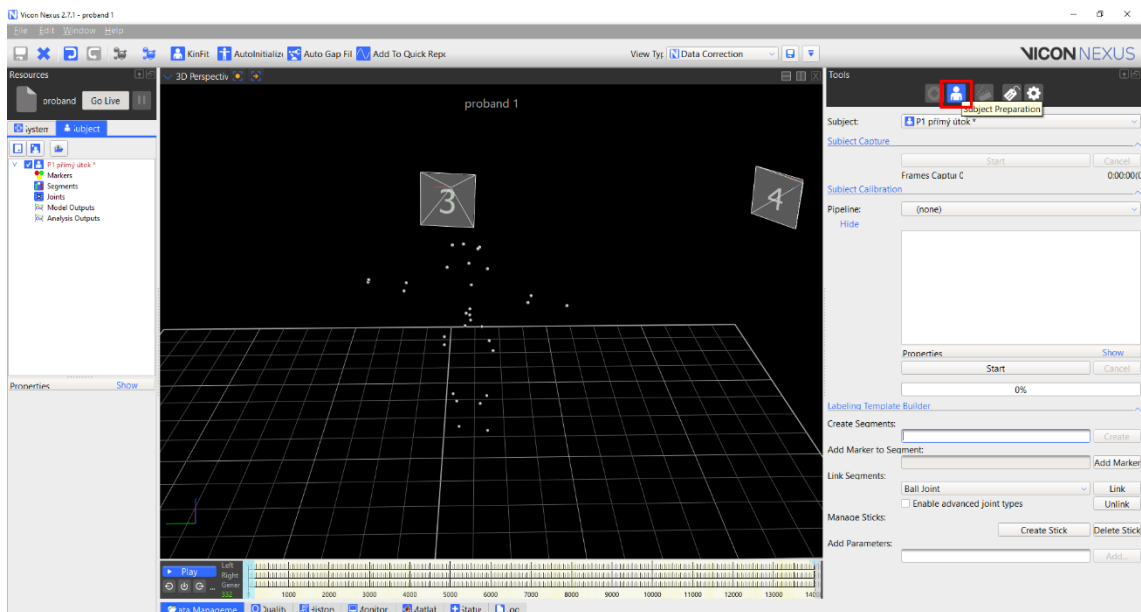
Obrázek 31: Založení subjektu Zdroj: autor

- 4) Pojmenuje se vytvořený subjekt (viz obr. 32).



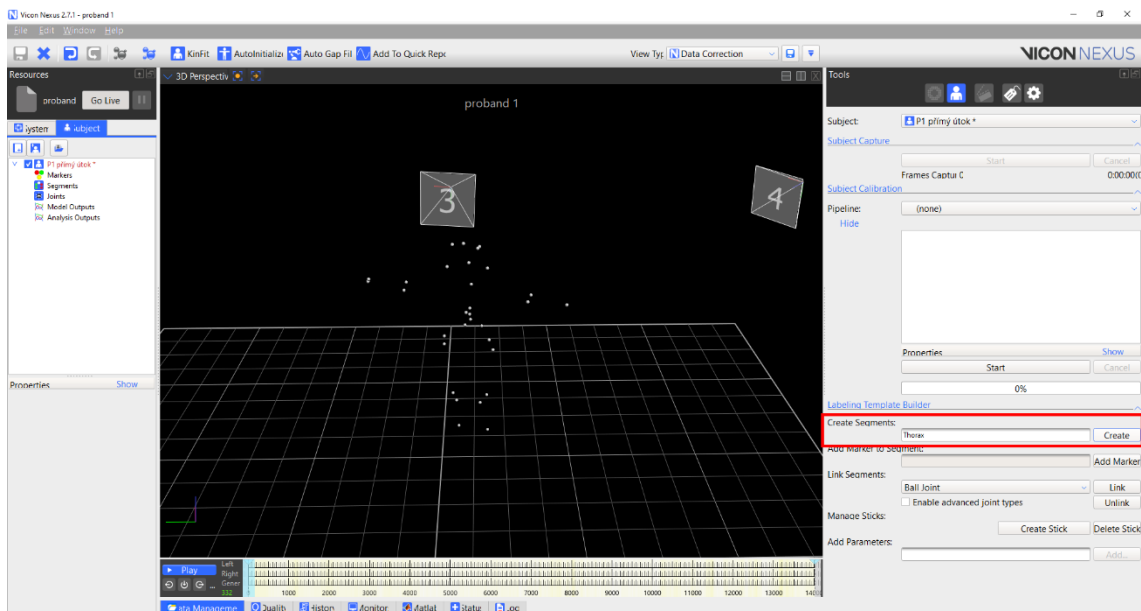
Obrázek 32: Pojmenování subjektu. Zdroj: autor.

- 5) Po založení subjektu lze začít vytvářet vlastní model podle modelu IOR Gait Full-Body Model. V nástrojích nacházející se vpravo pod lištou „tools“ se klikne na druhou kolonku „subject preparation“ (viz obr. 33).



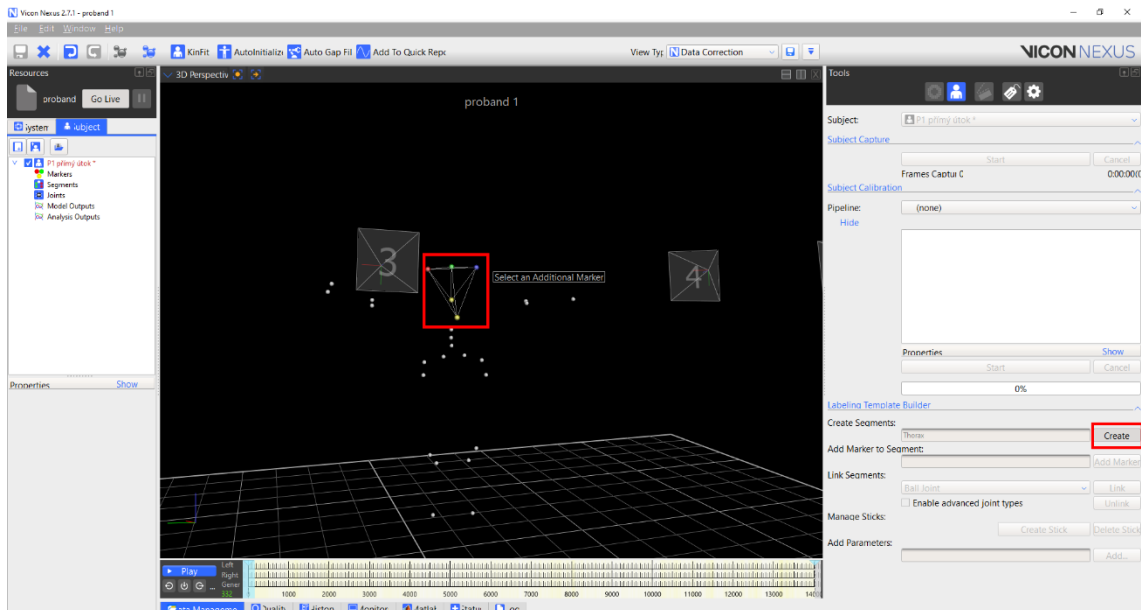
Obrázek 33: Příprava subjektu. Zdroj: autor.

- 6) Následně v kolonce „create segments“ se zadá název vytvářeného segmentu a klikne se na „create“, (viz obr. 34).



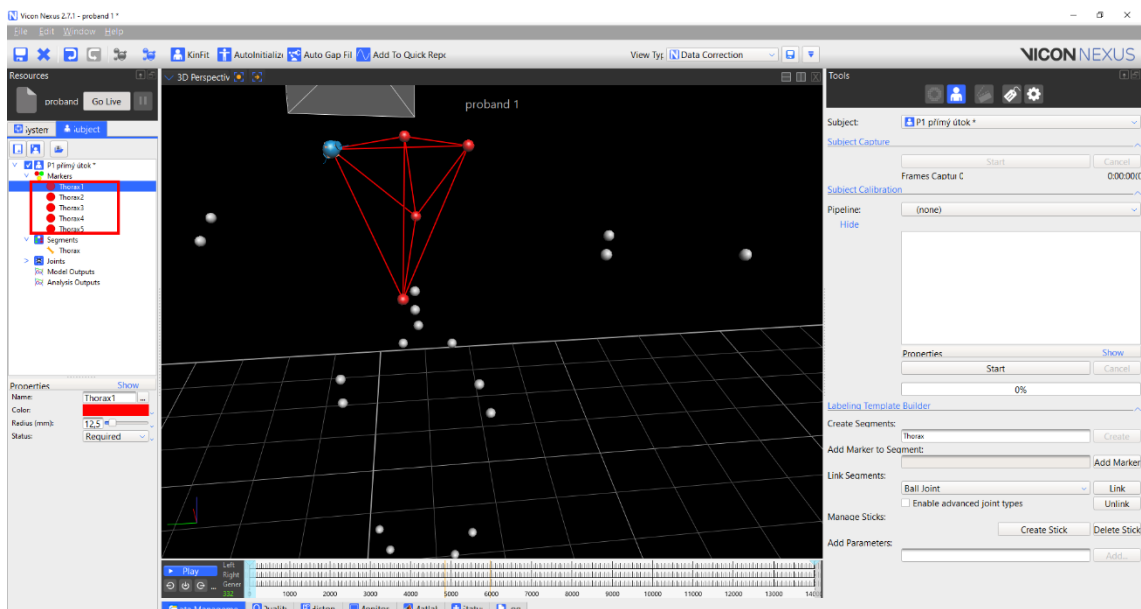
Obrázek 34: Vytváření segmentu. Zdroj: autor.

- 7) Následně se vyberou příslušné body (markery) pro segment hrudníku podle modelu IOR Gait Full-Body Model. Po vybrání příslušných bodů (markerů) se opět klikne na kolonku „create“ (viz obr. 35).



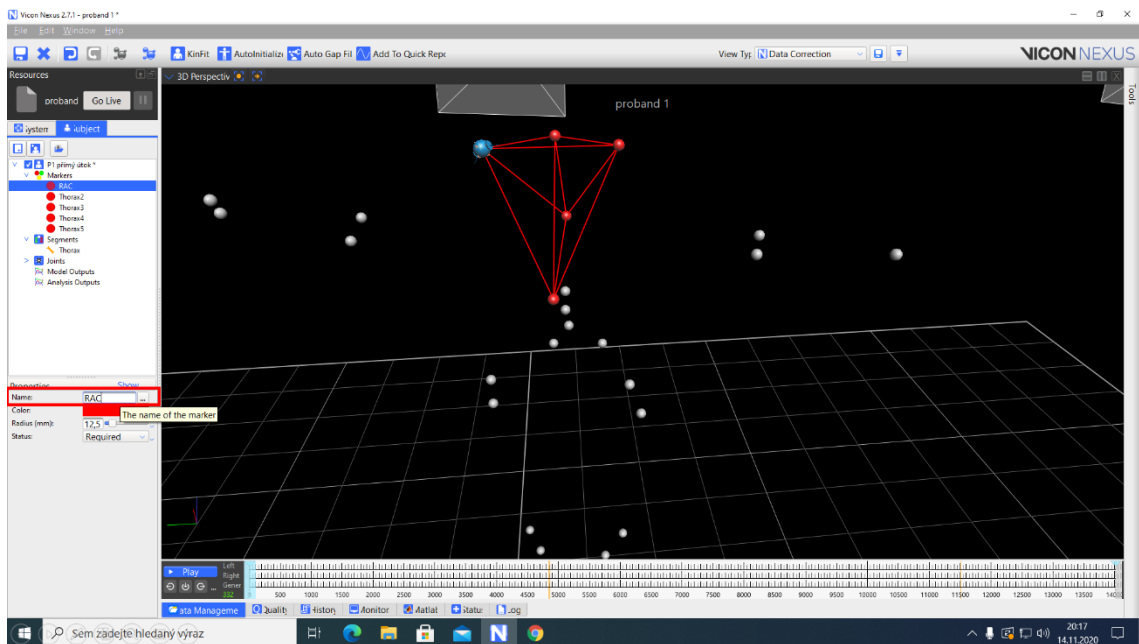
Obrázek 35: Vytvoření hrudního segmentu. Zdroj: autor

- 8) Po vytvoření segmentu se pojmenují jednotlivé body (markery) podle modelu IOR Gait Full-Body Model. Vlevo se rozklikne záložka „Markers“, kde se objeví vybrané body (markery) pro vytvořený segment hrudníku (viz obr.36).



Obrázek 36: Body (markery) pro hrudní segment. Zdroj: autor

- 9) Poté se klikne na příslušný bod (marker), který je zapotřebí přejmenovat a v kolonce „name“ ho se přejmenuje podle modelu IOR Gait Full-Body Model a stiskne se na klávesnici „enter“ (viz obr. 37).



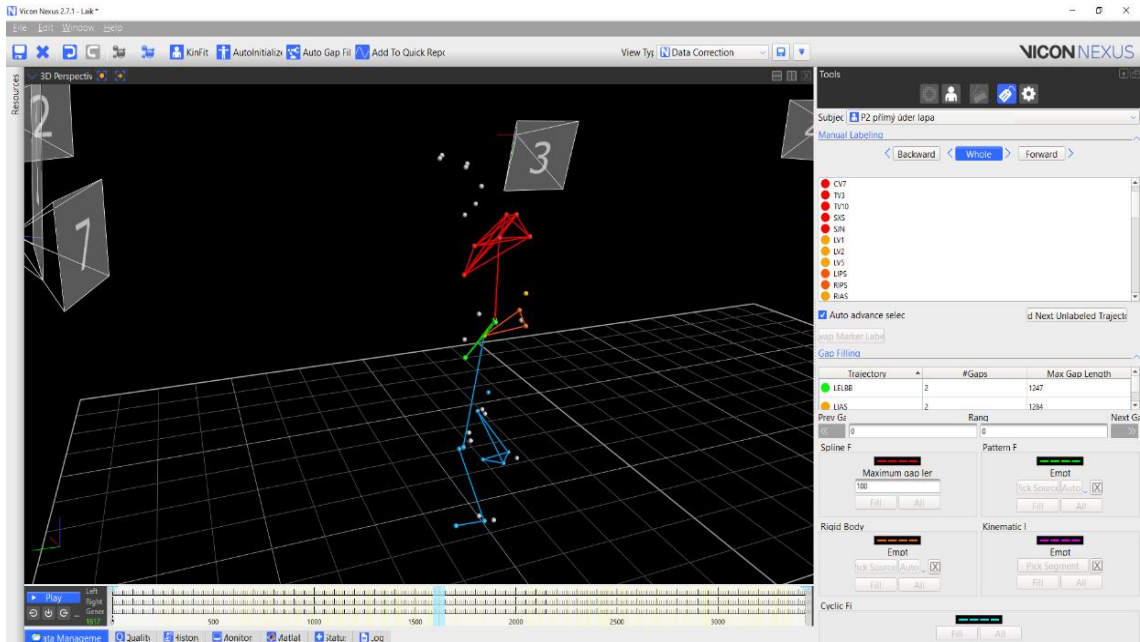
Obrázek 37: Pojmenování bodu (markeru) hrudního segmentu Zdroj: autor.

- 10) Stejným postupem se pokračuje pro vytvoření všech zbylých segmentů včetně pojmenování bodů (markerů).

- **Čištění dat**

Program má schopnost určit, o jaký bod (marker) se konkrétně jedná na základě polohy a umístění podle vytvořeného modelu. Pokud dojde k překrytí bodu (markeru), například horní končetina překryje bod (marker) na hrudním koši atd., a později se tento bod opět objeví, program nemusí tento bod (marker) rozpoznat. Tudíž je nutné bod (marker) znovu označit a přiřadit ho k příslušným tělesným segmentům, tzv. čištění dat.

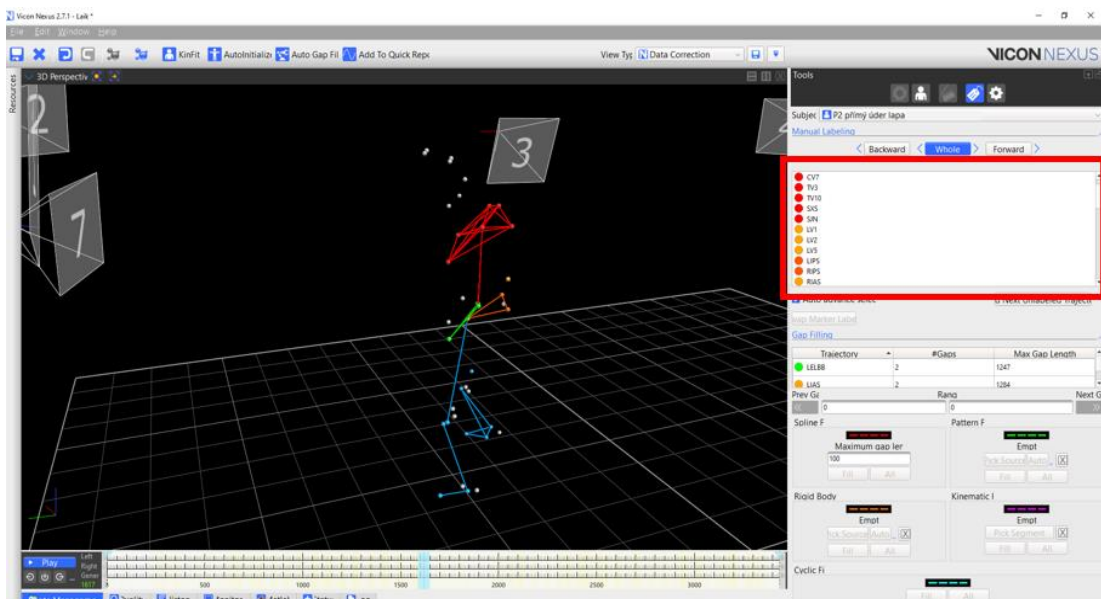
Na obrázku 38 můžeme vidět barevně označené body (markery), které byly přiřazené k příslušným tělesným segmentům podle předdefinovaného modelu. Šedivé body (markery) představují body (markery), které v určitou dobu byly zakryté a po znovuobjevení je program nemohl rozpoznat, neboť se změnila jejich původní poloha. Aby byl model kompletní a data byla správně vyhodnocena, musí se tyto body (markery) znovu přiřadit k příslušným tělesným segmentům.



Obrázek 38: Body (markery) na vyčištění. Zdroj: autor.

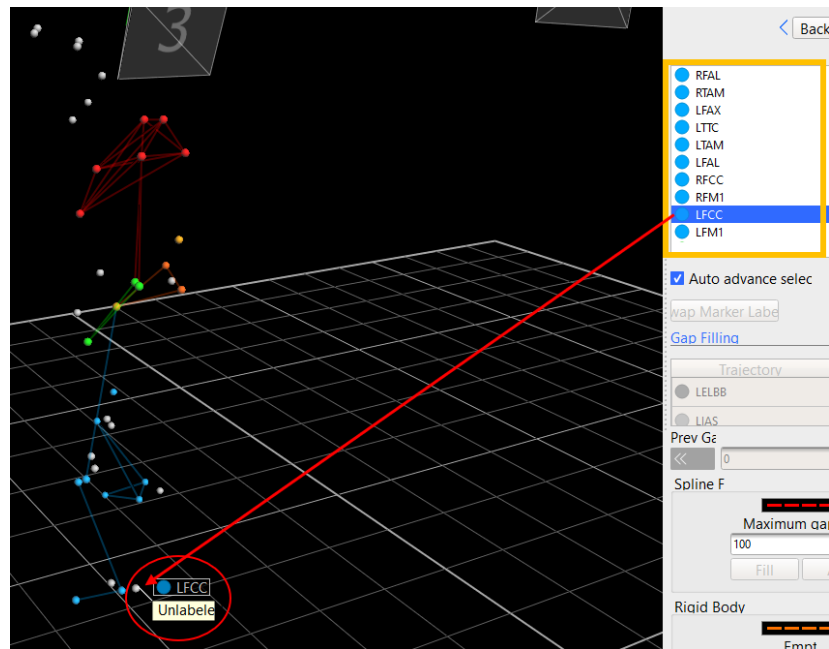
- Postup při čištění dat

- 1) Vpravo v šabloně nástroje se klikne na čtvrtou kolonku „label/edit“. Zde lze vidět výčet předdefinovaných bodů (markerů) (viz obr. 39).

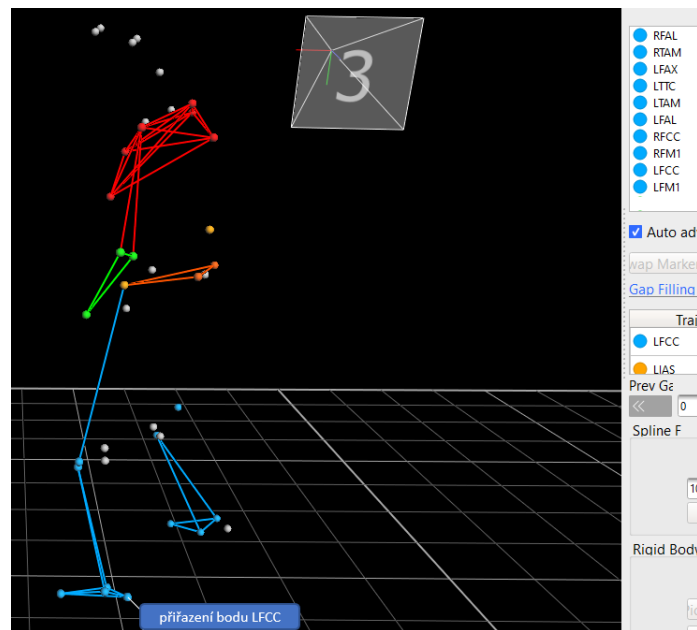


Obrázek 39: Předdefinované body (markery) z vytvořeného modelu Zdroj: autor.

- 2) Z předdefinovaných bodů (markerů) se vybere příslušný bod (marker) podle jeho umístění na lidském těle a přiřadí se k příslušnému tělesnému segmentu a stiskne se na klávesnici „escape“ (viz obr. 40). Po přiřazení se bod (marker) zbarví (viz. obr. 41).



Obrázek 40: Přiřazení jednotlivých bodů (markerů) k příslušným tělesným segmentům. Zdroj: autor.



Obrázek 41: Přiřazený bod (marker) LFCC. Zdroj: autor.

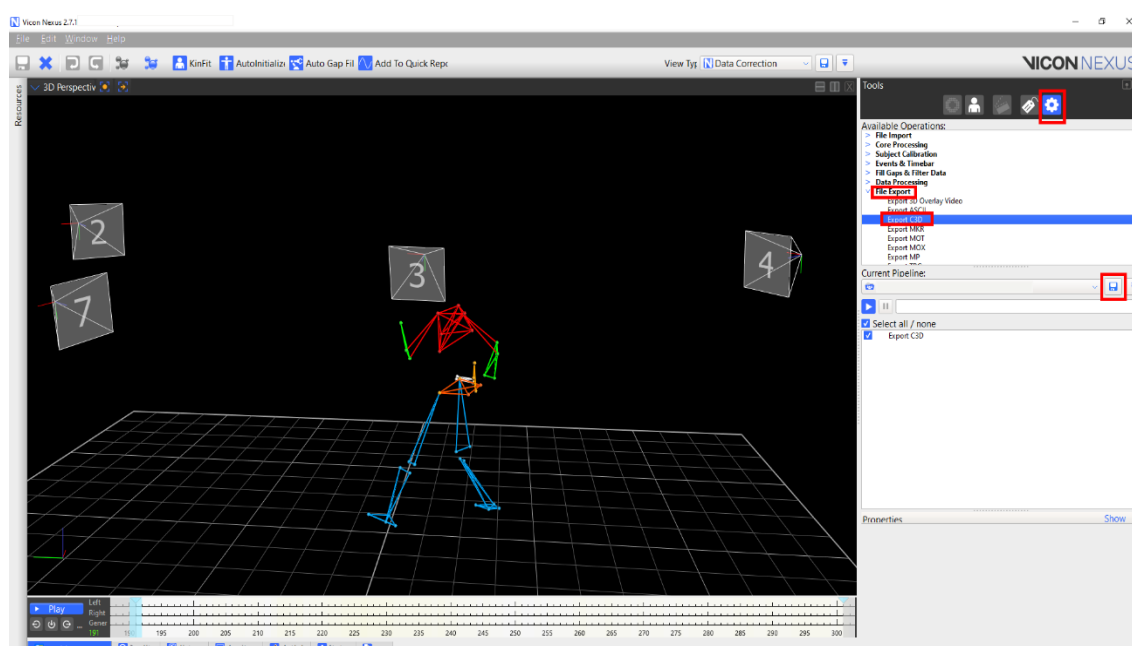
3) Data se čistí do té doby, dokud model není kompletní a neobjevují se žádné šedé body (markery). Tento proces je poněkud časově náročný, ale potřebný k následnému vyhodnocování dat v dalším programu – Visual3D v5 Professional.

- **Ukládání dat**

Vyčištěný model se ukládá ve formátu c3d (coordinate 3D). Tento formát je uložen v binárních hodnotách a obsahuje pouze surová data. Tento formát také obsahuje standardní a výběrové parametry dodávající surovým datům jejich popis a funkci. Aby se surová data korektně zobrazila, je zapotřebí zvolit vhodný program, například Visual3D v5 Professional [49].

- **Postup ukládání dat ve formátu c3d**

- 1) V liště nástroje se klikne na poslední ikonku „pipeline“.
- 2) Rozklikne se kolonka „File export“.
- 3) Klikne se na „Export C3D“.
- 4) Klikne se na ikonku uložit.



Obrázek 42: Ukládání dat ve formátu c3d. Zdroj: autor

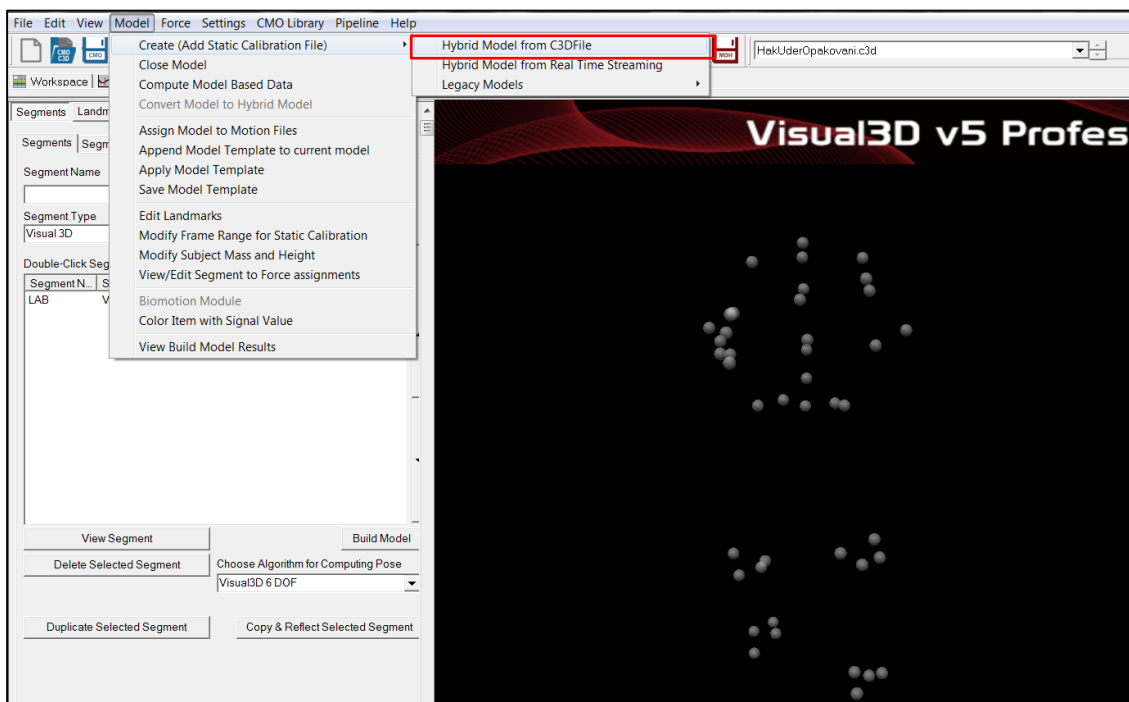
Analýza dat ve Visual3D v5 Professional

Tento program umožňuje biomechanickou analýzu pohybu naměřených v jakémkoliv systému snímací 3D záznam pohybu (Vicon Nexus). Program umožňuje výpočty pro kinematiku a kinetiku pohybu [52].

Prostřednictvím tohoto programu byla následně získaná data potřebná pro stanovení celkové energie útoku.

- **Postup vytváření skeletárního modelu**

- 1) Visual3D v5 Professional využívá jako vstupu formát c3d. Aby se vytvořil model, je zapotřebí nejprve vybrat statickou část záznamu se všemi markery a tu načíst pomocí záložky Model – Create (Add Static Calibration File) – Hybrid Model from C3DFile (viz obr. 43).



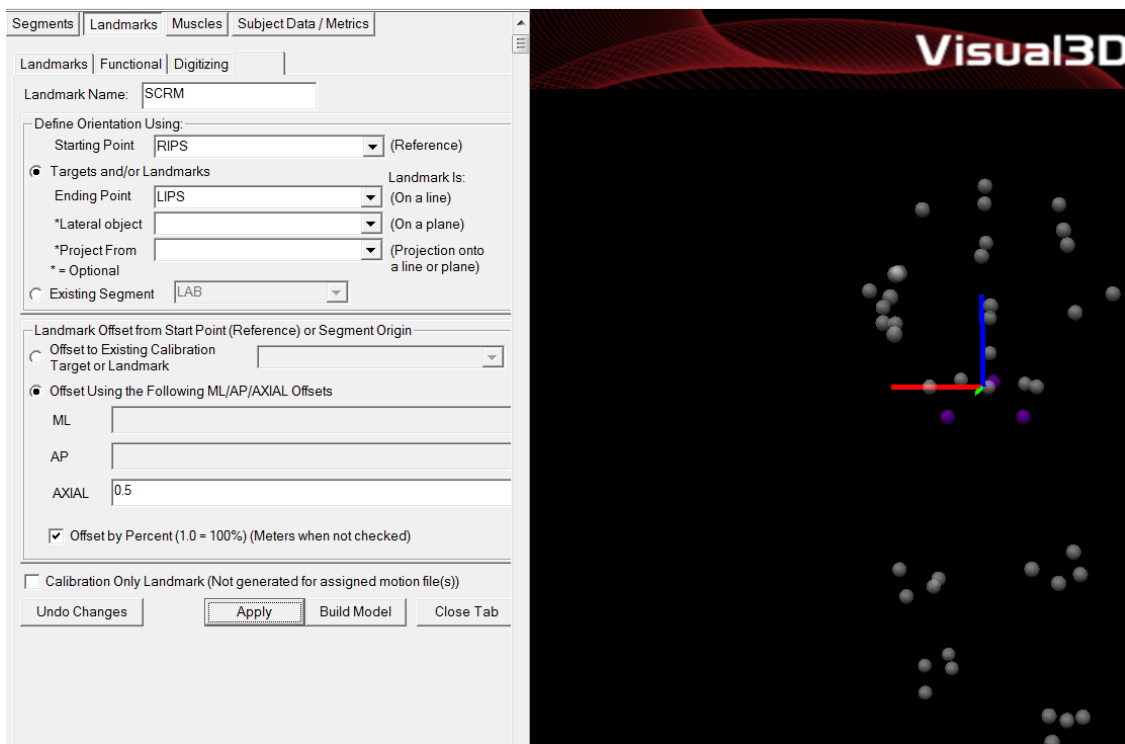
Obrázek 43: Načtení dat pro vytvoření modelu. Zdroj: autor.

- 2) Před přidáním segmentů je nutné zadat hmotnost a výšku subjektu. Hmotnost se následně používá pro výpočet hmotností jednotlivých segmentů (viz tab. 18).

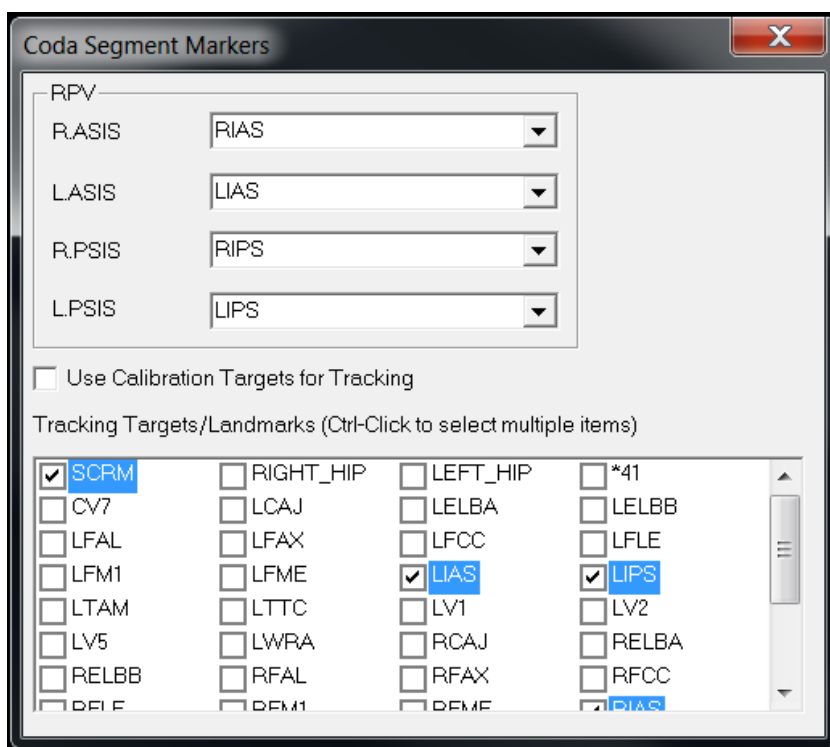
Tabulka 18: Hmotnosti koeficienty pro výpočet hmotnosti jednotlivých segmentů proband 1

| Segment | Koeficient hmotnosti [-] | Hmotnost [kg] |
|------------------------|---------------------------------|----------------------|
| Body | 1 | 93 |
| Pelvis | 0,142 | 13,206 |
| Right Thigh | 0,1 | 9,3 |
| Left Thigh | 0,1 | 9,3 |
| Right Shank | 0,0465 | 4,3245 |
| Left Shank | 0,0465 | 4,3245 |
| Thorax/Ab | 0,355 | 33,015 |
| Right Upper Arm | 0,028 | 2,604 |
| Left Upper Arm | 0,028 | 2,604 |
| Right Forearm | 0,016 | 1,488 |
| Left Forearm | 0,016 | 1,488 |
| Right Hand | 0,006 | 0,558 |
| Left Hand | 0,006 | 0,558 |
| Head | 0,081 | 7,533 |
| Right Foot | 0,0145 | 1,3485 |
| Left Foot | 0,0145 | 1,3485 |

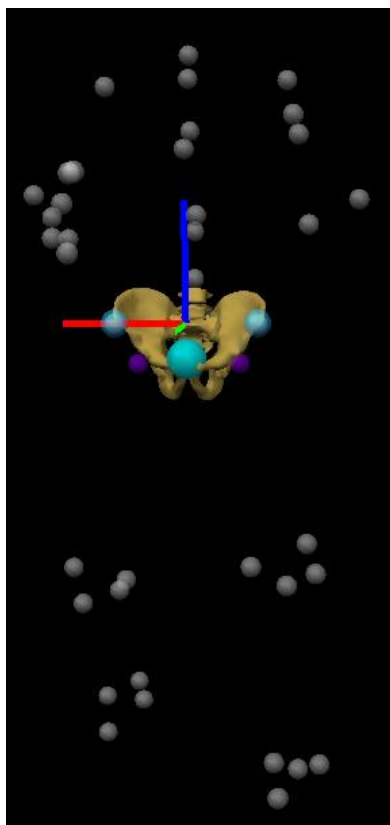
- 3) Jako první je vhodné vytvořit segment pánve (pelvis), který je často také využíván jako referenční segment podobně jako referenční souřadný systém laboratorní místnosti. Pánev je definována na základě anatomických bodů „R.ASIS“, „L.ASIS“, „R.PSIS“ a „L.PSIS“, tzv. spin pánve. Před samotným vložením je vhodné vytvořit tzv. virtuální marker za využití bodů „spin R.PSIS“ a „L.PSIS“ v oblasti „os. Sacrum“ (SCRM) (viz obr. 44). Dále se zvolí příslušné anatomické body pro vytvoření segmentu pánve (viz obr. 45). Stejným způsobem se pokračuje při vytváření ostatních segmentů.



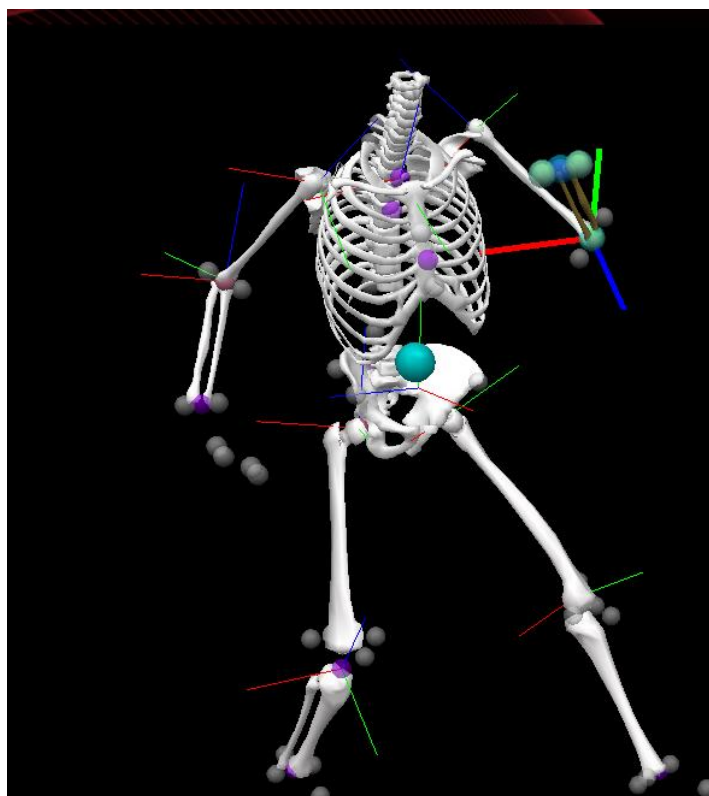
Obrázek 44: Vytvoření virtuálního markeru pro os. Sacrum. Zdroj: autor.



Obrázek 45: Vytváření segmentu pánve. Zdroj: autor.



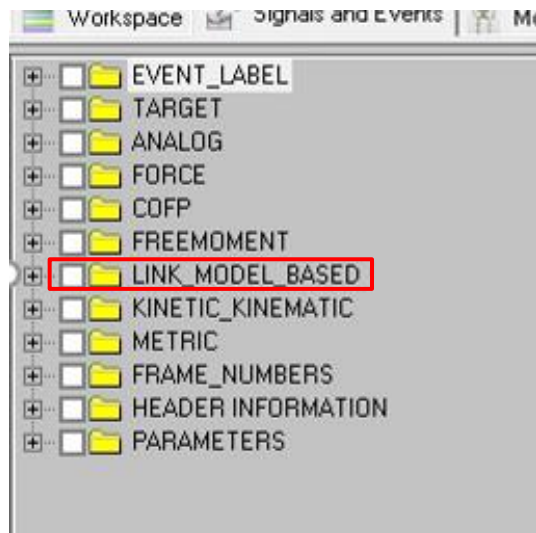
Obrázek 46: Vytvořený segment pánev. Zdroj: autor.



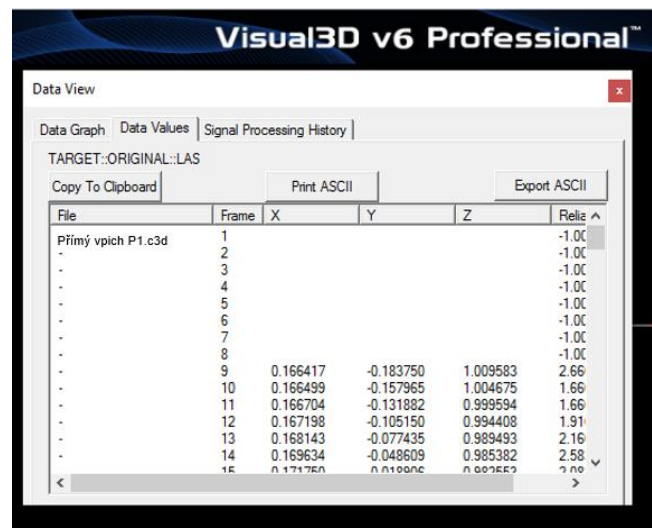
Obrázek 47: Vytvořený celý model. Zdroj: autor.

Postup vyhodnocení dat

- 1) Po vytvoření skeletárního modelu po nahrání příslušného skriptu pod záložkou „LINK_MODEL_BASED“ lze získat informace o pozici jednotlivých segmentů, kinematiky a kinetiky pohybu (viz obr. 48).



Obrázek 48: Záložka "LINK_MODEL_BASED". Zdroj: autor.



Visual3D v6 Professional™

Data View

Data Graph | Data Values | Signal Processing History

TARGET::ORIGINAL::LAS

Copy To Clipboard | Print ASCII | Export ASCII

| File | Frame | X | Y | Z | Reliz |
|--------------------|-------|----------|-----------|----------|-------|
| Přímý vpich P1.c3d | 1 | | | | -1.00 |
| - | 2 | | | | -1.00 |
| - | 3 | | | | -1.00 |
| - | 4 | | | | -1.00 |
| - | 5 | | | | -1.00 |
| - | 6 | | | | -1.00 |
| - | 7 | | | | -1.00 |
| - | 8 | | | | -1.00 |
| - | 9 | 0.166417 | -0.183750 | 1.009583 | 2.66 |
| - | 10 | 0.166499 | -0.157965 | 1.004675 | 1.66 |
| - | 11 | 0.166704 | -0.131882 | 0.999594 | 1.66 |
| - | 12 | 0.167198 | -0.105150 | 0.994408 | 1.91 |
| - | 13 | 0.168143 | -0.077435 | 0.989493 | 2.16 |
| - | 14 | 0.169634 | -0.048609 | 0.985382 | 2.58 |
| - | 15 | 0.171750 | 0.018986 | 0.980752 | 2.90 |

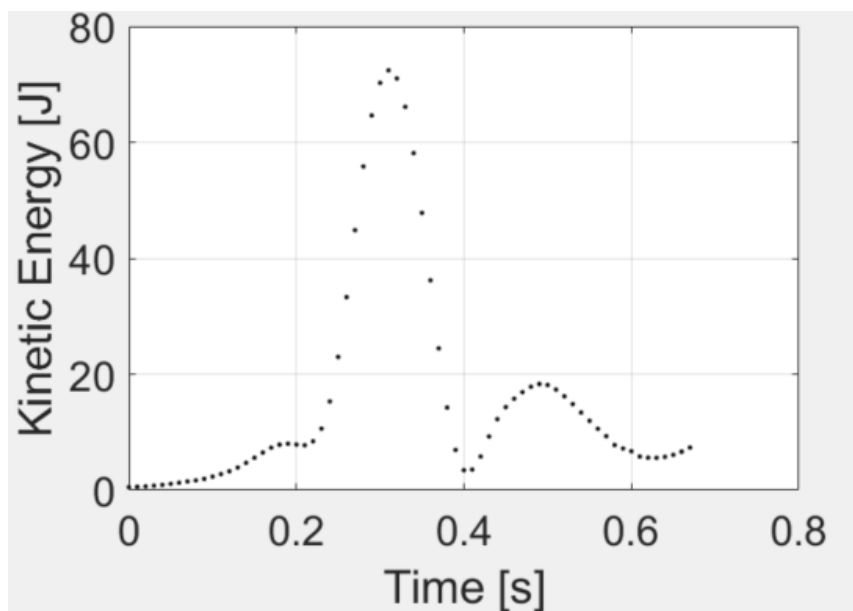
Obrázek 49: Data rychlosti segmentu. Zdroj: autor.

- 2) Takto získaná data se následně exportují do tabulkového procesoru Microsoft Excel.

| 1 | Rychlost horní končetiny | | | | | |
|----|--------------------------|-------|----------|----------|----------|-------------|
| 2 | File | Frame | X | Y | Z | Reliability |
| 3 | Vpich shora dolu P4.c3d | 1 | 1.175497 | 0.138367 | 0.974991 | 0.000000 |
| 4 | - | 2 | 1.172971 | 0.142349 | 0.976466 | 0.000000 |
| 5 | - | 3 | 1.170351 | 0.147349 | 0.977806 | 0.000000 |
| 6 | - | 4 | 1.167249 | 0.154571 | 0.979948 | 0.000000 |
| 7 | - | 5 | 1.164843 | 0.160078 | 0.981357 | 0.000000 |
| 8 | - | 6 | 1.162501 | 0.166636 | 0.983694 | 0.000000 |
| 9 | - | 7 | 1.160357 | 0.174215 | 0.986533 | 0.000000 |
| 10 | - | 8 | 1.158172 | 0.182061 | 0.989938 | 0.000000 |
| 11 | - | 9 | 1.156741 | 0.188285 | 0.993494 | 0.000000 |
| 12 | - | 10 | 1.154836 | 0.195978 | 0.997477 | 0.000000 |
| 13 | - | 11 | 1.153430 | 0.206080 | 1.002646 | 0.000000 |
| 14 | - | 12 | 1.151587 | 0.214833 | 1.008156 | 0.000000 |
| 15 | - | 13 | 1.150468 | 0.225421 | 1.014418 | 0.000000 |
| 16 | - | 14 | 1.149187 | 0.236263 | 1.021501 | 0.000000 |
| 17 | - | 15 | 1.148229 | 0.248056 | 1.029528 | 0.000000 |
| 18 | - | 16 | 1.147233 | 0.260763 | 1.039021 | 0.000000 |
| 19 | - | 17 | 1.146163 | 0.273796 | 1.050129 | 0.000000 |
| 20 | - | 18 | 1.145092 | 0.287665 | 1.063349 | 0.000000 |
| 21 | - | 19 | 1.143611 | 0.302443 | 1.078408 | 0.000000 |
| 22 | - | 20 | 1.141772 | 0.318363 | 1.095462 | 0.000000 |
| 23 | - | 21 | 1.140000 | 0.337679 | 1.114743 | 0.000000 |
| 24 | - | 22 | 1.139087 | 0.354796 | 1.135219 | 0.000000 |
| 25 | - | 23 | 1.135023 | 0.380131 | 1.157633 | 0.000000 |
| 26 | - | 24 | 1.131394 | 0.405685 | 1.181545 | 0.000000 |
| 27 | - | 25 | 1.129152 | 0.430974 | 1.206168 | 0.000000 |
| 28 | - | 26 | 1.122465 | 0.467343 | 1.232751 | 0.000000 |
| 29 | - | 27 | 1.116115 | 0.501493 | 1.259282 | 0.000000 |
| 30 | - | 28 | 1.106748 | 0.538656 | 1.285470 | 0.000000 |
| 31 | - | 29 | 1.095389 | 0.572000 | 1.310068 | 0.000000 |
| 32 | - | 30 | 1.075546 | 0.616174 | 1.331841 | 0.000000 |
| 33 | - | 31 | 1.051155 | 0.667515 | 1.346483 | 0.000000 |
| 34 | - | 32 | 1.027484 | 0.722825 | 1.352624 | 0.000000 |
| 35 | - | 33 | 1.010580 | 0.779792 | 1.348912 | 0.000000 |
| 36 | - | 34 | 1.007025 | 0.833655 | 1.334285 | 0.000000 |
| 37 | - | 35 | | | | -1.000000 |
| 38 | - | 36 | | | | -1.000000 |
| 39 | - | 37 | | | | -1.000000 |
| 40 | - | 38 | | | | -1.000000 |
| 41 | - | 39 | | | | -1.000000 |

Obrázek 50: Data exportovaná do tabulkového procesoru Microsoft Excel. Zdroj: autor.

- 3) V programu pro vědeckotechnické výpočty Matlab R2019a se exportovali data z Microsoft Excel a prostřednictvím vytvořeného skriptu se dopočítala výsledná energie útoku.



Obrázek 51: Graf výsledné kinetické energie vpichu shora dolu proband 1. Zdroj: autor.

4.5 Multikriteriální analýza

Multikriteriální analýza je způsob porovnání a vyhodnocení více alternativ, které jsou vyjádřené různými kritérii. Ty slouží jako měřítka pro srovnání [53].

Tato metoda byla použita pro splnění dílčího cíle (určit nejvhodnější typ ochranné vesty). Na základě této metody byla provedena verifikace hypotéz H3 (Předpokládá se, že současné ochranné vesty dostupné na trhu, které jsou odolné proti chladným zbraním, splňují národní/mezinárodní stanovené normy.), H4 (Předpokládá se, že současné ochranné vesty proti bodným zbraním jsou odolné vůči nejčastějším typům útoku bodnou zbraní.) Cílem této metody bylo nalézt nejvhodnější typy ochranných vest proti bodným zbraním, které jsou dostupné na internetovém obchodě, popřípadě navrhnout nový typ ochranné vesty, která by více vyhovovala námi stanoveným požadavkům. Výsledkem je pořadí vymezených alternativ od nejlepší po nejhorší na základě definovaných kritérií.

4.5.1 Multikriteriální analýza pro výběr nejvhodnější typ ochranné vest

Stanovení alternativ

Alternativa označuje každé řešení z vybrané sestavy. V práci byly vybrány 7 možných alternativ ochranných vest proti bodným zbraním od různých výrobců, které jsou dostupné na internetovém obchodě. Pro práce byly vybrány ochranné vesty s protibodnou vložkou, jejichž parametry jsou veřejně dostupné. Důležité byly zejména údaje o úrovni ochrany, materiálu a celkové hmotnosti. Vybrané alternativy jsou uvedeny v tabulce 19.

Tabulka 19: Ochranné vesty dostupné na internetovém obchodě

| Ochranná vesta | Výrobce |
|--|--------------------------|
| Hard anti-stab comfortable stab-proof vest SPV1012 | Chowey |
| COOLMAX® Bullet Proof Vest II + EBI Black | Safeguard Clothing |
| Stab Resistant Body Armour | PPSS |
| Safeguard Armour Stealth | Safeguard Clothing |
| PGD-exoskeleton | Protection Group Danmark |
| TurtleSkin Cell Extraction | Warwick Mills |
| Titanskin | En Garde |

- **Hard anti-stab comfortable stab-proof vest SPV1012**

Tato tvrdá ochranná vesta proti bodným zbraním od čínské firmy Chowey je určena pro skryté nošení a je vyrobena z polyethylenového vlákna. Vesta může být doplněna o ocelový či aramidový plát o tloušťce 0.7 mm. Samotná vesta váží 2,4 kg a s pláty 3,5 kg. Úroveň ochrany je NIJ úroveň 1 (24 J). Cena produktu výrobcem není uvedena [54].

Tabulka 20: Vlastnosti ochranné vesty. Zdroj: [54].

| Typ vesty | Druh ochrany | Úroveň ochrany | Hmotnost [kg] | Materiál | Cena [Kč] |
|-----------|--------------|----------------|---------------|-------------------|-----------|
| Měkká | nůž, hrot | NIJ level I | 2,4 (3,5) | PE (ocel, aramid) | x |



Obrázek 52: Tvrdá ochranná maska s přidaným plátem od firmy Chowey. Zdroj: [54].

- **COOLMAX® Bullet Proof Vest II + EB1 Black**

Tato ochranná vesta od americké firmy Safeguard Clothing nabízí ochranu jak proti bodné zbraně o standardní velikosti čepele (7 mm), tak i proti střelné zbraně s ráží do 9 mm. Vesta je vyrobena z kevlarových vláken a váží 2–5 kg. Balistická úroveň ochrany je NIJ úroveň II a úroveň ochrany bodnutí je NIJ úroveň I (24 J). Cena vesty je 6 649 Kč (300 \$) [55].

Tabulka 21: Vlastnosti ochranné vesty. Zdroj: [55].

| Typ vesty | Druh ochrany | Úroveň ochrany | Hmotnost [kg] | Materiál | Cena [Kč] |
|-----------|----------------------|----------------|---------------|-----------------|-----------|
| Měkká | nůž, hrot | NIJ level I | 2,5 | aramid (Kevlar) | 6 649 |
| | střelná zbraň (9 mm) | NIJ level II | | | |



Obrázek 53: Ochranné vesta proti střelné a chladné zbrani od firmy Safeguard clothing. Zdroj: [55].

- **Stab Resistant Body Armour**

Tato tvrdá ochranná vesta od britské firmy PPSS poskytuje ochranu nejen proti noži, ale také proti IBZ, hrotům, jehlám a tupým předmětům. Panel je vyrobený z uhlíkových vláken o tloušťce 3,6 mm. Zbytek vesty je vyroben z vysoce kvalitního nylonu. Hmotnost vesty včetně panelu je 1,75 kg. Úroveň ochrany jsou znázorněné v tabulce 22 [56].

Tabulka 22: Vlastnosti ochranné vesty. Zdroj: [56].

| Typ vesty | Druh ochrany | Úroveň ochrany | Hmotnost [kg] | Materiál | Cena [Kč] |
|-----------|--------------|--------------------------------------|---------------|-------------------------------|-----------|
| Měkká | nůž | NIJ level I VPAM K1 HOSBD KR 1 | 1,75 | uhlíková vlákna a nylon | x |
| | hrot | NIJ level I VPAM D1 HOSBD SP1 | | | |
| | jehla | VPAM W2 | | | |
| | tupý předmět | VPAM II | | | |



Obrázek 54: Ochranná vesta od firmy PPSS. Zdroj: [56].

- **Safeguard Armour Stealth**

Tato ochranná vesta poskytuje ochranu proti noži, hrotu a střelné zbraní a výrobcem je už dříve zmiňovaná americká firma Safeguard clothing. Vesta je vyrobena z kevlarových vláken. Vesta disponuje kapsou pro vložení další vložky pro navýšení ochrany. Základní vesta váží 2,5 kg a poskytuje balistickou ochranu NIJ level II a ochranu proti bodnutí nožem nebo hrotem NIJ level I. Cena vesty je 10 483 Kč (473 \$) [57].

Tabulka 23: Vlastnosti ochranné vesty. Zdroj: [57].

| Typ vesty | Druh ochrany | Úroveň ochrany | Hmotnost [kg] | Materiál | Cena [Kč] |
|-----------|---------------|----------------|---------------|-----------------|-----------|
| Měkká | nůž, hrot | NIJ level I | 2,5 | aramid (Kevlar) | 10 483 |
| | střelná zbraň | NIJ level II | | | |



Obrázek 55: Ochranná vesta od firmy. Zdroj: [57].

- **PGD-exoskeleton**

Tato ochranná vesta poskytuje ochranu nejen proti bodnutí ostrým předmětem, ale i proti úderu tupým předmětem, jako jsou například baseballové pálky, obušky atd. Vesta je vyrobena evropskou firmou Protection Group Danmark. Úroveň ochrany proti bodnutí nožem nebo hrotem je NIJ level III (65 J). Navzdory nejvyšší úrovni ochrany vesta váží pouhých 1,8 kg. Vesta je navržena na principu exoskeletu, který je vyroben z hliníku. Cena vesty je 10 506 Kč (403 €) [58].

Tabulka 24: Vlastnosti ochranné vesty. Zdroj: [58].

| Typ vesty | Druh ochrany | Úroveň ochrany | Hmotnost [kg] | Materiál | Cena [Kč] |
|-----------|--------------|----------------|---------------|----------|-----------|
| Tvrdá | nůž, hrot | NIJ level III | 1,8 | hliník | 10 506 |



Obrázek 56: Ochranná vesta od firmy PGD. Zdroj: [58].

TurtleSkin Cell Extraction

Tato ochranná vesta od firmy Warwick Mills poskytuje ochranu proti bodnutí nožem a hrotem. Vesta je vyrobena z mozaiky malých kovových prvků ve formě trojúhelníkových výlisků, viz obrázek. Na výrobu se používá vysoce pevné kovy, jako je titan nebo nerezová ocel. Úroveň ochrany je NIJ level 3 (65 J). Součástí vesty je ochrana slabin, ramen a krku. Celková hmotnost vesty je 7,25 kg a cena je 77 567 Kč (3 500 \$) [59].

Tabulka 25: Vlastnosti ochranné vesty. Zdroj: [59].

| Typ vesty | Druh ochrany | Úroveň ochrany | Hmotnost [kg] | Materiál | Cena [Kč] |
|-----------|--------------|----------------|---------------|----------|-----------|
| Tvrdá | nůž, hrot | NIJ level III | 7,25 | MFA | 77 567 |



Obrázek 57: Ochranná vesta TurtleSkin s MFA vložkou. Zdroj: [59].

- **TITANSKIN™**

Jedná se o měkké pláty řady Titanskin od nizozemské firmy EnGarde určené k vložení do nosiče, například řady Deluxe od stejné firmy. Poskytuje ochranu proti noži a hrotu. Je vyroben z aramidových vláken (Teijin) a úroveň ochrany je NIJ level I. Hmotnost plátu je 5,5 kg, celková hmotnost nosiče včetně plátu je 7,1 kg [60].

Tabulka 26: Vlastnosti ochranné vesty (plát Titanskin a nosič Deluxe). Zdroj: [60].

| Typ vesty | Druh ochrany | Úroveň ochrany | Hmotnost [kg] | Materiál | Cena [Kč] |
|-----------|--------------|----------------|---------------|----------|-----------|
| Měkká | nůž, hrot | NIJ level I | 7,1 | Teijin | x |



Obrázek 58: Nosič Deluxe (vlevo) a plát Titanin (vpravo). Zdroj: [60].

Volba hodnotících kritérií

Kritérium je vlastnost, kterou u dané alternativy posuzujeme. Každému kritériu je přiřazena váha, která vyjadřuje důležitost kritéria. Kritéria v základu se dělí na kvantitativní a kvalitativní, dále podle různých hledisek na maximalizační a minimalizační. Maximalizační kritéria jsou taková kritéria, kdy při rozhodování se vychází z toho, že je žádoucí vyšší hodnota. Minimalizační kritéria jsou opakem maximalizačních kritérií. V práci je stanoveno celkem 5 kritérií.

- **Úroveň ochrany**

Kritérium úroveň ochrany je nejdůležitější, neboť určuje odolnost ochranné vesty proti bodným zbraním v závislosti na typu zbraně, energii a penetraci. Jednotlivé úrovně ochrany jsou stanoveny v národních/mezinárodních normách.

- **Druh ochrany**

Toto kritérium je úzce spjato s prvním kritériem, neboť jednotlivé úrovně ochrany také definují, proti které zbrani jsou odolné. Nicméně můžeme se setkat s tzv. „Multi-Threat Body Armour“, které kombinují ochranu proti bodné zbrani a ochranu proti střelné zbrani. Tato duální ochrana je výhodná zejména v oblastech, kde není znám charakter hrozby a existuje vysoké riziko útoku střelnou i bodnou zbraní.

- **Hmotnost**

V práci byly rozebrány komfortní a ergonomické vlastnosti vesty, mezi které mimo jiné patří také hmotnost. Právě hmotnost, kromě jiných parametrů, určuje pohodlnost během nošení a tím i dobu nošení. Pokud je vesta těžká, špatně se v ní pohybuje a nositel se v ní potí, vede to k nepříjemným pocitům během nošení a doba nošení se zkracuje, což může mít vliv na zdraví a život nositele. Protože výrobci neuvádějí jiné vlastnosti určující komfort, jako například termo-fyziologické vlastnosti, mobilitu při nošení, přizpůsobení vesty atd, byl vybrán jako ukazatel pohodlnosti hmotnost vesty, kterou většina výrobců uvádí. Vychází se z premise, čím lehčí vesta, tím lepší mobilita a delší doba, po kterou může být nošena. Nicméně jak už bylo zmíněno, míra pohodlí úzce souvisí s úrovní ochrany, proto je důležité najít rovnováhu mezi komfortem a ochranou.

- **Materiál**

Nejpoužívanější materiály pro výrobu ochranných vest včetně jejich vlastností byly rozebrány v kapitole 3.3. Právě vlastnosti vlákna, mezi které patří pevnost, modul pružnosti, prodloužení a hustota, úzce souvisí s výše jmenovanými kritérii. Z pohledu nositele to není však nejdůležitější kritérium pro výběr ochranné vesty. Mezi nejpoužívanějšími materiály nejsou tak výrazné rozdíly v jejich vlastnostech a pokud vesta zajistí požadovanou úroveň ochrany, přičemž je splněna komfortní vlastnost vesty, výběr materiálu není tak podstatný. Druh materiálu se odrazí částečně na celkové ceně a životnosti vesty.

- **Cena**

Jelikož životnost není výrobcem ve většině případě uvedena, bylo stanoveno jako poslední kritérium cena. Z pohledu ochrany života a zdraví nositele není cena vesty určující, nicméně je posledním rozhodujícím faktorem při výběru ochranné vesty. Pokud se uživatel rozhoduje mezi dvěma produkty totožných parametrů, bude při jeho finálním rozhodnutí nakonec určující právě cena.

Přiřazení vah hodnotícím kritériím

Přiřazení vah hodnotícím kritériím umožňuje jednotlivým kritériím přiřadit různou důležitost, která může ovlivnit výsledky celkového hodnocení. Váha tedy představuje koeficient důležitosti, kdy čím větší je význam kritériu přikládán, tím vyšší musí být jeho váha. Pro přiřazení vah existuje mnoho metod – metod pořadí, Fullerova metoda, Bodovací metoda atd. V této práci bude použita metoda pořadí [53].

Metoda pořadí řadí kritéria dle důležitosti od nejdůležitějšího po nejméně významné. Dále se kritériu přiřadí bodová hodnota, která se vypočítá dle vzorce:

$$b_i = k + 1 - p_i$$

b_i = bodová hodnota kritéria i ,

p_i = pořadí kritéria i dle důležitosti,

k = počet kritérií.

Po stanovení bodové hodnoty se váhy kritérií standardním způsobem znormalizují, aby se výsledný součet vah rovnal 1. V práci bylo vybráno 5 kritérií, která považujeme za důležitá při hodnocení ochranné vesty. V tabulce 27 je znázorněn postup stanovení vah jednotlivým kritériím podle metody pořadí.

Tabulka 27: Stanovení váhy kritéria podle metody pořadí

| Kritérium | Pořadí dle důležitosti | Bodová hodnota | Normovaná váha |
|---------------------------------|------------------------|----------------|----------------|
| Úroveň ochrany (podle norem) | 1. | $5+1-1=5$ | $5/15=0,34$ |
| Druh ochrany | 2. | $5+1-2=4$ | $4/15=0,27$ |
| Hmotnost | 3. | $5+1-3=3$ | $3/15=0,20$ |
| Materiál | 4. | $5+1-4=2$ | $2/15=0,13$ |
| Cena | 5. | $5+1-5=1$ | $1/15=0,06$ |
| Součet | | 15 | 1 |

Sestavení kritériální matice obsahující výsledky variant dle kritérií

Nyní se musí posoudit, do jaké míry jsou naplněna jednotlivá kritéria u jednotlivých variant. Výsledky budou zobrazeny v kritériální matici, která pro větší přehlednost bude mít podobu tabulky 28. V řádcích budou uvedeny jednotlivé alternativy a ve sloupcích jednotlivá kritéria. Kvalitativní kritéria budou převedena na kvantitativní, a to pomocí bodové stupnice v rozsahu 1–5 bod, kde 5 představuje nejvyšší hodnotu. U kvantitativních hodnot (např. u hmotnosti) použijeme pro lepší následné hodnocení taktéž bodovou stupnici od 1–5. Tím dosáhneme toho, že v matici bude jeden typ kritérií (maximalizačních), tudíž nebude zapotřebí ji dále převádět.

Tabulka 28: Kritériální matice s maximalizačními kritérii

| Alternativa | Kritéria | | | | |
|--------------------|--------------|----------------|----------|----------|------|
| | Druh ochrany | Úroveň ochrany | Hmotnost | Materiál | Cena |
| Chowey | 2 | 1 | 3 | 4 | 1 |
| Safeguard clothing | 3 | 1 | 2 | 3 | 5 |
| PPS | 3 | 1 | 5 | 1 | 1 |
| Safeguard clothing | 3 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| PGD | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 |
| Warwick Mills | 2 | 3 | 1 | 5 | 2 |
| Engarde | 2 | 1 | 1 | 3 | 1 |

Porovnání variant a výběr nejlepší z nich

Pro porovnání variant a výběr nejvhodnější varianty se používá několik metod – metoda vážného pořadí, metoda bodovací, metoda váženého součtu, metoda TOPSIS atd. V práci byla použita metoda bodovací, neboť už při posuzování naplnění míry kritéria byla použita bodová škála od 1–5. Pro vyhodnocení nejlepší varianty je zapotřebí příslušné bodové hodnoty vynásobit váhou příslušného kritéria a následně sečíst všechny výsledné hodnoty (viz tab. 29). Výsledné pořadí variant je dáno sestupně, tudíž nejlepší varianta má nejvyšší číslo.

Tabulka 29: Výsledná matice pro porovnání variant a nejlepší výběr z nich – metoda bodovací

| Alternativa | Kritéria | | | | | Součet | Pořadí |
|--------------------|--------------|----------------|------------|-------------|-------------|-------------|--------|
| | Druh ochrany | Úroveň ochrany | Hmotnost | Materiál | Cena | | |
| Váha | 0,27 | 0,34 | 0,2 | 0,13 | 0,06 | 1 | |
| Chowey | 0,54 | 0,34 | 0,6 | 0,52 | 0,06 | 2 | 4. |
| Safeguard clothing | 0,81 | 0,34 | 0,4 | 0,39 | 0,3 | 1,94 | 5. |
| PPS | 0,81 | 0,68 | 1 | 0,13 | 0,06 | 2,28 | 3. |
| Safeguard clothing | 0,81 | 0,34 | 0,4 | 0,39 | 0,24 | 1,94 | 6. |
| PGD | 0,54 | 1,02 | 0,8 | 0,26 | 0,18 | 2,62 | 1. |
| Warwick Mills | 0,54 | 1,02 | 0,2 | 0,65 | 0,12 | 2,41 | 2. |
| Engarde | 0,54 | 0,34 | 0,2 | 0,39 | 0,06 | 1,47 | 7. |

4.6 Závěr kapitoly

Aby byly splněny cíle práce, byly stanoveny tyto výzkumné metody – analýza, analytická retrospektivní studie, polostrukturovaný rozhovor, biomechanické měření a multikriteriální analýza. Všechny metody slouží ke splnění dílčích cílů a verifikaci či falzifikaci hypotéz.

Prostřednictvím analytické retrospektivní studie byl stanoven nejpravděpodobnější druh bodné zbraně včetně formy hrozícího útoku. Dále byly analyzovány konkrétní normy zabývající se zkouškou odolnosti proti bodným zbraním. V práci bylo analyzováno celkem 5 norem a zvoleny minimální požadavky kladené na vesty.

Dále byly provedeny rozhovory s příslušníky BS a OS, aby byla získána aktuální data o konkrétních skupinách útoků, čímž se následně ověřily závěry o nejpravděpodobnějších útocích bodnou zbraní v analytické části. Následně proběhlo měření nejčastějších typů útoků prostřednictvím kamerového systému Vicon Nexus 2.70.

Programem Vicon Nexus 2.70 prostřednictvím kamer byly zachyceny pohyby během útoku. Měření probíhalo v prostorách FBMI, ČVUT, na Kladně, kde je pro tyto účely přizpůsobená laboratoř. Kamery jsou schopny zaznamenat pohyb na základě IR záření, které se odráží od reflektivních markerů na probandovi. Na probanda pomocí oboustranné lepicí pásky bylo přilepeno celkem 38 reflektivních markerů podle modelu IOR Gait Full-Body Model. Probandi předvedli 3 nejčastější typy útoků po 5 opakováních. Před vyhodnocením dat byl vytvořen model, kdy byly přiřazeny jednotlivé body k příslušným tělesným segmentům pod příslušnou zkratkou podle modelu IOR Gait Full-Body Model. Následně byla data vyčištěna a uložena ve formátu c.3.d., což je důležité pro další vyhodnocení v programu Visual 3D v5 Professional.

Do tohoto programu byly nahrány data z předchozího programu a byl vytvořen nový model. Pro vytvoření jednotlivých segmentů těla bylo třeba zadávat příslušnou hmotnost a výšku probanda. Následně podle biomechanické tabulky pro výpočet hmotnosti segmentů těla byla vypočítána hmotnost segmentů těla probanda. Po vytvoření modelu bylo možné získat data o rychlosti a momentu setrvačnosti segmentů. Data byla následně exportována do tabulkového procesoru Microsoft Excel a následně do programu pro vědeckotechnické výpočty Matlab R2019a.

V tomto programu prostřednictvím vhodně vytvořeného skriptu pro dopočítání kinetické energie segmentu a následné celkové kinetické energie útoku byly získány potřebné výsledky k určení výsledné kinetické energie jednotlivých typů útoků.

Na závěr multikriteriální analýzou byly vybrány nejvhodnější typy ochranných vest, které jsou dostupné na internetovém obchodě, a to v závislosti na bodné zbraní a hrozícímu útoku. Jako kritéria pro hodnocení byly zvoleny úroveň ochrany (podle národních a mezinárodních norem), druh ochrany, hmotnost, materiál a cenu.

5 VÝSLEDKY

5.1 Výsledky porovnání parametrů norem

V tabulce 24 je uveden přehled parametrů uvedených v národních/mezinárodních normách. Jak je vidět v tabulce 31, normy nejsou jednotné v použité energii při testování, rozdělení úrovně ochrany, hloubce penetrace a testovací zbraně. Jednotlivé normy se také liší v pohledu na způsob testování odolnosti materiálu. Pro testování se používá zařízení simulující bodnutí, které je založeno na volném pádu zbraně z předem definované výšky do testovacího vzorku. Vyhodnocení testu vychází z celé řady parametrů – velikost nárazové energie, rychlost a výška pádu atd. Z těchto důvodů je velmi obtížné sjednotit parametry norem a klasifikovat jednotné třídy odolnosti ochranný vest. Obecně lze stanovit pouze teplotu, vlhkost vzduchu, min. velikost testovacího vzorku a velikost podkladového materiálu (viz tabulka 30).

Tabulka 30: Zvolené základní parametry, vlastní zpracován.

| Parametry | Hodnoty |
|--------------------------------------|----------------|
| teplota [C°] ± chyba měření | 20±2 |
| vlhkost [%] ±chyba měření | 65±5 |
| min. velikost vzorku [mm] | 500x500 |
| min. velikost podkladového mat. [mm] | 350x400x150 |

Tabulka 31: Porovnání podmínek měření dle jednotlivých norem, vlastní zpracování.

| Srovnávané veličiny | | ČSN 39 5360 | ČSN EN ISO 13998 | | NIJ 0115.00 | | | VPAM KIDW 2004 | | | | HOSBD 2017 | |
|-----------------------------|------|-------------|------------------|---------|------------------|---------|---------|----------------|----|----|----|-------------|----|
| Teplota [°C] ± chyba měření | | 21±3 | 20±2 | | 21±6 | | | 20±2 | | | | 20±3 | |
| Vlhkost [%] ±chyba měření | | 55±15 | 65±5 | | 50±20 | | | 65±5 | | | | 55±15 | |
| Třídy úrovně ochrany | | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 |
| Energie[J]± chyba měření | E1 | 35±1 | 2,4±0,1 | 4,9±0,2 | 24±0,50 | 33±0,60 | 43±0,60 | 15 | 25 | 40 | 65 | 24 | 36 |
| | E2 | x | x | | 36±,60 | 50±0,70 | 65±0,80 | 25 | 40 | 65 | 80 | 33 | 50 |
| Hloubka penetrace [mm] | u E1 | x | 10 (max 17) | | 7 | | | 10 | | | | 8 (max 9) | |
| | u E2 | x | 12 (max 15) | | 20 | | | 20 | | | | 20 (max 30) | |
| Min. velikost vzorku [mm] | | 500x500 | 400x400 | | 381x305 | | | x | | | | 400x333 | |
| Vel. podkladového mat. [mm] | | 350x400x100 | 300x300x100 | | x | | | 350x400x150 | | | | 420x350x100 | |
| Délka nože [mm] | | 160 | 65 | | 100 | | | 100 | | | | x | |
| Šířka nože [mm] | | 20 | 20 | | S1 – 20; P1 – 15 | | | 15 | | | | x | |
| Tloušťka nože [mm] | | x | 1,5 | | S1 – 4; P1 – 2 | | | 2 | | | | x | |

5.2 Vyhodnocení rozhovoru

Rozhovor byl postaven na 4 primárních otázkách, které byly doplněny dalšími dotazy, dle aktuální situace a možnosti respondenta odpovědět. Shrnutí přeepsaných odpovědí na primární otázky jsou uvedena v příloze 1.

Pro lepší přehlednost jsou rozhovory získaná data zpracovaná v tabulkovém procesoru Microsoft Excel a znázorněna v tabulce (viz obr. 59).

| | Střážníci MP | Příslušník VS | Příslušník PČR | Instruktoři AČR |
|---|-------------------------------|----------------------------------|---|--|
| 1 | přímý vpich | přímý vpich | vpich zespoda nahoru (rozpárání) | útoky do oblastí krku a hlavy (nejméně chráněná oblast) |
| | vpich shora dolů po diagonále | vpich zespoda nahoru (rozpárání) | horizontální vpich do oblasti ledvin | |
| 2 | nejsou uvedeny | nejsou uvedeny | nejsou uvedeny | nejsou uvedeny |
| 3 | přímý vpich | přímý vpich | vpich shora dolů (ice pick) | vpichy shora dolů s velkým náprahem |
| | vpich shora dolů po diagonále | vpich zespoda nahoru (rozpárání) | vpich zespoda nahoru (rozpárání) vpich za sebe | |
| 4 | oblast krku | oblast trupu a břicha | oblast krku | oblast hlavy a krku |
| | oblast trupu a břicha | | oblast břicha a trupu | |
| | | | oblast ledvin | |

Obrázek 59: Tabulka odpovědí respondentů – polostrukturovaný rozhovor.

Reprezentativní vzorek příslušníků BS a OS, se kterými byly provedeny rozhovory, je převážně zastoupen lidmi s dlouholetou praxí v oboru. Lze tedy tvrdit, že se jednalo o profesionály. Myšlenkou práce bylo provést rozhovory se zástupci jednotlivých BS a OS, aby byl získán komplexní pohled na danou problematiku. V oblasti počtu příslušníků, práce dává podnět k dalšímu výzkumu. Přestože stanovený počet respondentů byl pro práci dostačující, neboť se jednalo pouze o doplňující metodu, při vyšším počtu respondentů by se mohly výsledky mírně lišit. Záleží na zkušenostech respondenta a místu výkonu povolání.

Výsledná data z polostrukturovaného rozhovoru je možné využít pro splnění části dílčího cíle (tj. stanovit a fyzikálně ohodnotit nejčastější typy útoků a zbraní). Z odpovědí v tabulce je zřejmé, že respondenti považují za nejčastější útoky vpich shora dolů, přímý vpich a vpich zespoda nahoru, přičemž nejvíce zasaženou oblastí je horní a střední pásmo (trup, břicho, krk). Co se týče klasifikace jednotlivých typů útoků, podle respondentů nejsou tyto typy útoku jednotně klasifikovány, přičemž názvy se odvozují od způsobu provedení útoku.

5.3 Nejčastější bodné zbraně a útoky

Z analytické retrospektivní studie, by nejpravděpodobnější bodnou zbraní byla zbraň s plochou čepelí o délce 7–13 cm. Do této kategorie spadají například vystřelovací nože, zavírací nože, kuchyňské nože (krájecí, univerzální, vykost'ovací) a některé lovecké nože. K těmto nožům je snadný přístup a také je lze dobře ukrýt. Nůž se dá považovat za univerzální zbraň, neboť se nejedná pouze o bodnou zbraň, ale také sečnou a řeznou, což umožňuje větší variabilitu útoků.

Z analytické retrospektivní studie vychází, že útoky ve většině případů provází opakované bodnutí na krátkou vzdálenost, přičemž smrtelné rány budou směřovány do oblasti hrudníku a následné rány budou směřovány do jiných oblastí. To může být způsobeno faktem, že ve většině případů se oběť začne bránit či se bude snažit utéct. Toto tvrzení potvrzuje několik studií, publikací a článků. Z článků [41] vychází, že ve většině případů se jedná o rychlá, krátká, opakovaná bodnutí, přičemž v prvních okamžicích jsou směřována do jedné oblasti, následně jsou pak rozmístěna po těle, neboť se oběť snaží utéct nebo se začne bránit. Ve studii [43], bylo zjištěno, že 42 % pacientů bylo poraněno ve více oblastech na těle a druhou z nejvíce zasažených oblastí byla oblast hrudníku (18 %). Publikace [45] zabývající se stejnou problematikou udává, že největší podíl zranění způsobená nožem je v oblasti hrudníku a břicha (tzv. střední pásmo). V publikaci [33], jež poukazuje na několik studií zabývajících se touto problematikou, se uvádí, že z vyplývajících studií je nejvíce zasaženou oblastí na těle oblast hrudníku. Ani v jedné publikaci, studii nebo článku nebyla popsána problematika nejčastějších typů útoků způsobujících tato zranění. Lze se tedy domnívat, že ze studie jednotlivých typů útoku (viz kapitola 2.1.), tato zranění by byla nejpravděpodobněji způsobena přímými vpichy nebo vpichy zespoda nahoru (tzv. „rozpárání“). Jelikož během zkoumání nebyla nalezena žádná studie, článek či publikace, která by se konkrétně věnovala nejčastějším typům útoků bodnou zbraní, nejpravděpodobnější útoky byly odvozeny z analýzy jednotlivých typů útoků a jejich cílové oblasti v kapitole 3.1.

Z polostrukturovaného rozhovoru s příslušníky BS a OS vychází, že pokud by se jednalo o útoky z pohledu neprofesionálního útočnicka, jednalo by se nejpravděpodobněji o vpich shora dolů (ice pick), přímý vpich a vpich zdola nahoru (rozpárání), přičemž zasaženou oblastí by bylo horní a střední pásmo, tudíž oblast hlavy a trupu.

5.4 Výsledky měření a hodnocení útoků

Na základě kinematografické analýzy byla získaná data ohledně translační a úhlové rychlosti segmentu a momentu setrvačnosti segmentu nejčastějších typů útoků. Následně v Matlabu byla dopočítána celková energie útoku na základě součtu translačních a rotačních energií zapojených segmentů.

Výsledky z měření jsou znázorněny v tabulce 32.

Tabulka 32: Výsledky z měření, zpracování vlastní

| Typ útoků | Průměrná energie [J] | Max. Energie [J] | Průměrná energie všech útoků [J] |
|----------------------|----------------------|------------------|----------------------------------|
| Přímý vpich | 66,54433194 | 100,1818667 | 76,51875208 |
| Vpich shora dolů | 92,75782917 | 126,1096667 | |
| Vpich zespoda nahoru | 67,12176667 | 104,566 | |

Z tabulky lze vyčíst, že průměrná hodnota přímého vpichu a vpichu zespoda nahoru jsou téměř shodné (66–67 J), zatímco vpich shora dolů dosahuje daleko vyšší hodnoty (92 J). To je dáno tím, že vpich shora dolů je obloukový úder a dráha útoků je delší než u ostatních dvou útoků. Z fyzikálního vztahu pro výpočet rychlosti segmentu ($v = \frac{F\Delta t}{m} = \sqrt{2as}$) vyplývá, že pokud dráha, po které segment zrychluje, je delší, dosáhne tak i větší rychlosti, což má vliv na kinetickou energii segmentu a následně na celkovou kinetickou energii útoku.

5.5 Volba nejvhodnějších ochranných vest

Z multikriteriální analýzy vyplývá, že nejlepší varianta ochranné vesty proti bodným zbraním dostupných na internetovém obchodě je ochranná vesta od firmy Protection Group Danmar (PGD), druhou nejlepší variantou je ochranná vesta od firmy Warwick Mills.

Ochranná vesta od firmy Protection Group Danmark nabízí ochranu proti noži a hrotu. Vesta nabízí nejvyšší stupeň ochrany dle normy NIJ Standard-0115.00 úroveň ochrany NIJ level III. Navzdory nejvyšší úrovni ochrany váží vesta pouhých 1,8 kg a také je v rozumné cenové relaci (10 506 Kč).

Ochranná vesta od firmy Warwick Mills nabízí ochranu proti noži a hrotu nejvyššího stupně ochrany podle normy NIJ Standard-0115.00 úroveň ochrany

NIJ level III. Součástí vesty je ochrana také slabin, ramen a krku. Oproti první vestě, vesta je daleko těžší (7,25 kg) a také dražší (77 567 Kč).

Tabulka 33: Srovnání parametrů ochranných vest 1 a 2

| Typ vesty | Druh ochrany | Úroveň ochrany | Hmotnost [kg] | Materiál | Cena [Kč] |
|-----------|--------------|----------------|---------------|----------|-----------|
| 1. | nůž, hrot | NIJ level III | 1,8 | hliník | 10 506 |
| 2. | nůž, hrot | NIJ level III | 7,25 | MFA | 77 567 |

5.6 Doporučené hodnoty fyzikálních vlastností vest dle norem

V měření byly analyzovány 3 nejčastější typy útoků – přímý vpich, vpich shora dolů a vpich zespoda nahoru. Z výsledku měření se průměrná hodnota přímého vpichu a vpichu zespoda nahoru pohybovala okolo 66–67 J. Tyto útoky jsou vedeny nejčastěji do středního pásma, kde se nachází životně důležité orgány (srdce, plíce atd). Průměrná hodnota vpichu shora dolů dosahovala vyšších hodnot, okolo 92 J. Tento útok je veden do horního pásma do oblasti krku, hlavy atd. Horní pásmo z pohledu ochrany je obtížné ochránit, neboť konvenční vesty většinou nenabízí dostatečnou ochranu krku a ramen. Ochrana krku se většinou dodatečně přidává v podobě límce a nárameníku. Pro lepší představu byla navržena ochranná pásma na vestě, která znázorňují stupeň ochrany podle typu útoku a životně důležitých orgánů. Červená barva znázorňuje nejvyšší stupeň ochrany, žlutá barva střední stupeň ochrany a zelené barva nejnižší stupeň ochrany.



Obrázek 60: Ochranná pásma podle stupně ochrany. Zdroj: [61], autor

Na základě nabytých poznatků se doporučuje nejvyšší stupeň ochrany ochranných vest proti bodným zbraním v oblasti trupu a krku, tzn. úroveň ochrany II–IV (50–80 J), v závislosti na druhu normy. V této oblasti se nacházejí životně důležité orgány, tepny a mimo jiné se taky jedná o nejméně zasaženou oblast v případě bodného útoku. V oblasti břicha se doporučuje minimálně střední stupeň ochrany, tzn. úroveň ochrany II–III (33–65 J), v závislosti na druhu normy. V této oblasti se nenachází životně důležité orgány

a také se podle analytické retrospektivní studie nejedná o místo smrtelného poranění. Oblast ramen může být v případě útoku shora dolu také zasaženou oblastí. Nejedná se o smrtelnou oblast v případě zasažení, tudíž je doporučen nejnižší stupeň ochrany, tzn. úroveň ochrany I (15–24 J).

5.7 Závěr kapitoly

Z analytické retrospektivní studie a provedeného polostrukturovaného rozhovoru s probandy se došlo k závěru, že nejpravděpodobnější útoky bodnou zbraní budou provedeny pravou rukou a budou vedeny do oblasti středního a horního pásma, přičemž by se jednalo nejpravděpodobněji o přímý vpich, vpich zespoda nahoru (rozpárání) či vpich shora dolu (ice pick) a nejpravděpodobnější zbraní by byl nůž s plochou čepelí o délce 7-13 cm.

Z měření probandů, kteří demonstrovali nejčastější bodné útoky, byly získány výsledky ohledně výsledné kinetické energie jednotlivých typů útoků, která pro přímý vpich v průměru činila 66 J, pro vpich zespoda nahoru 67 J a pro vpich shora dolu 92 J. Maximálně dosažené hodnoty byly u přímého vpichu 100 J, u vpichu zespoda nahoru 126 J a u vpichu zespoda nahoru 104 J.

Multikriteriální analýzou byly vybrány nejvhodnější typy ochranných vest, které jsou dostupné na internetovém obchodě. Nejlepší variantou ochranné vesty proti bodným zbraním, která získala nejvíc bodů (2,62), je vesta od firmy PGD. Vesta má certifikát nejvyšší úrovně ochrany podle normy NIJ Standard-0115.00, úroveň ochrany NIJ level III (65 J), tudíž by měla částečně odolat přímému útoku a vpichu zespoda nahoru. Ochranu krku tato vesta nenabízí. Vesta navzdory nejvyšší úrovni ochrany váží do 2 kg a její cena je okolo 10 000 Kč. Druhou nejlepší možnou variantou je vesta od firmy Warwick Mills, která také má certifikát nejvyšší úrovně ochrany podle normy NIJ Standard-0115.00. Oproti první vestě nabízí i ochranu slabin, ramen a krku. Na druhou stranu vesta váží 7,25 kg a její cena je 77 567 Kč.

Doporučené hodnoty na základě výsledků z měření byly stanoveny, že minimální úroveň ochrany v oblasti trupu a krku by měla být III–IV, a to v závislosti na druhu normy (65–80 J). V oblasti břicha byla stanovena minimální střední úroveň ochrany, tzn. úroveň ochrany II–III (33-65 J), a to v závislosti na druhu normy. Dále byla doporučena i nejnižší úroveň ochrany ramenou I (15–24 J) pro útoky vedené shora dolů.

6 DISKUZE

6.1 Naplnění cílů práce

V souladu se stanovenými cíli jsou tyto naplněny. Hlavním cílem práce bylo analyzovat odolnost ochranných vest a určit typ ochranných vest proti bodným zbraním na základě studie a analýzy nejčastějších typů útoků, studie nejčastějších bodných zbraní, silového působení během útoku a rešerše současných norem.

Aby bylo možné splnit hlavní cíl práce, byly v práci stanoveny dílčí cíle práce, na jejichž základě byly vytvořeny hypotézy. Posledním cílem práce bylo vyvrátit či potvrdit námi stanové hypotézy.

„Sjednotit požadavky norem a požadavků uživatelů (členů ozbrojených složek)“

Pro splnění tohoto dílčího cíle byla provedena analýza 5 norem, které přesně definují úroveň ochrany v závislosti na energii, typu čepele, způsobu provedení zkoušky odolnosti atd. Pro porovnání a následné sjednocení parametrů jednotlivých norem, byla vytvořena tabulka 31, kde byly porovnány tyto parametry:

- podmínky při zkoušce (teplota, vlhkost vzduchu),
- třídy úrovně ochrany,
- energie,
- hloubka penetrace,
- minimální velikost testovacího vzorku,
- velikost podkladového materiálu,
- délka, šířka a tloušťka nože.

V oblasti výše uvedených parametrů jednotlivé normy nejsou jednotné v pohledu na použití energie při testování, třídy úrovně ochrany, hloubku penetrace a testovací zbraně. Dále se normy rozcházejí ve způsobu testování odolnosti, které jsou blíže popsány u každé normy. Z těchto důvodů tyto parametry nelze obecně stanovit tak, aby korespondovaly s jednotlivými normami.

Proč se jednotlivé normy od sebe tolik liší, nelze přesně určit. Může to být dáno odlišnou mírou rizika útoku bodnými zbraněmi v jednotlivých zemích. Ve Velké Británii jsou útoky nožem daleko častější než u nás, z toho důvodu je britský standard HOSBD 2017 přísnější a komplexnější než naše česká norma ČSN 39 5360.

Obecně lze stanovit pouze podmínky při testování (teplota a vlhkost vzduchu), velikost vzorku a podkladového materiálu. Obecné parametry jsou znázorněné v tabulce 30.

„Stanovit a fyzikálně ohodnotit nejčastější typy útoků a zbraní“

Prostřednictvím analytické retrospektivní studie byly získány informace o nejpravděpodobnějším typu útoků a použité zbraně.

V případové studii, která se zaměřovala na určení spektra poranění způsobených bodnou zbraní ve Velké Británii, se uvádí jako nejčastější zbraň nůž (38 %). Druhou nejčastější zbraní byla uvedena mačeta (13,9 %). A. Bleetman [62] ve své disertační práci zmiňuje civilní útoky v městských částí v Londýně, přičemž analyzuje způsob provedení útoku včetně použité zbraně. Pokud se zaměříme pouze na předměty způsobující bodná zranění, tak nejčastější je nůž (15 %). V záznamech o zabavených zbraních norfolkskou policií se uvádí, že nejčastější zabavenou zbraní je kuchyňský nůž (33 %).

Za účelem určení nejpravděpodobnějšího typu zbraně byla navštívena i nejmenovaná věznice, kde bylo umožněno si zabavené IBZ. Tyto zbraně bylo možné nafotit a změřit jejich parametry – délka, šířka, tvar čepele atd. Celkem bylo změřeno 22 IBZ. Statistickým ukazatelem (medián) byly následně určeny nejpravděpodobnější parametry IBZ (viz tab. 15).

Ze studií, článků a publikací vychází, že nejpravděpodobnější bodnou zbraní je kuchyňský nůž. To může být dáno tím, že takový nůž má v domácnosti takřka každý, tudíž je lehce dostupný. Co se týče IBZ, tak ze studie by se nejpravděpodobněji jednalo o zbraň s plochou čepelí o délce 12,6 cm dosti podobné klasickému noži.

Lze se tedy domnívat, že nejpravděpodobnější bodnou zbraní při bodném útoku bude zbraň s plochou čepelí o délce 7–3 cm. Do této kategorie lze zařadit kuchyňské nože, vystřelovací nože a zavírací nože, případně i některé lovecké. Proč zrovna nůž? Nůž není brán jako klasická bodná zbraň. Nůž lze považovat za sečnou, řeznou i bodnou zbraň, tedy za univerzální zbraň umožňující větší variabilitu útoků. Útočník může kombinovat jak bodné i sečné útoky, čímž způsobí větší poranění. Tato skutečnost může být rovněž důvodem, proč právě nůž je nejčastěji používanou zbraní.

Určit nejčastější typ útoků bodnou zbraní nebylo snadné. Kromě jednoho článku, který analyzoval útoky nožem z kamerových záznamů, nebylo možné nalézt studii, článek, které by vyloženě uváděly konkrétní typy útoků, případně nejčastější typy útoků,

jak tomu bylo u typu zbraně. V článku Patric Bonnafoux (instruktor – Krav Magy) analyzuje 150 incidentů. Jeho závěry ohledně nejčastějšího typu útoku nožem potvrzují, že se ve většině případů jedná o krátká, opakovaná bodnutí, přičemž jsou útoky zprvu iniciovány tzv. „prázdnou rukou“, a to buď k udeření oběti či jejímu uchopení, což zabrání úniku. Studie a publikace, jež byly zmiňovány v kapitole 4.2., se zaměřují na bodná poranění, přičemž ve většině případů je uvedeno, že smrtelné rány jsou směřovány do oblasti hrudníku. Druhou nejčastěji zmiňovanou oblastí byla oblast hlavy krku. Jelikož nebylo zmíněno, jakým typem útoků byla tato zranění způsobena, lze se domnívat, že se jednalo o přímé vpichy či vpichy zespoda nahoru (tzv. „rozpárání“) směřovány do středního pásma a vpich shora dolů směřovaný na horní pásmo. Toto tvrzení vychází ze shrnutí jednotlivých typů útoků v kapitole 3.1., kde jsou popsány včetně jejich cílové oblasti. Jelikož je nůž zbraň, která se používá na krátkou vzdálenost, na úroveň paže, útočník bude útočit nejpravděpodobněji až v těsné blízkosti, přičemž zbraň bude skrývat do poslední chvíle. Pokud by útočník vytáhl nůž předčasně a byl by ještě dostatečně daleko od oběti, oběť pravděpodobně uteče, pokud bude mít možnost. V jiném případě se začne bránit či použije předměty na svou obranu, čímž může následně dojít ke zranění útočníka.

Dále je třeba vzít v úvahu okolnosti události. V případě příslušníků BS mohou při provedení útoku hrát roli místo a okolnosti. V disertační práci Anthonhyho Bleetmana [62] je zmiňován report policejní výzkumné skupiny Ministerstva vnitra, která zkoumá okolnosti vedoucí k útoku na policisty. Data jsou shromážděna ze všech policejních jednotek Spojeného království. Ve Velké Británii pracuje přibližně 130 000 policistů, z toho bylo napadeno 14 % všech policistů, přičemž 0,76 % utrpělo vážná zranění. Ve zprávě se uvádí, že 1/3 útoků proběhl ještě dříve, než měli policisté vůbec možnost navázat kontakt s útočníkem. Dále se uvádí, že 1/5 útoků byla provedena v době, kdy se policisté snažili útočníka uklidnit, 1/4 zranění policisté utrpěli při zatýkání a 1/4 zranění utrpěli po zatčení. V práci jsou také uvedeny 2 grafy znázorňující podíl útoků v závislosti na lokaci a podíl útoku v závislosti na policejní činnosti (viz příloha 2). Dle lokace bylo nejvíce útoků provedeno na ulici (60 %) a nejvíce policistů bylo zraněno při veřejných nepokojích (22 %). Na základě těchto poznatků lze konstatovat, že většina útoků bude neočekávaná, tudíž nelze včas zareagovat sebeobranou, a nejvíc bude ohrožená hlídková služba. Mezi neočekávané útoky se řadí přímé vpichy či vpichy zespoda nahoru.

Polostrukturovaným rozhovorem s jednotlivými příslušníky BS a OS bylo ověřeno, zda poznatky získané prostřednictvím analytické retrospektivní studie korespondují s odpověďmi respondentů. Podle respondentů by se nejčastěji jednalo o vpich shora dolů, přímé vpichy či vpich zespoda nahoru, přičemž zasaženou oblastí bude horní a střední pásmo.

Lze se tedy domnívat, že mezi nejčastější typy útoků bodnou zbraní patří přímý vpich, vpich shora dolů nebo vpich zespoda nahoru, přičemž smrtelné rány budou směřovat do středního (trup, břicho) a horního pásma (hlava, krk). Toto tvrzení mohou částečně potvrdit dvě již zmiňované studie zabývající se biomechanikou bodnutí, které měřily analyzovaly jednotlivé útoky. Studie od E. K. J. Chadwicka a spol. [29] měřila a analyzovala přímý vpich, vpich shora dolů a horizontální vpich. Druhá studie od Horsfalla a spol. [33] měřila a analyzovala přímý vpich a vpich shora dolů.

Prostřednictvím kinematografické analýzy měly být zjištěny a pomocí příslušných softwarových programů vyhodnoceny fyzikální veličiny vyskytující se během útoku. Pro zachycení a následné vyhodnocení dat byly použity 4 softwarové programy:

- Vicon Nexus 2.70,
- Vissual3D v5 Professional,
- tabulkový procesor Microsoft Excel,
- Matlab R2019a.

Vicon Nexus 2.70 byl použit pro nahrávání jednotlivých typů útoků. Během měření se vyskytlo pár problémů – nalepené markery při prudších pohybech nebo pocení probanda padaly a proband měl během provedení útoků neaktivní horní končetinu, v tzv. „bojovém postavení“, čímž došlo k zakrytí ostatních markerů. Vzhledem k chybějícím či překrytým markerům bylo zapotřebí každý marker znovu nadefinovat a přiřadit k příslušným tělesným segmentům (viz kapitola 4.4.). Tyto skutečnosti vedly k tomu, že později při vytváření modelu pro následné vyhodnocení dat byl proces čištění dat poněkud náročný a zdlouhavý. Tato zjištění mohou posloužit dalším výzkumům, kdy se k přichycení markerů zvolí jiný typ lepící pásky, popřípadě se použije oblek s markery a probandi nechají neaktivní končetinu volně u těla.

Vissual3D v5 Professional byl použit pro následné získání dat z fyzikálních charakteristik vyskytujících se během útoku, tj. rychlosti a momentu setrvačnosti segmentů. Aby bylo možné příslušná data získat, bylo zapotřebí nahrát vytvořený model

z programu Vicon Nexus 2.70 ve formátu c3d a následně vytvořit nový model. Po tomto kroku bylo možné získat potřebná data pro stanovení kinetické energie útoků.

Tabulkový procesor Microsoft Excel byl použit k exportu dat získaných v předchozím programu, které lze následně importovat do programu pro vědeckotechnické výsledky.

Matlab R2019a byl použit pro interpretaci výsledků získaných v předchozích programech. Aby bylo možné interpretovat výsledky bylo zapotřebí vytvořit příslušný skript, který podle rovnice pro stanovení výsledné kinetické energie byl schopen dopočítat energii útoků. Jelikož nemám dostatečné znalosti k vytvoření skriptu v programovacím jazyce, s touto částí vypomohl konzultant práce Ing. Petr Volf. Získané výsledky z měření budou následně využity v projektu Multi Impact Hybrid Layers.

Pro výpočet celkové kinetické energie úroku bylo počítáno pouze s rigidními segmenty horní končetiny, neboť se nejednalo o útoky, kde by docházelo k rotaci těla. Podobně byly vyhodnoceny výsledky i ve studii od E. K. J. Chadwicka a spol., kdy byly vybrány rigidní segmenty horního trupu a horní končetiny držící nůž. Z výpočtů vychází, že průměrná hodnota přímého vpichu je cca 66 J, vpichu zespona nahoru je cca 67 J a vpichu shora dolu je cca 92 J. Vpich shora dolu vykazuje mnohem vyšší hodnoty oproti předchozím útokům. Toto lze vysvětlit tak, že provedení vpichu shora dolu probíhá po oblouku, tím pádem je i dráha útoku delší. V kapitole 3.5. vyplývá, že pokud je dráha, po které segment zrychluje delší, dosáhne tak i větší rychlosti, tím pádem je kinetická energie segmentu vyšší a následně i kinetická energie útoku.

Výsledky práce nelze zcela srovnávat s výsledky jiných studií, neboť diplomová práce se zaměřila pouze na příslušníky BS a OS, přičemž všichni byli muži a prováděli útoky do „prázna“. Výsledky studie od Chadwicka a spol zahrnovala 17 mužů a 3 ženy z řad studentů a příslušníků policie. Také výsledky této studie obsahovaly kinetickou energii všech útoků (přímý vpich, vpich shora dolu, horizontální vpich), která byla v průměru 36 J. Studie Horsfalla a spol zahrnovala studenty z RMCS, příslušníky policie a návštěvníky Mezinárodního veletrhu policie a bezpečnosti. Ačkoliv studie rozlišuje naměřené hodnoty podle skupin, ne všechny skupiny provedly oba typy útoků (přímý vpich a vpich shora dolu), tudíž ani s touto studií nelze srovnávat průměrnou hodnotu naměřených výsledků. Jedině, co lze porovnat s naměřenými hodnotami

v diplomové práci jsou uvedené maximální hodnoty. Lze předpokládat, že maximální hodnoty dosáhne muž díky své tělesné konstituci, přičemž lze i předpokládat, že to bude muž mající zkušenosti v zacházení s chladnou zbraní, neboť technika provedení útoků, může mít vliv na výslednou kinetickou energii útoku (větší rychlost atd). Tudíž lze předpokládat, že se bude jednat o příslušníky policie, kteří absolvovali kurz sebeobrany. Maximální hodnota přímého vpichu ve studii činí 64 J a maximální hodnota přímého vpichu v diplomové práci je 100 J. Maximální hodnota vpichu shora dolu u studie činí 115 J a maximální hodnota vpichu shora dolu v diplomové práci je 126 J. Hodnoty v diplomové práci jsou vyšší než hodnoty ve studii. Jelikož neznáme přesné tělesné hodnoty probanda ze studie, lze se domnívat, že buď šlo o probanda s nižšími tělesnými hodnotami nebo to mohlo zapříčinit fakt, že probandi bodali do pevného cíle. Při kontaktu s pevným cílem při nezpevněném zápěstí může dojít ke zranění. Z obavy ze zranění to mohlo mít následně vliv na to, že probandi nevynaložili veškerou svou sílu do útoku, což se projeví i ve výsledné kinetické energii.

Tyto poznatky dávají podnět k dalšímu výzkumu, kdy při měření probandi budou bodat do pevného cíle. Pevný cíl by měl být statický a kamery by měly být nastaveny tak, aby nedošlo k zastínění probanda, z hlediska čištění dat a následného vyhodnocení. Konstrukce pevného cíle by měla umožnit provést několik druhů útoků a zbraň by měla být konstruována tak, aby nedošlo k poranění probanda a také aby nedošlo k její poškození.

- **„Určit nejvhodnější typ ochranné vesty“**

Multikriteriální analýza byla použita za účelem porovnání současných typů ochranných vest dostupných na trhu podle zvolených kritérií. Jelikož výběr konkrétních typů ochranných vest dostupných na internetovém trhu nám ztížil fakt, že ne všechny výrobci nebo prodejci uvádí potřebné parametry, výběr byl poněkud omezený. Při výběru bylo snahou vybrat několik variant typů ochranných vest, tak aby byly zahrnuty i vesty s duální ochranou – ochrana proti noži a střelné zbraně. Snahou je zjistit především, zda se tyto vesty výrazně liší parametry od běžných vest s ochranou proti bodným zbraním.

Jako hlavní kritérium s nejvyšší váhou byla stanovena úroveň ochrany. Jednotlivé úrovně ochrany jsou definovány v závislosti na energii, typu zbraně a hloubky penetrace. V práci se vycházíme z premise, pokud ochranná vesta o úrovni ochrany například

NIJ level I, tak by měla být schopna odolat útoku nožem o energii 24 J při maximální penetraci 7 mm a 36 J při maximální penetraci 20 mm. Prostřednictvím kinematografické analýzy byly získány hodnoty rázové energie nejčastějších typů útoků, které byly následně porovnány s hodnotami energií uvedených u úrovních ochrany v jednotlivých normách. Energie těchto tří nejčastějších typů útoků se v průměru pohybuje okolo 75 J, což odpovídá IV. stupni ochrany normy VPAM KIDW 2004 (65-80 J). Ačkoliv se zdají být hodnoty energií získaných během měření poněkud vysoké, je třeba si uvědomit, že probandi byli z řad BS a OS mající speciální výcvik. Také při měření figurovali velcí a silní probandi. Tyto hodnoty představují tedy maximální hrozbu, které je možné čelit. Pokud by se jednalo o průměrného člověka nemající speciální výcvik, hodnoty budou pravděpodobně o dost nižší, a tudíž by stačila i nižší úroveň ochrany. Na druhou stranu probandi nebyli vystaveni žádnému stresu a okolnostem, které by zapříčinily, že by jednali v agresi, strachu či zrušení, což by potencionálně mohlo mít vliv na zvýšení fyzického výkonu. Norma NIJ Standard-0115.00 určuje ochranné vesty pro bezpečnostní složky v úrovni ochrany NIJ level II (33 J a 50 J), což je střední úroveň ochrany a v porovnání s výsledky diplomové práce (75 J) jsou tyto hodnoty nižší. K vzhledem časovým možnostem, náročností vyhodnocení výsledků a pandemické situaci, nebyla do měření zahrnuta běžná populace, která by lépe reflektovala výsledky práce. Nicméně tato práce může sloužit k dalšímu výzkumu, který by zahrnoval i výsledky z měření běžné populace.

Jako další kritérium pro výběr ochranné vesty byla zvolena hmotnost. V práci v kapitole 5.2. se zabývalo jednotlivými parametry a vlastnostmi vesty mezi ně patří ochrana, komfortní a ergonomické vlastnosti. Ze studie, která se zaměřila na německé policisty a nošení ochranných prostředků během služby, vychází, že pouze 25 % policistů nosí ochranné vesty během pracovní doby, a více než 50 % je nenosí nikdy nebo jen zřídka. Jedním z důvodů bylo, že vesty jsou nepohodlné při dlouhodobém nošení a omezují jejich pohyb [63].

Jelikož výrobce, prodejce neuvádí jiné parametry určující komfortní a ergonomické vlastnosti vesty, jako jsou termo-fyziologický komfort, přizpůsobení ochranné vesty tělu nositele a schopnost pohybu nositele, byla vybrána jako ukazatel hmotnost. Hmotnost vesty mimo jiné také určuje pohodlnost během nošení, což může mít vliv i na dobu nošení. Pokud vesta bude těžká, pravděpodobně bude omezovat pohyb nositele a celkově může vést k nepříjemným pocitům, což může mít vliv jak na dobu nošení, tak i psychického rozpoložení nositele. Ovšem vztah mezi komfortními,

ergonomickými vlastnostmi a úrovní ochrany vesty je inverzní. To znamená, že vesta s nejvyšší úrovní ochrany je vyrobena z několika vrstev vláken, což má následně vliv na hmotnost a flexibilitu vesty. Vesta je těžká, omezuje pohyb nositele, ale na druhou stranu poskytuje nejvyšší ochranu.

Dalším kritériem pro výběr ochranné vesty byl vybrán materiál. Vlastnosti a parametry nejpoužívanějších vláken pro výrobu ochranných vest byly blíže popsány v kapitole 2.3. Právě vlastnosti vlákna jako pevnost, modul pružnosti, prodloužení a hustota úzce souvisí s ochrannými a komfortními vlastnostmi vesty (hmotnost). Aby vesta byla dostatečně odolná vůči probodnutí kombinuje se několik vrstev materiálu, což má následně vliv na hmotnost vesty. V současnosti se několik studií zabývá vývojem materiálu, který by nabízel nejlepší mechanické vlastnosti. Například studie od R. Egrese a spol. [64] se zabývá odolností materiálu ošetřených STF. Princip STF byl popsán v kapitole 2.3. Výsledkem studie bylo, že vlákna Kevlaru ošetřena STF vykazují výrazně lepší odolnost proti probodnutí než samotná kevlarová vlákna. Také bylo zjištěno, že kevlar ošetřený STF má o 20 % méně vrstev vláken než klasický a vykazuje stejnou odolnost. Toto zjištění dává podnět k vývoji ochranných vest proti bodným zbraním, které jsou lehčí a pružnější než vesty vyrobené z klasických kevlarových vláken, a přesto vykazují stejnou úroveň ochrany.

Výběr nejvhodnější ochranné vesty závisí na spoustě kritérií, které se odvozují od jejího uživatele. V práci byly uvedeny konkrétní typy ochranných vest, které jsou veřejně dostupné na internetovém obchodě včetně jejich vlastností a parametrů a prostřednictvím multikriteriální analýzy byly vybrány nejvhodnější typy současných ochranných vest. S ohledem na prostředí (na ulici při řešení sporů), bodné zbraní (nůž o délce čepele 7-13 mm) a hrozcím útokům (75 J) byly ze současných vest dostupných na internetovém obchodě vybrány tyto vesty – vesta od firmy PGD a vesta od firmy Warwick Mills. Tyto vesty poskytují nejvyšší úroveň ochrany podle normy NIJ Standard-0115.00 úroveň ochrany NIJ level III (65 J), tudíž by do jisté míry měly poskytnout ochranu proti přímému vpichu a vpichu zespoda nahoru (66-67 J). Tyto vesty však neposkytují dostatečnou ochranu proti vpichu shora dolů (92 J). Co se týče hmotnosti vest, vesta od firmy PGD k vzhledem úrovní ochrany váží pouhých 1,8 kg oproti druhé vestě (7,25 kg), tudíž z hlediska dlouhodobého nošení je vesta od firmy PGD lepší volbou. Na druhou stranu vesta od firmy Warwick Mills poskytuje i ochranu slabin, ramen a krku, což je v případě vpichu shora dolů žádoucí, i když nedisponuje požadovanou úrovní ochrany

pro tento typ útoků. Nějaká ochrana lepší než žádná ochrana. Cena u těchto vest je také velmi rozdílná. Vesta od firmy PGD stojí 10 506 Kč a vesta od firmy Warwick Mills 77 567 Kč. I když z pohledu ochrany vesta od firmy Warwick Mills je lepší volbou, hmotnost a cena je důvodem, proč je tato až na druhém místě.

Pokud by se ochranné vesty nevybíraly podle značky nebo od konkrétních výrobců, byla by stanovena obecně ochranná vesta proti bodným zbraním, která musí splňovat níže uvedené vlastnosti a specifikace. Na základě analýzy nejčastějších typů útoků a nejčastěji používané zbraně, by měla ochranná vesta ať už jenom s ochranou vložkou proti bodné zbraně nebo kombinovanou vložkou mít minimální úroveň ochrany nejvyšší stupeň ochrany ochranných vest proti bodným zbraním v oblasti trupu a krku (65-90 J) a v oblasti břicha střední úroveň ochrany 33-65 J. S ohledem na používání ochranných vest delší časový úsek, je nezbytné, aby kromě uvedené ochranné vlastnosti v maximální míře poskytovala také odpovídající příslušný uživatelský komfort. Mezi to patří i výběr vhodného materiálu pro výrobu ochranné vložky, která následně ovlivňuje hmotnost a flexibilitu vesty. V práci již byla zmiňovaná výhoda vláken ošetřených STF vykazující stejné ochranné vlastnosti s menším počtem vrstev. Ochranná vložka vyrobená z těchto vláken bude mít menší hmotnost a větší flexibilitu, což se pak promítne na celkové hmotnosti vesty. Vnitřní strana vesty by měla být vyrobena z materiálu umožňující cirkulaci vzduchu a odvodu tělesného tepla, aby nedocházelo k kulpování potu na pokožce nositele při větší fyzické námaze či zvýšených teplot v letních měsících. Použít lze síťované tkaniny či 3D tkaniny. Konstrukce vesty by měla umožňovat snadné a rychlé oblékání a v případě nutnosti i rychlé svléknutí. Vesta by se také měla dobře přizpůsobit tělu nositele, čímž lze dosáhnout nastavitelnými systémy upínání v oblasti ramen a boků, které umožňují dokonalé upnutí vesty podle potřeb nositele. Střih vesty by také měla umožňovat maximální pohyblivost nositele při standardním účelu použití. Vesta by následně měla být zapouzdřena v povlaku nebo provedena tak, aby odolávala průniku vody a slunečním paprskům. Posledním obecným kritériem by měla být životnost ochranné vesty. Obecně se udává min. délka životnosti 10 let. Tato doba by se neměla překročit, neboť vlivem používání dochází k opotřebování materiálu a následnému snížení užitečných vlastností vesty, čímž je ohroženo zdraví a život uživatele.

6.2 Zhodnocení hypotéz

- **Hypotéza H1**

Na základě analýzy jednotlivých norem lze hypotézu H1 (Předpokládá se, že je možné obecně sjednotit národní/mezinárodní normy, které jsou v každé zemi odlišné.) – vyvrátit.

Analýza norem měla potvrdit či vyvrátit, zda je možné sjednotit jednotlivé normy, které se od sebe poměrně dost liší. Prostřednictvím analýzy jednotlivých norem byla tato hypotéza vyvrácena, neboť nelze obecně stanovit všechny požadavky norem tak, aby byla jedna univerzální norma. Zvláště co se týče požadavků na způsobu testování, které každá norma stanovuje jinak. Zjištěné poznatky mohou posloužit pro další výzkum, například pro vývoj variabilního systému testování, které umožní provádět zkoušky odolnosti podle jednotlivých norem. Ochranná vesta, která by prošla tímto způsobem testování, by mohla být použita ve více zemí.

- **Hypotéza H2**

Na základě analýzy fyzikálních účinků během útoků a norem lze hypotézu H2 (Předpokládá se, že ochranné vesty testované podle národních/mezinárodních norem splňují fyzikální charakteristiky, které se vyskytují během útoku.) – potvrdit.

V kapitole 3.5.1. byly uvedeny fyzikální postupy k určení parametru během útoku a v kapitole 3.5.2. byly popsány parametry, které se sledují v případě hodnocení biomechaniky útoku nožem – rychlost, energie, hybnost atd., a podle kterých se následně stanovuje výsledná kinetická energie útoku. Právě kinetická energie je klíčovým parametrem pro stanovení úrovně odolnosti ochranné vesty v každé normě. Jednotlivé normy na základě kinetické energie, typu zbraně a maximální penetrace stanovují úrovně ochrany od nejnižší po nejvyšší. Vesta s příslušnou úrovní ochrany musí odolat bodnutí o kinetické energii stanovenou pro tuto úroveň.

- **Hypotéza H3**

Na základě multikriteriální analýzy lze hypotézu H3 (Předpokládá se, že současné ochranné vesty dostupné na trhu, které jsou odolné proti chladným zbraním, splňují národní/mezinárodní stanovené normy.) – potvrdit.

Multikriteriální analýza byla provedena za účelem porovnání jednotlivých typů ochranných vest od různých výrobců, které jsou dostupné na internetovém trhu podle zvolených kritérií. V práci zvolené typy ochranných vest dostupné na trhu měly ve všech případech certifikát alespoň jedné normy. Právě certifikát zaručuje požadovanou příslušnou úroveň ochrany proti konkrétním zbraním, což je jedním z kritérií při výběru ochranné vesty každého uživatele.

- **Hypotéza H4**

Na základě vyhodnocení dat z analytické retrospektivní studie, polostrukturovaného rozhovoru, kinematografické analýzy a multikriteriální analýzy lze hypotézu H4 (Předpokládá se, že současné ochranné vesty proti bodným zbraním jsou odolné vůči nejčastějším typům útoku bodnou zbraní) – vyvrátit

Aby bylo možné verifikovat či falzifikovat tuto hypotézu, bylo zapotřebí nejprve zjistit nejčastější typ útoků a typ zbraně prostřednictvím analytické retrospektivní studie a polostrukturovaného rozhovoru. Dále pomocí kinematografické analýzy vyhodnotit kinetickou energii nejčestnějších typů útoků a zjištěné hodnoty následně porovnat s hodnotami uvedené v jednotlivých normách. Prostřednictvím multikriteriální analýzy pro výběr ochranné vesty, byly stanoveny jednotlivá kritéria, mezi které patří taky úroveň ochrany, která je určená podle norem. Podle úrovně ochrany ochranné vesty lze stanovit, zda je ochranná vesta dostatečně odolná vůči nejčastějším typům útoků bodnou zbraní. Vesty dostupné na internetovém obchodě měly v některých případech nejvyšší úroveň ochrany podle normy NIJ Standard-0115.00 úroveň ochrany NIJ level III (65 J). Průměrná energie všech naměřených útoků je 76 J, což odpovídá pouze jedné úrovni ochrany mezinárodní normy VPAM KDIW 2004 K4 (65-80 J) a tu neměla žádná vesta. Jak už, ale bylo řečeno, naměřené hodnoty představují maximální hrozbu, které je možné čelit. Pokud by se diplomová zaměřila na měření bodných útoků běžné populace, tzn. populace nemající speciální výcvik v zacházení s bodnou zbraní a které mají průměrné tělesné hodnoty, výsledné hodnoty těchto útoků budou pravděpodobně nižší. Toto zjištění může být předmětem další práce, která by zahrнула do měření i běžnou populaci.

6.3 Další postup řešení

V práci byly analyzovány jednotlivé normy, přičemž snahou bylo sjednotit jednotlivé parametry pro hodnocení odolnosti ochranných vest proti bodným zbraním. Každá norma má specifické požadavky na způsob testování odolnosti, což dává podnět k vývoji variabilního testovacího zařízení, který umožní provádět zkoušky odolnosti materiálu podle jednotlivých norem. Toto testovací zařízení by mělo být navrženo tak, aby se jednotlivé parametry měření mohly měnit. Zařízení by mělo umožnit libovolně měnit dráhu, rychlost pádu a kinetickou energii. Vzhledem k tomu, že normy nejsou jednotné ani v testovací zbraně, zařízení by mělo umožnit měnit i samotný druh zbraně. Dle některých norem musí být zkoušky prováděny pod úhlem, tudíž by zařízení mělo umožnit náklon plošiny.

Studie nejčastějších bodných zbraní včetně IBZ může sloužit pro stanovení zbraně, které budou použity k testování. V jednotlivých normách se používají různé druhy chladných zbraní. Při testování se většinou používají 2 až 3 přesně definované chladné zbraně. Většinou se jedná o čepel, jehly, trny atd. K vzhledem tomu, že i parametry chladné zbraně se v jednotlivých normách odlišují (délka, tloušťka, materiál atd) snahou bylo zjistit, které konkrétní druhy chladných zbraní se v případě bodného útoku používají nejčastěji. Tato práce je základem pro studii zabývající se geometrií čepelce a břitce, biomechanikou bodnutí a penetrační účinnosti. Na základě studia tvarů útočných zbraní tedy může být také volena tréninková zbraň nebo zbraň pro materiálové testování, tj. testování ochranných vest.

Tato práce je také základem pro další výzkum, v rámci, kterého by mohlo být využito více probandů z běžné populace, čímž by výsledky více odpovídaly realitě. Nicméně velké rozdíly ve zkušebních energiích jednotlivých norem mohou vést k jistým pochybnostem o platnosti těchto hodnot. Snahou by tedy mělo být kvantitativně vyhodnotit energetické úrovně nejčastějších útoků bodnou zbraní a případně navrhnout nový standard s novými energetickými úrovněmi pro testování odolnosti ochranných vest proti bodným zbraním.

7 ZÁVĚR

Předmětem diplomové práce byla analýza a určení kritérií pro výběr ochranné vesty proti konkrétním bodným zbraním, z hlediska navýšení bezpečnosti příslušníků bezpečnostních sborů. V teoretické části jsou analyzovány a představeny normy určující požadavky na ochranné vesty, rovněž jsou na základě studia literatury popsány jednotlivé druhy bodných zbraní a varianty útoků. Také jsou uvedeny vlastnosti a parametry ochranných vest dostupných na českém trhu. V praktické části jsou analyzovány nejčastější formy útoků bodnými zbraněmi vázané na konkrétní situaci a prostředí. Pomocí multikriteriální analýzy je vybrán nejvhodnější typ ochranné vesty v závislosti na bodné zbraní, hrozícímu útoku a prostředí.

Na základě analýzy současných norem se došlo k poznání, že je nemožné obecně sjednotit parametry norem pro testování odolnosti ochranných vest. Jednotlivé normy odlišně stanovují energetické úrovně při provádění zkoušky odolnosti, což může vyvolat pochyby o platnosti těchto hodnot. Prostřednictvím analytické retrospektivní studie byla stanovena nejpravděpodobnější bodná zbraň a hrozící útok, přičemž by se jednalo o zbraň s plochou čepelí o délce 7–13 cm a hrozící útok by byl proveden jako přímý vpich, vpich shora dolů či vpich zespoda nahoru. V experimentální části práce bylo provedeno biomechanické měření probandů z BS a OS, kteří simulovali tyto útoky. Účelem měření bylo určit kinetickou energii jednotlivých typů útoků a porovnat je s hodnotami uvedenými v současných normách. Kinetická energie přímého vpichu a vpichu zespoda nahoru měla průměrnou hodnotu 66–67 J. Kinetická energie vpichu shora dolů byla v průměru 92 J. Ze zjištěných hodnot vyplývá, že energetické úrovně nejčastějších typů bodných útoků odpovídají nejvyšší úrovni ochrany normy NIJ 0115.00 level III a normy VPAM KIDW 2004 v případě přímého vpichu a vpichu zespoda nahoru. Žádná z norem neměla příslušnou úroveň ochrany pro vpich shora dolů. Prostřednictvím multikriteriální analýzy současných vest byly na základě stanovených kritérií určeny nejvhodnější typy ochranných vest. Ochranné vesty od firmy PFD a Warwick Mills mají certifikát normy NIJ 0115.00 level III (65 J), tudíž by měly odolat přímému vpichu a vpichu zespoda nahoru. Jedna z vest navíc poskytovala ochranu slabin, ramen a krku, což je v případě vpichu shora dolů žádoucí. Je třeba si uvědomit, že naměřené hodnoty v diplomové práci představují maximální hrozbu, které je možné čelit. Pokud bychom do měření zahrnuli i běžnou populaci, výsledky budou pravděpodobně nižší.

V této práci byly stanoveny čtyři hypotézy, dvě z nich se podařilo potvrdit a dvě vyvrátit.

Tato práce může posloužit dalším výzkumům, které budou mít za cíl kvantitativně ohodnotit energetické úrovně nejčastějších bodných útoků, přičemž by byly realizovány i na běžné populaci. Práce dále dává podnět k výzkumu zabývajícím se se vývojem variabilního testovacího zařízení, které by umožnilo měnit parametry v závislosti na druhu normy, případně výsledcích získaných během měření nejčastějších bodných útoků.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

IBZ – Improvizované bodné zbraně

NIJ – National institute of justice

STF – Shear Thickening Fluid

UHMWPE – Polyetylen s ultra vysokou molekulární hmotností

PBO – poly-para-fenylen-2,6-benzo-bisoxazol

MoCap – Motion Capture system

TANR – Trauma Audit and Research network

MTP – Media Transfer protocol

PSBD – Police Scientific Development Branch

KR – kníže (nůž)

SP – spike (špice)

SPL – Single penetration limit

TBO – Třída balstické odolnosti

TON – Třída odolnosti proti bodným zbraním

BS – bezpečnostní služby

OS – ozbrojené síly

TOPSIS – Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

PGD – Protection Group Danmar

RMCS – Royal Military College of Science

9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Držení nože v zahraničí. Skrblík.cz [online]. 101 00 Praha 10 – Vršovice: PUEBLO s.r.o., © 2012-2021 [cit. 2021-05-02]. Dostupné z: <https://www.skrblík.cz/cestovani/tipy-jak-usetrit-na-cestach/drzeni-noze-v-zahranici/>
- [2] PERNECKÁ, Soňa a Michal TKÁČ. Učebnice boje nožem. Bratislava: Cad press, 2010. ISBN 978-80-88969-50-1.
- [3] Taktika sebeobrany ve vybraných modelových situacích (napadení krátkou bodnou zbrani). Brno, 2010. Bakalářská práce. Masarykova univerzita v Brně, Fakulta sportovních studií.
- [4] Angles of Attack. The Blade Hand [online]. shamanwarrior1984, 2013 [cit. 2021-05-02]. Dostupné z: <https://thebladedhand.wordpress.com/2013/12/01/angles-of-attack/>
- [5] KNIFE ATTACKS & RESPONSES – PART 1. Home of Krav Maga Global [online]. Kadima - Israel: DR. TAL KVORES, 2021 [cit. 2021-05-02]. Dostupné z: <https://krav-maga.com/blog/knife-attacks-and-responses-by-dr-tal-kvores-part-1/>
- [6] KLUČINA, Petr. Zbroj a zbraně: Evropa 6.-17. století. Praha: Paseka, 2004. ISBN 80-7185-661-4.
- [7] DOLÍNEK, Vladimír a Jan DURDÍK. Historické zbraně. Praha: Naše vojsko, 2008. ISBN 978-80-206-0918-2.
- [8] ČUBANOVÁ, Slávka. Chladné zbraně - rešerše: Poklady pro článek. Kladno, 2021.
- [9] CHLADNÉ ZBRANĚ - VŠE OKOLO ZBRANÍ. Chladnezbrane.eu [online]. Kolín: Direct China Trade s.r.o., 2019 [cit. 2021-05-02]. Dostupné z: <https://www.chladnezbrane.eu/clanky-a-recenze/chladne-zbrane-vse-okolo-zbrani/>
- [10] SKRYLEV, Igor'. Encyklopedie nožů: úplná encyklopedie zbraní a výstroje. Praha: Naše vojsko, 2013. ISBN 978-80-206-1324-0.
- [11] IMPROVIZOVANÉ ZBRANĚ. Comitatus.cz [online]. Plzeň: Škola sebeobrany COMITATUS, 2009 [cit. 2021-05-02]. Dostupné z: http://comitatus.cz/clanek-21-improvizovane_zbrane_uvod.htm
- [12] Čepel nože. Top-ArmyShop.cz [online]. Safety Agency, s.r.o., 2021 [cit. 2021-05-02]. Dostupné z: <https://www.top-armyshop.cz/slovník-pojmu/cepel-noze>

- [13] NAYAK, Rajkishore, Ian CROUCH, Sinnappoo KANESALINGAM et al. Body armor for stab and spike protection, Part 1: Scientific literature review. *Textile Research Journal* [online]. 2018, 88(7), 812-832 [cit. 2021-05-02]. ISSN 0040-5175. Dostupné z: doi:10.1177/0040517517690623
- [14] CIESIELSKA-WRÓBEL, Izabela Luiza. Contemporary Personal Ballistic Protection (PBP). KUMAR, Bipin a Suman THAKUR, ed., Bipin KUMAR, Suman THAKUR. *Textiles for Advanced Applications* [online]. InTech, 2017 [cit. 2021-05-02]. ISBN 978-953-51-3500-5. Dostupné z: doi:10.5772/intechopen.69085
- [15] Priscilla Reiners. Investigation about the stab resistance of textile structures, methods for their testing and improvements. Other. Université de Haute Alsace - Mulhouse, 2016. English. ffNNT : 2016MULH9513ff. fftel-01527362f
- [16] EL MESSIRY, Magdi. Protective armor engineering design. Palm Bay, Florida: Apple Academic Press, 2019. ISBN 978-17-718-8787-8.
- [17] JANČÁŘ, Josef. Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2003. ISBN isbn80-214-2443-5.
- [18] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Tkaní [online]. c2020 [citováno 2. 05. 2021]. Dostupný z WWW: <<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Tkan%C3%AD&oldid=18743730>>.
- [19] Caramilla.cz [online]. Česká republika: Petra Macháčková [cit. 2021-05-02]. Dostupné z: <https://www.caramilla.cz/nevylecitelna-posedlost-jmenem-latky/>
- [20] How Liquid Body Armor Works. HowStuffWorks [online]. Tracy V. Wilson, 2021 [cit. 2021-05-02]. Dostupné z: <https://science.howstuffworks.com/liquid-body-armor.htm#ptl>
- [21] KEVLAR®. 4SR for street racing [online]. [cit. 2021-05-02]. Dostupné z: [4srusa.com/pages/kevlar](https://www.4srusa.com/pages/kevlar)
- [22] Long-term stability of UHMWPE fibers. *Polymer Degradation and Stability* [online]. 2015, 45-51 [cit. 2021-05-03]. ISSN 0141-3910. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2015.01.028>
- [23] UHMWPE: LIGHTWEIGHT & ABRASION RESISTANT. In: Fiber-Line [online]. USA: FIBER-LINE® Hickory, NC Manufacturing Operations, 2021 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://www.fiber-line.com/en/fibers/uhmwpe>

- [24] ZYLON® PBO: WORLD'S STRONGEST SYNTHETIC FIBER. In: Fiber-Line [online]. USA: FIBER-LINE® Hickory, NC Manufacturing Operations, 2021 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://www.fiber-line.com/en/fibers/zylon-pbo>
- [25] Balistická odolnost [online]. Česká republika: Český úřad pro zkoušení zbraní a střeliva, 2021 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://www.cuzzs.cz/cs/balisticka-odolnost/>
- [26] KALICHOVÁ, Miriam. Biomechanika ASEBS: Výzkumné metody v biomechanice [online]. Brno, 2013 [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: <https://www.fsps.muni.cz/inovace-SEBS-ASEBS/elearning/biomechanika/biomechanika-upolovych-sportu>
- [27] Geometrie hmotností lidského těla. In: Fakulta tělesné výchovy a sportu [online]. Česká republika: Fakulta tělesné výchovy a sportu Universita Karlova, 2018 [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: <https://ftvs.cuni.cz/FTVS-1376-version1-1.gif>
- [28] HALLEMANS, Ann, Peter AERTS, Bert OTTEN, Peter DE DEYN a Dirk DE CLERCQ. Mechanical energy in toddler gait A trade-off between economy and stability?. *Journal of Experimental Biology* [online]. 2004, 207(14), 2417-2431 [cit. 2021-05-04]. ISSN 1477-9145. Dostupné z: [doi:10.1242/jeb.01040](https://doi.org/10.1242/jeb.01040)
- [29] CHADWICK, E.K.J., A.C. NICOL, J.V. LANE a T.G.F. GRAY. Biomechanics of knife stab attacks. *Forensic Science International* [online]. 1999, 105(1), 35-44 [cit. 2021-05-04]. ISSN 03790738. Dostupné z: [doi:10.1016/S0379-0738\(99\)00117-6](https://doi.org/10.1016/S0379-0738(99)00117-6)
- [30] YAHYA, Muhammad, Jawad SHAH, Kushsairy KADIR, Zulkhairi YUSOF, Sheraz KHAN a Arif WARSI. Motion capture sensing techniques used in human upper limb motion: a review. *Sensor Review* [online]. 2019, 39(4), 504-511 [cit. 2021-05-04]. ISSN 0260-2288. Dostupné z: [doi:10.1108/SR-10-2018-0270](https://doi.org/10.1108/SR-10-2018-0270)
- [31] SONG, Min-Ho, Rolf GODØY a Imran RAZZAK. How Fast Is Your Body Motion? Determining a Sufficient Frame Rate for an Optical Motion Tracking System Using Passive Markers. *PLOS ONE* [online]. 2016, 11(3) [cit. 2021-05-04]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: [doi:10.1371/journal.pone.0150993](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150993)
- [32] Silové účinky během útoků nožem z literárních zdrojů: Projekt „MIHRIL (Multi Impact Hybrid Layers) - ochrana proti pouličním hrozbám“ č. FW01010463 je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu TREND 1. Kladno, 2021.

- [33] HORSFALL, I., P.D. PROSSER, C.H. WATSON a S.M. CHAMPION. An assessment of human performance in stabbing. *Forensic Science International* [online]. 1999, 102(2-3), 79-89 [cit. 2021-05-04]. ISSN 03790738. Dostupné z: doi:10.1016/S0379-0738(99)00055-9
- [34] Literární rešerše [online]. Michal Krčál, 2017 [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: <http://www3.econ.muni.cz/~99246/zav-prace/lit-review.xhtml>
- [35] Metodika ke zpracování závěrečné práce pro vybrané nelékařské zdravotnické obory. Brno, 2019. Publikace. Masarykova univerzita v Brně.
- [36] Stab Resistance of Personal Body Armor NIJ Standard–0115.00. USA: National Institute of Justice, 2000.
- [37] The Home Office Body Armour Standard (2017). 2nd. UK: The Home Office, 2017.
- [38] The Home Office Body Armour Standard (2017). 2nd. UK: Home Office, 2017.
- [39] ČSN 39 5360 (395360) Zkoušky odolnosti ochranných prostředků. Zkoušky odolnosti proti střelám, stěpinám a bodným zbraním. Technické požadavky a zkoušky. Česká republika, 2018.
- [40] ČSN EN ISO 13998 (832771) Ochranné oděvy - Zástěry, kalhoty a vesty chránící proti říznutí a bodnutí ručními noži. EU, 2003.
- [41] Určení primárních typů útoku nožem: Projekt „MIHRIL (Multi Impact Hybrid Layers) - ochrana proti pouličním hrozbám“ č. FW01010463 je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu TREND 1.“. Kladno, 2021.
- [42] NOLAN, Gary, Sarah HAINSWORTH a Guy RUTTY. Forces generated in stabbing attacks: an evaluation of the utility of the mild, moderate and severe scale. *International Journal of Legal Medicine* [online]. 2018, 132(1), 229-236 [cit. 2021-05-04]. ISSN 0937-9827. Dostupné z: doi:10.1007/s00414-017-1702-7
- [43] MALIK, Nabeela, Beau MUNOZ, Cynthia DE COURCEY et al. Violence-related knife injuries in a UK city; epidemiology and impact on secondary care resources. *EClinicalMedicine* [online]. 2020, 20 [cit. 2021-05-04]. ISSN 25895370. Dostupné z: doi:10.1016/j.eclinm.2020.100296

- [44] CAVANAUGH, John, Cynthia BIR a Nicholas ROWLAY. Characterization of Weapons used in Stab/Slash Attacks. Wayne State University, Department of Biomedical Engineering, 818 West Hancock, Detroit, MI 48201, 2014, , 1-51.
- [45] FENNE, P. Protection against knives and other weapons. Textiles for Protection [online]. Elsevier, 2005, s. 648-677 [cit. 2021-05-04]. ISBN 9781855739215. Dostupné z: doi:10.1533/9781845690977.3.648
- [46] „Jak si „povídat“, aby to byl výzkum, aneb i rozhovor má svá pravidla“. In: Základy metodologie [online]. L. Bláha [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: <https://www.pf.ujep.cz/wp-content/uploads/2019/03/6-Rozhovor-pravidla.pdf>
- [47] Výzkumné metody v biomechanice [online]. Brno: Fakulta sportovních studií Masarykovy univerzity, 2011 [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: <https://www.fsps.muni.cz/inovace-SEBS-ASEBS/elearning/biomechanika/vyzkumne-metody-v-biomechanice>
- [48] Sofistikovaná biomechanická diagnostika lidského pohybu [online]. c2009-2012 [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: http://www.biomechanikapohybu.upol.cz/net/index.php?option=com_docman&task=d
- [49] Motion Lab Systems: User Manual. Isbweb [online]. Spojené státy americké: Motion Lab Systems, 2002 [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <https://isbweb.org/software/movanal/C3D/C3Dmanual.pdf>
- [50] KIRTLEY, Christopher. Clinical Gait Analysis: Theory and Practice. 1. vyd. Churchill Livingstone, 2005. ISBN 9780443100093.
- [51] HUDEC, Jiří. ANALÝZA CHŮZE [online]. Brno, 2012 [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=54933.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav biomedicínského inženýrství. Vedoucí práce JIŘÍ SEKORA
- [52] Visual3D Professional. Softwarecatalog [online]. [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <http://www.softwarecatalog.co.kr/src/Item/ItemMaster.aspx?Serial=A599>

- [53] Vzdelavaci-manual-pro-RIA-UV-2017: Vyhodnocení variant [online]. 2017 [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: https://www.vlada.cz/assets/ppov/lrv/ria/Vzdelavaci-manual-pro-RIA-UV-2017-priloha-Vyhodnoceni-variant_1.pdf
- [54] Hard anti-stab comfortable stab-proof vest SPV1012. Choweysafe [online]. Čína: Ningbo Chowey Police Equipment Co. [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <https://www.choweysafe.com/Police-Equipment/Stab-proof-vest/Hard-anti-stab-comfortable-stab-proof-vest-SPV1012>
- [55] COOLMAX® BULLET PROOF VEST II + EB1 BLACK. Safeguard clothing [online]. USA: SafeGuard CLOTHING™ [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <https://www.safeguardclothing.com/coolmax-ii-bullet-1-stab-black/>
- [56] Stab Resistant Body Armour. PPSS [online]. UK: PPSS Group [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <https://www.ppss-group.com/product/stab-resistant-body-armor-covert-white/>
- [57] SAFEGUARD ARMOR STEALTH PRO CONCEALED BULLETPROOF VEST BODY ARMOR (STAB AND SPIKE PROOF UPGRADEABLE). Bulletproof Zone [online]. Bulletproof Zone, 2021 [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <https://bulletproofzone.com/collections/stab-proof-spike-proof/products/safeguard-armor-stealthpro-concealable-bullet-proof-vest-body-armor>
- [58] PGD-Exoskeleton | Stongest stab proof vest. Protection group Danmark [online]. Danmark: Protection Group Danmark, 2021 [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <https://protectiongroupdenmark.com/shop/3-stab-proof-vest/11-pgd-exoskeleton--stongest-stab-proof-vest/>
- [59] Level 3 Stab Cell Extraction Vest - Custom Order (Not Stocked Item). TurtleSkin [online]. USA: Warwick Mills [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <https://turtleskin.com/default/level-3-stab-cell-extraction-vest.html>
- [60] Deluxe series: Conceable Comfort - Exceptional Performance. Engarde [online]. Netherlands: EnGarde body armor, 2021 [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <https://www.engardebodyarmor.com/concealable-armor-deluxe-series/>
- [61] 3d rendering front and back view of an anatomical man with internal organs view isolated on white. In: Avopix [online]. Mountain View: Creative Commons, 2021 [cit.

2021-05-05]. Dostupné z: <https://avopix.com/premium-photo/498354262-shutterstock-3d-rendering-front-and-back-view-of-an>

[62] Safety Standards for Police Body Armour. UK, 2000. Thesis. University of Birmingham Research Archive.

[63] Lorei, C. (2001): Das Tragen von Schutzwesten bei der Polizei. In *Polizei & Wissenschaft* (1), pp. 13–39.

[64] EGRES, R. G., M. J. DECKER, C. J. HALBACH, Y. S. LEE, J. E. KIRKWOOD, K. M. KIRKWOOD, N. J. WAGNER a E. D. WETZEL. STAB RESISTANCE OF SHEAR THICKENING FLUID (STF)–KEVLAR COMPOSITES FOR BODY ARMOR APPLICATIONS. In: *Transformational Science and Technology for the Current and Future Force* [online]. WORLD SCIENTIFIC, 2006, s. 264-271 [cit. 2021-05-05]. ISBN 978-981-270-201-2. Dostupné z: [doi:10.1142/9789812772572_0034](https://doi.org/10.1142/9789812772572_0034)

10 SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|--|----|
| Obrázek 1: Horizontální, diagonální a vertikální linie | 13 |
| Obrázek 2: Úhly útoků v bojovém systému Eskrima | 13 |
| Obrázek 3: Přímý vpich v horizontální linii v kordovém úchopu | 14 |
| Obrázek 4: Forehandový vpich po diagonále na klíční kost v standardním uchopení. ... | 15 |
| Obrázek 5: Vpich ze spodu nahoru ve vertikální linii ve standardním uchopení | 15 |
| Obrázek 6: Forehandový vpich v horizontální linii ve standardním uchopení..... | 16 |
| Obrázek 7: Vpich shora dolu v reverzním šavlovém uchopení | 16 |
| Obrázek 8: Nůž | 18 |
| Obrázek 9: Improvizovaná bodná zbraň (zbroúšená ocelová tyč)..... | 18 |
| Obrázek 10: Tvary čepelí | 20 |
| Obrázek 11: Fáze pronikání zbraně během bodnutí..... | 22 |
| Obrázek 12: Schéma osnovy (1) se zatkávaným útkem (2) - zvlnění materiálu..... | 24 |
| Obrázek 13: Druhy tkaných vazeb | 25 |
| Obrázek 14: Jednosměrná (UD) tkanina | 25 |
| Obrázek 15: STF – nahoře roztok v rovnováze, dole zhuštěná kapaliny | 26 |
| Obrázek 16: Chemická stavba Kevlaru | 27 |
| Obrázek 17: Chemická stavba UHMWPE ($n > 100000$) | 28 |
| Obrázek 18: Chemická stavba PBO | 29 |
| Obrázek 19: Tabulka na výpočet hmotnosti segmentu dle Zaciorského a Selujanova.... | 33 |
| Obrázek 20: Kategorie ochranných vest proti hrozbám | 42 |
| Obrázek 21: Testovací zařízení pro zkoušku odolnosti materiálu..... | 42 |
| Obrázek 22: Testovací zařízení pro testování odolnosti materiálu | 44 |
| Obrázek 31: Rozměry čepele pro zkoušku odolnosti materiálu | 44 |
| Obrázek 24: Testovací zařízení pro testování odolnosti materiálu | 50 |
| Obrázek 25: Statistika trestných činů způsobených bodnými zbraněmi v Londýně | 52 |
| Obrázek 26: Rozmístění kamer z pohledu Vicon Nexus 2.70 v laboratoři FBMI..... | 61 |
| Obrázek 27: Rozmístění reflektivních markeru podle modelu | 62 |

| | |
|---|----|
| Obrázek 28: Ukázka bodu o souřadnici (x,y,z) v kartézské soustavě souřadnic | 63 |
| Obrázek 29: Načtení naměřených dat v programu Vicon Nexus 2.70..... | 65 |
| Obrázek 30: Načtená naměřená data v programu Vicon Nexus 2.70 | 65 |
| Obrázek 31: Založení subjektu | 66 |
| Obrázek 32: Pojmenování subjektu | 66 |
| Obrázek 33: Příprava subjektu | 67 |
| Obrázek 34: Vytváření segmentu | 67 |
| Obrázek 35: Vytvoření hrudního segmentu | 68 |
| Obrázek 36: Body (markery) pro hrudní segment | 68 |
| Obrázek 37: Pojmenování bodu (markeru) hrudního segmentu | 69 |
| Obrázek 38: Body (markery) na vyčištění | 70 |
| Obrázek 39: Předdefinované body (markery) z vytvořeného modelu | 70 |
| Obrázek 40: Přiřazení jednotlivých bodů k příslušným tělesným segmentům..... | 71 |
| Obrázek 41: Přiřazený bod (marker) LFCC | 71 |
| Obrázek 42: Ukládání dat ve formátu c3d | 72 |
| Obrázek 43: Načtení dat pro vytvoření modelu | 73 |
| Obrázek 44: Vytvoření virtuálního markeru | 75 |
| Obrázek 45: Vytváření segmentu pánve | 75 |
| Obrázek 46: Vytvořený segment pánev | 76 |
| Obrázek 47: Vytvořený celý model..... | 76 |
| Obrázek 48: Záložka "LINK_MODEL_BASED"..... | 77 |
| Obrázek 49: Data rychlosti segmentu..... | 77 |
| Obrázek 50: Data exportovaná do tabulkového procesoru Microsoft Excel | 78 |
| Obrázek 51: Graf výsledné kinetické energie vpichu shora dolu proband 1. | 78 |
| Obrázek 52: Tvrdá ochranná maska s přidaným plátem od firmy Chowey..... | 80 |
| Obrázek 53: Ochranné vesta od firmy Safeguard clothing | 81 |
| Obrázek 54: Ochranná vesta od firmy PPSS. | 81 |
| Obrázek 55: Ochranná vesta od firmy | 82 |
| Obrázek 25: Ochranná vesta od firmy PGD | 83 |

| | |
|--|----|
| Obrázek 57: Ochranná vesta TurtleSkin s MFA vložkou..... | 83 |
| Obrázek 58: Nosič Deluxe (vlevo) a plát Titanin (vpravo)..... | 84 |
| Obrázek 59: Tabulka odpovědí respondentů – polostrukturovaný rozhovor..... | 92 |
| Obrázek 60: Ochranná pásma podle stupně ochrany..... | 95 |

11 SEZNAM TABULEK

| | |
|--|----|
| Tabulka 1: Typy vláken a jejich vlastnost | 27 |
| Tabulka 2: Hmotnosti jednotlivých segmentů k vzhledem hmotnosti těla..... | 36 |
| Tabulka 3: Výsledky naměřené během první fáze | 36 |
| Tabulka 4: Výsledky naměřené v průběhu druhé fáze siloměrným nožem | 37 |
| Tabulka 5: Výsledky testování..... | 37 |
| Tabulka 6: Úrovně ochrany..... | 41 |
| Tabulka 7: Úroveň ochrany..... | 43 |
| Tabulka 8: Klasifikace a zkušební podmínky pro nůž..... | 45 |
| Tabulka 9: Klasifikace a zkušební podmínky pro hřebík..... | 46 |
| Tabulka 10: Klasifikace a zkušební podmínky pro jehlu | 47 |
| Tabulka 11: Klasifikace a zkušební podmínky pro náraz. | 47 |
| Tabulka 12: Rozdělení zkoušky TON | 48 |
| Tabulka 13: Parametry nože podle druhu nože..... | 50 |
| Tabulka 14: Třídy odolnosti | 50 |
| Tabulka 15: Parametry improvizovaných bodných zbraní | 56 |
| Tabulka 16: Seznam probandů | 60 |
| Tabulka 17: Nejčastější typy útoků | 63 |
| Tabulka 18: Hmotností koeficienty pro výpočet hmotnosti jednotlivých segmentů..... | 74 |
| Tabulka 19: Ochranné vesty dostupné na internetovém obchodě | 79 |
| Tabulka 20: Vlastnosti ochranné vesty | 80 |
| Tabulka 21: Vlastnosti ochranné vesty | 80 |
| Tabulka 22: Vlastnosti ochranné vesty | 81 |
| Tabulka 23: Vlastnosti ochranné vesty | 82 |
| Tabulka 24: Vlastnosti ochranné vesty | 82 |
| Tabulka 25: Vlastnosti ochranné vesty | 83 |
| Tabulka 26: Vlastnosti ochranné vesty (plát Titanskin a nosič Deluxe)..... | 84 |
| Tabulka 27: Stanovení váhy kritéria podle metody pořadí | 86 |

| | |
|--|----|
| Tabulka 28: Kriteriaální matice s maximalizačními kritérii | 87 |
| Tabulka 29: Výsledná matice pro porovnání variant a nejlepší výběr z nich | 88 |
| Tabulka 30: Zvolené základní parametry, vlastní zpracován. | 90 |
| Tabulka 31: Porovnání podmínek měření dle jednotlivých norem, vlastní zpracování. .. | 91 |
| Tabulka 32: Výsledky z měření, zpracování vlastní | 94 |
| Tabulka 33: Srovnání parametru ochranných vest 1 a 2 | 95 |

12 SEZNAM PŘÍLOH

| | |
|--|-----|
| Příloha 1 Odpovědi na polostrukturovaný rozhovor | 125 |
| Příloha 2 Grafy znázorňující podíl útoku v závislosti na lokaci a podíl útoku v závislosti na policejní činnosti | 128 |

- **Strážníci Městské policie – Praha**

Odpovědi na otázku č. 1

Podle strážníků, by 2 nejčastější útoky bodnou zbraní byly do oblasti krku, zejména na krční tepnu, neboť tato oblast většinou není dostatečně chráněna, a přímé bodnutí do oblasti břicha, trupu.

Odpověď na otázku č. 2

Nikde nejsou názvy bodných útok konkrétně definovány. Bylo mi doporučeno si vyhledat učení Krav Magy, zda tam nebudou blíže specifikovány jednotlivé útoky.

Odpověď na otázku č. 3

Obloukový úder do oblasti hlavy a přímý úder do oblasti břicha, trupu.

Odpověď na otázku č. 4

Jak už bylo řečeno, nejpravděpodobnější zasaženou oblastí by podle strážníků byla oblast krku (krční tepna) a oblast břicha a trupu.

- **Příslušník vězeňské služby**

Odpověď na otázku č. 1

Podle příslušníka vězeňské služby by se jednalo o útoky do oblasti trupu, břicha vedené na krátkou vzdálenost, tzv. skryté útoky, přičemž by se jednalo o přímé útoky opakující se rychle za sebou, tzv. šicí stroj, nebo vpich zespoda nahoru, tzv. rozpárání.

Odpověď na otázku č. 2

Ani podle příslušníka vězeňské služby nejsou tyto útoky někde klasifikovány. Názvy útoků vycházejí podle způsobu provedení, přičemž pro klasifikaci útoků využívá slangové výrazy jako „dolní a horní hák“, „backfist“ atd.

Odpověď na otázku č. 3

Odpověď na tuto otázku korespondovala s odpovědí na první otázku. Jednalo by se o útoky vedené na krátkou vzdálenost nejčastěji do oblasti trupu a břicha.

Odpověď na otázku č. 4

Nejzaraženější oblastí by byla oblast břicha a trupu, tzv. střední pásmo.

- **Příslušník PČR**

Odpověď na otázku č. 1

Podle příslušníka PČR by nejčastější útoky bodnou zbraní byly vedeny zespoda nahoru, tzv. rozpárání, do oblasti břicha a obloukový úder na ledviny.

Odpověď na otázku č. 2

Na tuhle otázku byla podobná odpověď jako u předchozích respondentů, načež mi bylo doporučeno vyhledat si moderní bojový systém MUSADO, kde by mohly být tyto útoky klasifikovány a podrobně vysvětleny.

Odpověď na otázku č. 3

Na tuto otázku respondent na rozdíl od předchozích odpověděl zcela odlišně. Z vycházející zkušenosti, by se jednalo o útoky vedené shora dolů, obloukové útoky do oblasti břicha nebo útoky prováděné za sebe v procesu zadržování útočníka. Dále respondent uvádí, že útoky jsou vedeny nejčastěji na krátkou vzdálenost a jsou neočekávané. Také uvádí, že civilisti vychází z teorie, čím víc ran zasadí, tím větší bude zranění.

Odpověď na otázku č. 4

Podle respondenta by nejzasaženější oblasti na těle byly oblasti břicha, trupu, ledvin a krku.

- **Instruktoři AČR pro výcvik boje zblízka**

Odpověď na otázku č. 1

Podle instruktorů AČR pro výcvik boje zblízka, by na způsobu útoku tolik nezáleželo, jako spíš na cíli útoku. Nejzranitelnější a také nedostatečně chráněnou oblastí je oblast krku a hlavy, tudíž by se jednalo o útoky vedené právě na tuto oblast. Mezi takové útoky patří vpichy shora dolu, horizontální obloukové vpichy, přičemž úchop zbraně může být jak klasický či reverzní. Dále nezáleží ani tak na vynaložení velkého úsilí během útoku jako spíš o rychlost provedení. Bodné zbraně mají ve většině případů ostrý hrot, tudíž není zapotřebí vynaložit tolik energie, aby zbraň pronikla přes ochrannou vestu do těla.

Odpověď na otázku č. 2

Na tuto otázku mi respondenti odpověděli podobně jako předchozí respondenti. Oficiální názvy těchto útoků se neuvádějí, přičemž názvy jednotlivých typů útoku jsou odvozeny od způsobu provedení.

Odpověď na otázku č. 3

Podle respondentů by se jednalo převážně o tzv. dlouhé útoky s velkým náprahem, mezi ně patří vpichy shora dolů. Podle respondentů by se převážně jednalo o osoby nemající žádný výcvik v boji s bodnou zbraní, tudíž by útočící osoba vedla útoky s velkým náprahem.

Odpověď na otázku č. 4

Nejzasazenější oblastí na těle by byla podle respondentů v obou případech oblast hlavy, krku.

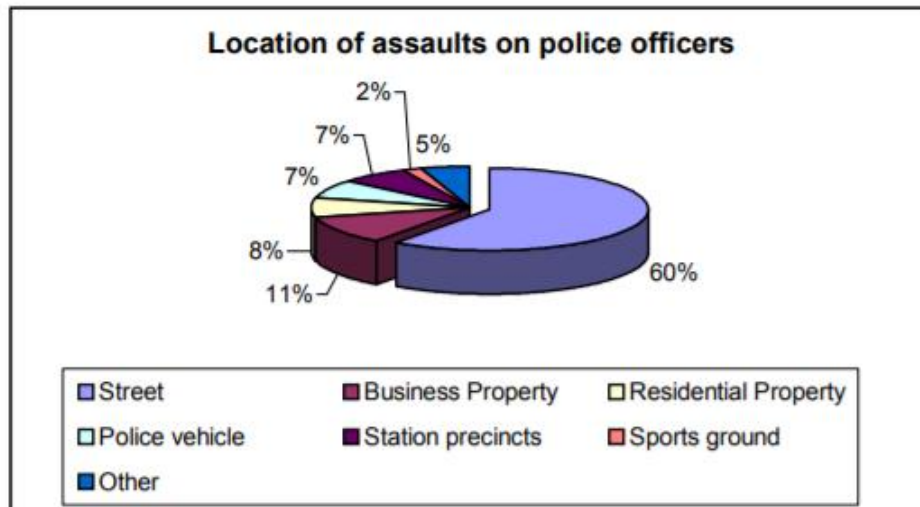


Figure 8: Location of assaults on police officers

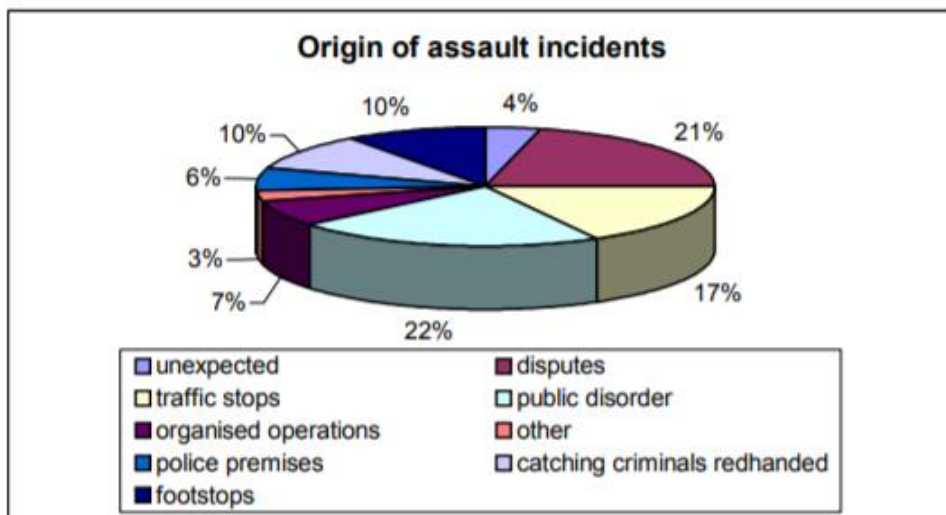


Figure 9: The type of police activity at the time of assault