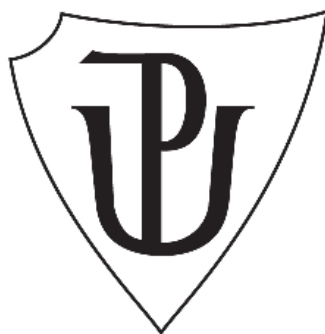


UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA GEOLOGIE



VÝROBA A MECHANICKÉ VLASTNOSTI
OBSIDIÁNOVÝCH CHIRURGICKÝCH SKALPELŮ

Diplomová práce

Bc. SABINA KUČEROVÁ

Environmentální geologie
prezenční studium

Vedoucí práce: Mgr. Martin Moník, PhD.

Konzultanti: Ing. Hynek Hadraba, PhD., doc. Mgr. Petr Neruda, PhD.

Olomouc 2022

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: Bc. Sabina Kučerová

Název práce: Výroba a mechanické vlastnosti obsidiánových chirurgických skalpelů

Typ práce: diplomová

Pracoviště: Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra geologie

Vedoucí práce: Mgr. Martin Moník, PhD.

Rok obhajoby: 2022

Abstrakt:

Tato diplomová práce je zaměřená na výrobu a testování mechanických vlastností chirurgických skalpelů, k jejichž výrobě byl použit slovenský obsidián z lokalit Viničky a Cejkov. K porovnání mechanických vlastností byly využity čepele z tureckého obsidiánu, baltského pazourku a také skalpely z chirurgické oceli. Rešeršní část se zaměřuje na zdrojové lokality obsidiánů ze Zemplínských vrchů, popisuje kritéria kvality a mechanické vlastnosti obsidiánů a využití obsidiánu v chirurgii. V práci je dále popsána výroba čepelí z kamenné suroviny a je zde dopodrobna rozebrána ostrost jako mechanická vlastnost a metody jejího měření.

K posouzení ostrosti čepelí bylo provedeno experimentální řezání do hovězí kůže pomocí robotické paže, měření ostrosti pomocí digitální váhy a měření úhlu ostří. Slovenský obsidián se ukázal jako teoreticky použitelný v chirurgii, ale o mnoho lepší by byl v případě využití až decimetrových bloků suroviny, které byly na výchozech dostupné pouze v pravěku.

Klíčová slova: obsidián, měření ostrosti, mechanika hornin, štípané horniny, Zemplínské vrchy

Počet stran: 55

Počet příloh: 4

Jazyk: český

Bibliographical identification:

Author's first name and surname: Bc. Sabina Kučerová

Title: Production and mechanical properties of obsidian surgical scalpels

Type of thesis: Master

Institution: Palacký University in Olomouc, Faculty of Science, Dep. of Geology

Supervisor: Mgr. Martin Moník, PhD.

The year of presentation: 2022

Abstract:

This thesis is focused on the production and testing of mechanical properties of surgical scalpels, for the production of which was used Slovakian obsidian from Viničky and Cejkov localities. These locations played an important role in the prehistory of Central Europe. To compare the mechanical properties, blades made of Turkish obsidian, Baltic flint and scalpels made of surgical steel were used. The recherche focuses on the source locations of obsidians from Zemplínské vrchy Mountains, describes the criteria of quality and mechanical properties of obsidian and the use of obsidian in surgery. The work also describes the production of blades from stone raw materials, and discusses sharpness as a mechanical feature and the methods of its measurement.

To assess the sharpness of the blades, experimental cutting into cowhide using a robotic arm, sharpness measurement using a digital scale, and blade angle measurement were conducted. Slovakian obsidian proved to be theoretically usable in surgery, but it would be much better if decimeter-size blocks of this raw material, which were only available in the outcrops in prehistoric times, were available.

Keywords: obsidian, sharpness measurement, rock mechanics, knapped stone, Zemplínské vrchy Mts.

Number of pages: 55

Number of appendices: 4

Language: Czech

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem „Výroba a mechanické vlastnosti obsidiánových chirurgických skalpelů“ vypracovala samostatně, pod odborným dohledem vedoucího práce za použití odborné literatury, kterou řádně cituji a uvádím v seznamu použité literatury.

Sabina Kučerová

V Olomouci dne

Poděkování

Poděkování patří především mému vedoucímu práce, panu Mgr. Martinu Moníkovi, Ph.D. za cenné rady, vstřícný přístup a trpělivost. Dále bych ráda poděkovala konzultantům práce, panu doc. Mgr. Petru Nerudovi, Ph.D., za výrobu experimentálních čepelí, a panu Ing. Hynku Hadrabovi, Ph.D. za zhotovení obrázků povrchové drsnosti, získání dat z experimentálního řezání do hovězí kůže a také za přepočty úhlu ostří. Další poděkování patří panu Ing. Alešovi Pochylému za možnost využití robotické paže a uskutečnění experimentálních řezů. V neposlední řadě bych ráda poděkovala svojí rodině a blízkým přátelům za podporu při psaní této práce. Tato diplomová práce byla podpořena projektem IGA_PrF_2020_017

Obsah

1.	Úvod a cíle práce	8
2.	Obsidiány ze Zemplínských vrchů a jejich okolí	9
2.1	Geomorfologie Zemplínských vrchů	9
2.2	Geologie Zemplínských vrchů	9
2.3	Primární zdroje obsidiánů	10
2.3.1	Viničky	12
2.3.2	Malá a Velká Bara.....	13
2.3.3	Streda nad Bodrogom	14
2.4	Sekundární zdroje obsidiánů.....	14
2.4.1	Cejkov	14
2.4.2	Brehov	15
3.	Využití obsidiánu v moderní chirurgii	16
4.	Mechanické vlastnosti štípatelných hornin	17
4.1	Ostrost a metody jejího měření	17
4.1.1	Geometrické metody	19
4.1.1.1	Rastrovací elektronová mikroskopie (SEM)	19
4.1.1.2	Konfokální mikroskopie.....	20
4.1.1.3	Mikroskopie atomárních sil (AFM).....	20
4.1.1.4	Laserový goniometr	21
4.1.1.5	Další zařízení k měření ostrosti	21
4.1.2.	Mechanické metody.....	22
4.1.2.1	Mechanické testery ostrosti	22
4.1.2.2	Přístroj k testování materiálů v tahu.....	23
4.1.2.3	Experimentální testery ostrosti.....	23
4.1.2.4	Další experimentální testy	24
4.2	Další kritéria kvality štípatelných hornin.....	24
4.2.1	Homogenita a izotropie	24
4.2.2	Odolnost hrany.....	25
4.2.3	Křehkost	25
4.2.4	Pórovitost.....	26
4.2.5	Předvídatelnost lomu.....	26
4.2.6	Krystalinita	26
5.	Výroba obsidiánových čepelí a typy štípání	28
5.1	Parametry čepelí	28

5.2 Štípání pomocí tlaku.....	29
5.3 Štípání pomocí úderu	30
5.3.1 Štípání přímým úderem	30
5.3.2 Štípání nepřímým úderem	30
6. Metodika	31
7. Výsledky	34
7.1 Experimentální řezání do hovězí kůže pomocí robotické paže	34
7.2 Měření ostrosti čepelí pomocí digitální váhy	35
7.3 Měření úhlu ostří pomocí šupléry	37
8. Diskuze	40
9. Závěr.....	42
10. Seznam zkratek	43
11. Seznam použité literatury	44
Přílohy	51

1. Úvod a cíle práce

Obsidián byl v průběhu historie využíván především v podobě řezných nástrojů a díky své výjimečné ostrosti našel své uplatnění i v moderní chirurgii (McIlrath, 1984; Buck, 1982). Ve střední Evropě se obsidiány přirozeně vyskytují pouze na Slovensku a v severním Maďarsku, další evropské výchozy jsou známy z Itálie, Řecka nebo Turecka (Přichystal, 2009). Zejména obsidiánová surovina ze slovenské lokality u Cejkova sloužila k výrobě čepelí a úštěpů v pravěku střední Evropy (Přichystal – Škrdla, 2014). Tato diplomová práce (DP) se zaměřuje na posouzení vhodnosti obsidiánu z jihovýchodního Slovenska z lokality Viničky a Cejkov k výrobě chirurgických skalpelů a na posouzení jeho vybraných mechanických vlastností. Metody použité v mé bakalářské práci (Kučerová, 2018), zejména makro – a mikroskopické, příliš neukazovaly na výjimečnost slovenských obsidiánů, např. co se týče ostrosti. Přesto, nebo právě proto, jsem se rozhodla je doplnit dalšími metodami, zejména mechanickými, které by mohly vyřešit otázku, zda jsou tyto obsidiány v chirurgii využitelné podobně jako obsidiány používané některými soukromými chirurgy v USA i jinde (viz dále). Mnou zvolený postup použití robotické paže je přitom unikátní v daném typu výzkumu, takže i v případě získání negativních, ale smysluplných výsledků jej bude možné použít pro testování dalších štípatelných surovin.

Cílem rešeršní části DP bylo popsání metod výroby obsidiánových čepelí, stručné shrnutí využití obsidiánu v moderní chirurgii, zpracování kritérií kvality štípané suroviny a mechanických vlastností obsidiánových čepelí s důrazem na ostrost a popis metod využívaných k testování ostrosti. V rešerši byly taktéž popsány primární a sekundární zdroje obsidiánů ze Zemplínských vrchů na východním Slovensku. Prvním cílem laboratorní části DP byla experimentální výroba obsidiánových a pazourkových čepelí pomocí metody tlakového štípání (např. Inizan et al., 1999). Dalším cílem bylo testování mechanických a jiných vlastností těchto čepelí, jako je šířka a úhel ostří, povrchová drsnost a ostrost. Obsidiánové skalpely byly u všech testů porovnávány s pazourkovými čepelími a skalpely z chirurgické oceli. Shrnutí výsledků nakonec umožnilo posouzení vhodnosti východoslovenského obsidiánu k výrobě skalpelů pro použití v chirurgii, což je kriticky zhodnoceno v diskuzi a závěru práce.

2. Obsidiány ze Zemplínských vrchů a jejich okolí

Malé pohoří Zemplínské vrchy se nachází v JV části Slovenska. Jedná se o menší miocenní vulkanický komplex, jehož velikost činí 14 x 6 km (Přichystal, 2009). V pravěké střední Evropě byly Zemplínské vrchy stěžejním zdrojem obsidiánové suroviny. Několik dekad převládal názor, že místní lokalita Viničky hrála v získávání obsidiánu nejvýznamnější roli. V roce 2014 však bylo zjištěno, že zřejmě nejdůležitějším pravěkým primárním zdrojem obsidiánů byla oblast Velkého vrchu u Brehova. Další důležitý zdroj sekundárního charakteru se nachází okolí říčky Ošvy, která leží mezi obcemi Cejkov, Brehov a Zemplín (Přichystal – Škrdla, 2014).

2.1 Geomorfologie Zemplínských vrchů

Nejvyšším vrcholem Zemplínských vrchů je Rozhl'adňa s výškou 469 m n. m. Zemplínské vrchy mají středně členitý reliéf, který se ostře zdvihá nad Východoslovenskou nížinou (Baňácký et al., 1989). Východoslovenská nížina, jejíž nadřazenou jednotkou je Panonská pánev, se dělí na Východoslovenskou rovinu, jež omezuje Zemplínské vrchy na severu a východě, a na Východoslovenskou pahorkatinu, která je omezuje na západě. Na jihu jsou Zemplínské vrchy odděleny od maďarských Tokajsko – zemplínských vrchů (maď. Zempléni-Hegység) tzv. Roňavskou bránou, což je úzká příkopová propadlina (Přichystal, 2009).

2.2 Geologie Zemplínských vrchů

Z regionálně – geologického hlediska spadá oblast Zemplínských vrchů k celku zvaném Vnitřní Západní Karpaty, konkrétně k tzv. neovulkanitům zemplinika, známého také jako zemplínské pásmo (Baňácký et al., 1989). Střed zemplinika je tvořen horninami mladšího paleozoika a mezozoika, které jsou po okrajích „obaleny“ neogenními vulkanity. Jihozápadní část zemplinika obsahuje ryolity a pyroklastika ryolitového složení, jejichž stáčí je svrchnobadenské a spodnosarmatské. K těmto horninám se vážou i obsidiány (obr.1) (Přichystal – Škrdla, 2014).

V Zemplínských vrších a jejich okolí se nachází několik lokalit s přirozeným výskytem obsidiánu. Toto přírodní sklo se vyskytuje v jižní části tohoto horského komplexu. Obsidiány zde byly poprvé zmíněny již v roce 1791 Johannem Ehrenreich von Fichtelem (Janšák, 1935). Výskyty obsidiánů jsou geneticky spojovány s produkty kyselého vulkanismu, který je součástí bimodální andezit-ryolitové vulkanické činnosti,

kteřá proběhla v období svrchního badenu až spodního panonu. Toto sopečné sklo vzniklo z andezitového až ryolitového magmatu (Lexa – Kaličiak, 2000). Spolu s obsidiány se zde nachází další produkty silikátového vulkanismu, jako jsou tufy, pemzy, opracované epiklastické vulkanické horniny a vzácně také intruze. Ve velké míře se zde nachází extruzivní dómy, jež mohou přecházet do krátkých hustých lánových proudů (Bačo et al., 2017).

Vyskytují se zde jak zdrojové, tak i archeologické lokality s obsidiány. V tomto menším pohoří a jeho okolí se po desetiletí uváděly celkem čtyři přírodní zdroje obsidiánů. Jednalo se o Viničky, Malou Baru, Velkou Baru a Středu nad Bodrogom (Kaminská – Ďuďa ,1985). V současnosti se uvádí také lokality v okolí Cejkova a Brehova. Obsidiány z lokality Viničky, Malá Bara, Velká Bara a Středa nad Bodrogom jsou až na pár výjimek makroskopicky téměř shodné (Kaminská – Ďuďa, 1985), naopak obsidiány z lokality u Cejkova a Brehova se od zbytku zemplínských obsidiánů svým vzhledem liší.

2.3 Primární zdroje obsidiánů


Primární neboli autochtonní zdroje jsou takové zdroje, kde daná hornina vznikla (Bačo et al., 2017). Mezi primární zdroje obsidiánů ze Zemplínských vrchů se řadí lokality Viničky, Malá Bara, Velká Bara a Středa nad Bodrogom (Přichystal, 2009).

STRUKTURNÍ VULKANOLOGICKÉ SCHÉMA ZEMPLÍNSKÝCH VRCHŮ


TERCIÉR


Neogén

Panon


 Formace Senné

Sřediní a svrchní sarmat


 Formace Tokaj: ryolitové tufy,

 Formace Kochanovce: jíly, tufy, tufty


Sřediní Sarmat

 Ryolitová extruze s přechodem


do lávového proudu

 Sklovitá ryolitová brekcie


s perlitem a obsidiánem

 Ryolitová epiklastika

a redepozitované tufy


 Extruze porfyrického ryodacitu


Spodní a střední Sarmat

 Formace Stretava: jíly


s ryolitovými tufy a tufty

Spodní Sarmat

 Bentonitizované ryolitové tufy


 Extruzivní andezity


 Andezitová láva a brekcie

 Hyaloklastická andezitová brekcie

Svrchní Baden

 a) Rhyodacitové tufy

 b) Extruze a lávové proudy

 Formace Lastomír: jíly, jílovce,


tufty

Sřediní Baden

 Formace Vranov: jílovce a

pískovce

Spodní Baden


 Formace Nižný Hrabovec:

pískovce, prachovce

MEZOZOIKUM

Zemplinikum

Sřediní Trias

 Vápence a dolomitické

vápence


Spodní Trias

 Pískovce

PALEOZOIKUM


Zemplínská skupina

Svrchní Perm

 Formace Čemočov:


červenohnědé jílovce

Spodní Perm

 Formace Cejkov:


pískovce, konglomeráty

Stefan - Spodní Perm

 Formace Kašov: pískovce,


pisčité břidlice

Stefan


 Uhelné pískovce, ryolitové


ignimbrity

Stefan A - Stefan B

 Konglomeráty


Westfal D - Stefan A


 Konglomeráty


































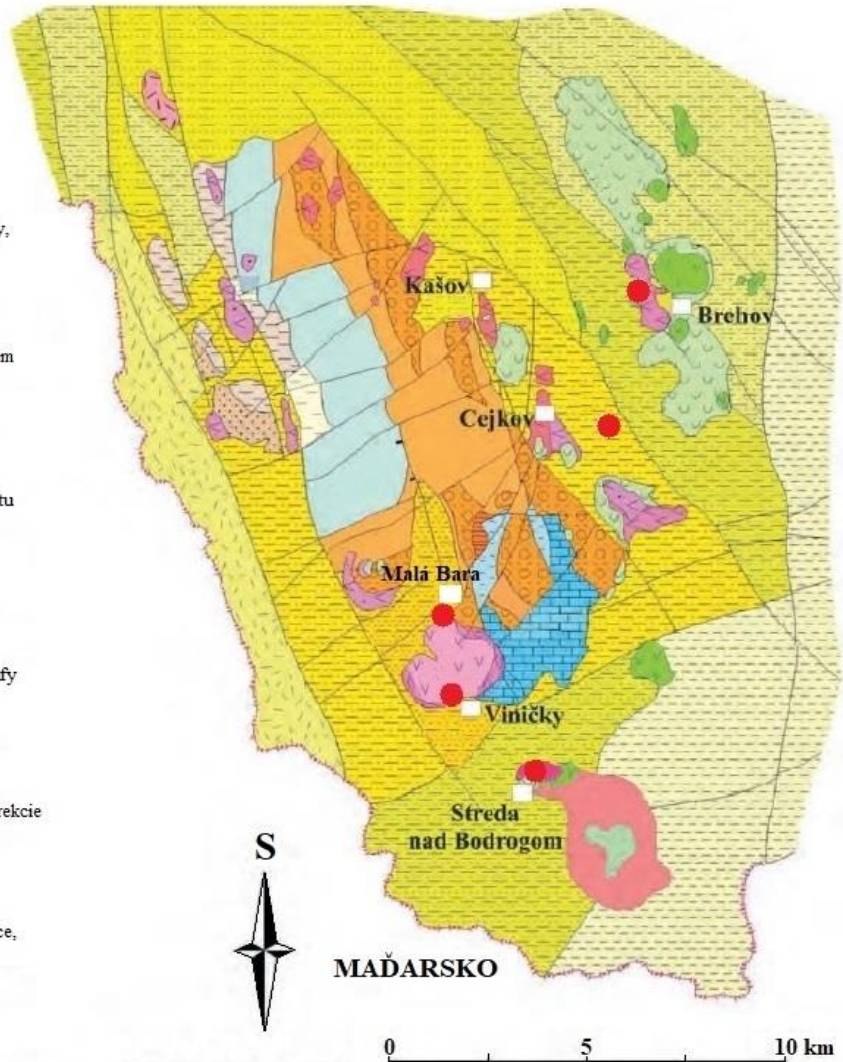












MAĎARSKO



Obr.1 Strukturní vulkanologické schéma Zemplínských vrchů (dle Vass et al., 1991).

2.3.1 Viničky

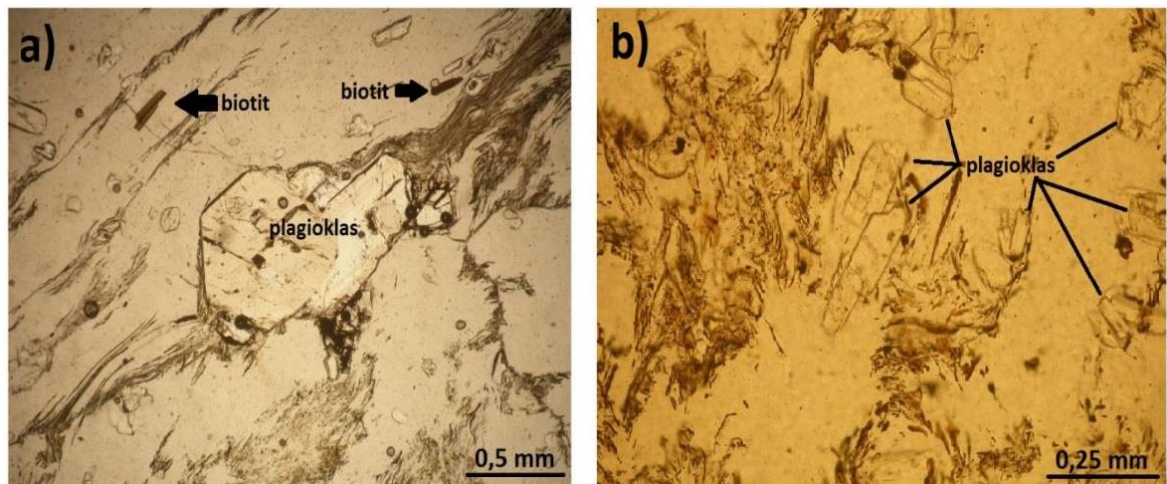
Viničky, maďarsky známé jako Szölöske, jsou obec nacházející se v JV části Slovenska v Košickém kraji, konkrétně v okrese Trebišov. Leží v JV výběžku Zemplínských vrchů. Lokalita s přírodním zdrojem obsidiánu se nachází v severní části této obce na pozemku místního vinohradu (obr.2). Obsidiány z Viniček pochází z okrajové části ryolitového tělesa, konkrétně z dómu, který se nazývá Borsuk (příloha 1, obr.1 a). Obsidiánová surovina zde vystupuje z výchozů na dvou místech. Není dosud známo, jestli je tato okrajová část přímou součástí extruzivního dómu nebo se jedná pouze o extruzivní tok. Místní obsidiány se zde vyskytují spolu s perlitem, nejčastěji v podobě obsidiánových nodulí, které jsou perlitem obklopeny (Bačo et al., 2017).



Obr. 2 Pohled na vinici s nalezištěm obsidiánů ve Viničkách (Kučerová, 2017).

Obsidiány z Viniček se nachází na území místní vinice situované na západním okraji obce, kde jsou rovnoměrně rozšířeny po celé její ploše. Drobné, polyedricky tvarované obsidiány se svojí velikostí dají nejčastěji přirovnat k lískovému až vlašskému ořechu, tedy velikostně mají cca 1 až 5 cm. Je odtud zaznamenán i nález větších kusů kolem 10 až 12 cm (Kaminská – Ďud’a, 1985) a dokonce i 20 cm, jedná se však o výjimku (Přichystal, Škrdla 2014). Zbarvení zdejších obsidiánů je černé, téměř neprůsvitné, avšak v drobných úlomcích či na okrajích prosvítají do šedočerné barvy (Přichystal, 2009). Povrch vyvětralých obsidiánů je hladký a lesklý (Přichystal – Škrdla, 2014). Dále je povrch bez skulptace, jelikož jejich původ není z tufů, ale z rozpadlých perlitických těles

(Kamiská – Ďuďa, 1985). Z mikroskopického hlediska má tento obsidián výraznou fluidální texturu. Sklo je vcelku homogenní, jen místy se vyskytují vyrostlice plagioklasu a biotitu (obr. 3). Dále se zde hojně nachází jehlicovité a hvězdicovité trichity a mikrolity (např. Kučerová, 2018). Švecová (2011) uvádí navíc i pyroxen, konkrétně ortopyroxen enstatit a draselné živce sanidin a anortoklas.



Obr.3 a) Zrna biotitů a plagioklasů v režimu PPL, b) Zrna plagioklasů v režimu PPL (Kučerová, 2018).

Viničky byly desítky let považovány za hlavní zdroj obsidiánu v pravěku pro střední Evropu. Nicméně, několik badatelů v průběhu roků zaznamenalo, že se obsidiánová surovina z Viniček svým vzhledem podstatně liší od štípaných obsidiánových artefaktů z Cejkova, Kašova apod. Jedni z prvních autorů, kteří se o této problematice zmínili ve své práci, byli geologové B. Bouček a A. Příbyl v první polovině 50. let minulého století. Ti během mapování Zemplínských vrchů narazili na obsidiány o váze až 1 kg, které podle nich nemohli mít původ ve Viničkách, ale z jiné lokality, která jim nebyla známa (Přichystal – Škrdla, 2014).

2.3.2 Malá a Velká Bara

Obsidiánové lokality Malá a Velká Bara byly pojmenovány po dvou obcích, které byly v minulosti samostatné. V roce 1960 došlo k jejich sloučení a vznikla jedna obec jménem Bara. Tato obec se nachází na JV Slovenska a spadá do okresu Trebišov v Košickém kraji. Lokalita Malá Bara se nachází zhruba 300 až 500 m jižně od obce Bara. Obsidiány z této lokality jsou vázány na stejné ryolitové těleso, jako obsidiány z Viniček. Obsidiány jsou makroskopicky téměř shodné s obsidiány z Viniček, bývá na nich však častěji přítomná perlitová kůra. Jedná se o menší polyedry šedočerné až černé barvy, které nejčastěji dosahují velikosti do 5 cm. Zřídka se vyskytují i kusy o velikosti až kolem 15

cm. Povrch obsidiánů je hladký a lesklý bez přítomnosti skulptace. Mikroskopicky lze pozorovat fluidální texturu s častými mikrolity biotitu, plagioklasu, zirkonu, pyroxenu či granátů. Oproti obsidiánům z Viniček je zde vyšší koncentrace plagioklasu a granátů; plagioklas má z obou lokalit stejný petrografický charakter (Kaminská – Ďud'a, 1985).

Zájmová lokalita Veľká Bara – kóta Piliš je situovaná směrem na západ od obce Bara. Obsidiány se zde vyskytují v ryolitových pyroklastikách. Surovina je bez povrchové skulptace (Kaminská – Ďud'a, 1985).

2.3.3 Streda nad Bodrogom

Obec Streda nad Bodrogom leží v okrese Trebišov v Košickém kraji. Lokalita s obsidiánovou surovinou leží směrem na západ od obce a vytváří morfologickou vyvýšeninu. Tato vyvýšenina je tvořena ryolity a ryolitovými pyroklastiky, jejichž stáří je datováno do svrchního badenu až spodního sarmatu. Výskyty obsidiánů jsou vázány na produkty kyselého vulkanismu. Obsidiány z této lokality jsou velké zhruba 1 až 2 cm, vzácně se zde nachází až 10 cm velká jádra. Povrch obsidiánů je hladký a lesklý, skulptace zde chybí. Typickým rysem obsidiánů z této lokality je perlitová kůra na jejich povrchu. Takovéto obsidiány se označují jako tzv. marekanity (Kaminská – Ďud'a, 1985).

2.4 Sekundární zdroje obsidiánů

Sekundární zdroj obsidiánů je zdroj, kde vznik obsidiánů není vázán na místo, na kterém se vyskytují. Mezi sekundární zdroj obsidiánů ze Zemplínských vrchů patří lokalita u obce Cejkov a Brehov (Bačo et al., 2017).

2.4.1 Cejkov

Obec Cejkov, maďarsky Céke, se nachází v JV části Slovenska. Leží v okrese Trebišov v Košickém kraji. Lokalita s názvem Malé lúky – Žihľavník se nachází SV od obce Cejkov, konkrétně se jedná se o louku ležící naproti bývalého areálu JZD (obr.4). Celková výměra lokality, kde se obsidiány nachází, činí cca 6km² (Přichystal – Škrdla, 2014). Podle Janšáka (1935) je tato lokalita jedna z nejbohatších nalezišť obsidiánů na východě Slovenska. Geomorfologicky spadá tato oblast pod východoslovenskou nížinu, konkrétně východoslovenskou rovinu. Tato lokalita je v práci Přichystala a Škrdly (2014) pojmenovaná jako Cejkov – Brehov – Zemplín, jelikož se nachází zhruba uprostřed mezi těmito obcemi. Území však katastrálně spadá pod obec Cejkov. Podle Přichystala a Škrdly (2014) je tato lokalita sekundárním zdrojem obsidiánové suroviny. Podle

Bañáckého et al. (1988) je lokalita pokrytá kvartérními jemnozrnnými písky eolického původu. Přichystal a Škrdla (2014) ve svém výzkumu zjistili, že obsidiány zde vystupují ze sedimentů zřejmě deluviofluviálního nebo fluviálního původu (příloha 1, obr.1 b). Surové a neopracované obsidiány z této lokality prostupují z půdy zhruba rovnoměrně po celé její ploše v uloženinách podél říčky Ošvy. Velikost obsidiánů se zde pohybuje od velikosti 0,5 - 1 cm ve formě drobných kousků, ale také se zde vyskytuje až do velikosti 8 cm ve formě nodulí. Vzácněji lze narazit na surovinu větší než 10 cm o hmotnosti až 1 kg (Bačo et al., 2017). Obsidiánová hornina je velmi výrazně skulptovaná. Vytváří typické hrance nebo nese stopy po eolické činnosti. Barva obsidiánů je šedočerná a lesk je matný (Přichystal – Škrdla, 2014).



Obr.4 Pohled na louku u Cejkova, kde se nachází sekundární zdroj obsidiánu (Kučerová, 2017).

2.4.2 Brehov

Obec Brehov leží na JV Slovenska a nachází se nedaleko obce Cejkov. V trati „Za alejou“ jsou obsidiány uloženy v kvartérních sedimentech. Lokalita se nachází nedaleko lokality Malé lúk – Žihľavník. Obsidiány nejčastěji ve tvaru izometrických úlomků a nodulí zde vystupují z hlinitých zvětralých a argilitizovaných ryodacitů a jejich brekcí, na jejichž povrchu se nachází zhruba 2 m mocná vrstva eolických písků (Bačo et al., 2017). Velikost obsidiánů se pohybuje mezi 0,5 až 10 cm, průměrná velikost zde činí kolem 5 cm. Povrch suroviny je obvykle skulptovaný, taktéž se zde hojně nachází i obsidiány s hladkým povrchem. V horizontu, kde se nacházejí obsidiány se nenachází žádné úštěpy, na povrchu však ano (Bačo et al., 2017).

3. Využití obsidiánu v moderní chirurgii

Již z pravěku existuje mnoho záznamů o využívání obsidiánu k výrobě řezných nástrojů, které pravěcí lidé využívali k vůbec prvním operačním zákrokům (Scott – Scott, 1982). Mezi nejstarší chirurgické zákroky vykonávané primitivními kulturami patří trepanace lebky, která spočívá v perforaci lebeční kosti za účelem diagnózy nebo léčby. Dříve se v některých kulturách věřilo, že trepanace uleví postiženému od epilepsie, migrény apod. (Gonzáles – Darder, 2016).

Vzhledem ke své výjimečné ostrosti byly obsidiánové skalpely testovány řadou lékařů i v moderní medicíně. V 70. letech 20. století americký chirurg Bruce Buck použil obsidiánové skalpely k otestování funkčnosti a vlastností u několika operačních zákroků. Nejprve Buck provedl zákroky na králících, kde vykonal kožní incize, periferní nervové incize a mikrovaskulární anastomózy. Jizvy po zákrocích se obecně velmi dobře hojily a nejevily známky komplikací (Buck, 1982). V roce 1975 došlo k velmi zásadnímu kroku, kdy jeden z předních světových autorit experimentální archeologie, dr. Don Crabtree podstoupil úspěšnou operaci svého srdce za použití obsidiánového skalpelu, který si sám vyrobil pomocí prehistorické štípací techniky (Haviland et al., 2010). Vzhledem k dobrým výsledkům při použití obsidiánových skalpelů se v 80. letech 20. století začali tyto skalpely testovat u dalších lidí, nejčastěji lékařů, kterým šlo o vědecké hledisko. Obsidiánové skalpely začali při své práci využívat i dermatologové Michael J. a Michael J. mladší Scottovi. Dr. Firmon Hardenbergh použil obsidiánové skalpely u několika očních operací. Roku 1982 podstoupil archeolog David Pokotylo operaci ruky obsidiánovými skalpely, které si sám vyrobil.

V současnosti je používání obsidiánových skalpelů zakázáno světovou zdravotnickou organizací (WHO). Jejich používání není bezpečné z hlediska jejich křehkosti a náchylnosti k roztříštění. Podle dr. Lee Greena z USA, který obsidiánové skalpely používá ve své soukromé ordinaci k odstraňování znamének a sešívání ušních lalůčků, je poměrně náročné naučit se s těmito skalpely pracovat, jelikož při špatné manipulaci hrozí k pořezání či snadnému zlomení ostří (www1).

4. Mechanické vlastnosti štípatelných hornin

Mezi hlavní vlastnosti horniny, která je vhodná k výrobě štípaných artefaktů, patří především křehkost, elasticita a homogenita (Cotterel – Kamminga, 1987; Cotterel – Kamminga, 1990). Rámcově lze identifikovat asi sedm základních indikátorů kvality štípané suroviny. Mezi tyto ukazatele patří ostrost hran a jejich trvanlivost, homogenita/izotropie materiálu, křehkost, předvídatelnost lomu materiálu, absence pórovitosti materiálu a procento krystalinity. Tyto vlastnosti spolu zpravidla souvisí, jsou ovšem většinou testovatelné pomocí různých mechanických aj. testů a mikroskopických metod (obr. 5). Z (geo)archeologického hlediska je kvalita horniny určována i vlastnostmi, jež jsou nezávislé na mechanických vlastnostech a mineralogickém složení, jako je velikost a tvar hlíz horniny a její dostupnost (Brantingham et al., 2000).

Ostrost hrany	Odolnost hrany	Homogenita/izotropie	Absence pórovitosti	Procento krystalinity	Předvídatelnost lomu	Křehkost
SEM, AFM, konfokální m.	Mikrotvrдость	SEM aj. typy mikroskopie	SEM	SEM, XRD	Lomová houževnatost	Mikrotvrдость
Mikrotvrдость	Odrazová tvrdost	Hustota	Hustota	Infračervené záření	Stupeň porozity	Planimetrie
Odrazová tvrdost	Abrazivní tvrdost	Planimetrie	Planimetrie	Planimetrie	Odrazová tvrdost	Modul pružnosti
Povrchová drsnost	Pevnost v tahu	Ultrazvukové zkoušky	Ultrazvukové zkoušky	-	Modul pružnosti	Rázová houževnatost
Zrnitost	Pevnost v ohybu	-	Mikrotvrдость	-	Zrnitost	Stupeň porozity
Modul pružnosti	Zrnitost	-	Nasákavost	-	Experimentální testy	Zrnitost
Experimentální testy	Experimentální testy	-	-	-	-	Experimentální testy

Obr. 5 Základní ukazatele kvality štípané suroviny a metody jejich analýzy. (Goodman, 1989, Cotterell – Kamminga, 1990; Domanski et al., 1994; Brantingham et al., 2000; Yonekura et al., 2006; Domanski – Webb, 2007; Lerner et al., 2007; Webb – Domanski, 2008; Braun et al., 2009; Schöpfer et al., 2009; Yonekura – Suzuki, 2009; Hamdi – Lafhaj, 2013; Baud et al., 2014). SEM = spektrální elektronová mikroskopie, AFM = mikroskopie atomárních sil, XRD = rentgenová difrakce.

4.1 Ostrost a metody jejího měření

Ostrost je klíčovou fyzikální vlastností každé čepele rezného nástroje. Je důležitá zejména pro zahájení vlastního řezu do řezaného materiálu a pro jeho následné rozříznutí (Schuldt et al., 2016). Ostrost rezných nástrojů je taktéž významným parametrem při řezání měkkých materiálů, jako jsou biologické tkáně, potraviny či elastomerní materiály (McCarthy et al., 2007). K analýze ostrosti lze využít testy mikrotvrđosti, odrazové

tvrdosti, povrchové drsnosti, zrnitosti a Youngův modul pružnosti (Yonekura – Suzuki, 2009). Testováním mikrotvrdosti lze rozpoznat míru homogenity horniny, kdy je homogenní materiál velmi tvrdý. Čím je hornina jemnozrnější, tím je ostřejší a lépe štípatelná. Youngův modul pružnosti taktéž určí míru homogenity horninového materiálu. Jeho hodnota stoupá spolu s mírou homogenity horniny (Yonekura – Suzuki, 2009; Brantingham et al., 2000; ...).

Obecně neexistuje přesná definice ostrosti, ale v podstatě se jedná o mechanickou vlastnost čepele, jenž za ideálních podmínek umožňuje jednorozměrný kontakt mezi hranou řezného nástroje s řezaným materiálem (Atkins, 2009 a). V praxi však existuje dvourozměrná kontaktní plocha, jenž je závislá na poloměru hrotu na vrcholu hrany čepele (Schuldt et al., 2016). Ostrost lze definovat geometricky nebo mechanicky (Key, 2016). Geometrická definice ostrosti je založená na změření poloměru hrotu na vrcholu hrany řezného nástroje (Reilly et al., 2004). Mechanicky se jedná o schopnost čepele řezat za vyvinutí minimálního tlaku a deformace (Schuldt et al., 2016). Proces řezání je ovlivněn geometrií řezného nástroje, materiálem, z kterého je řezný nástroj vyroben, řezaným objektem a podmínkami, za kterých vlastní řezání probíhá (Reilly, 2004).

Pro chirurgické nástroje je ostrost jejich nezbytnou vlastností. Čím ostřejší nástroj je, tím méně deformuje lidskou tkáň, řezná rána se bude rychleji hojit a jizvy budou minimální (Atkins, 2009 a). Čím je také čepel ostřejší, tím menší síla je zapotřebí k vyvinutí samotného řezu (Bishu et al., 1996).

Ostrost řezných nástrojů je možné zhodnotit několika způsoby. Metody měření této fyzikální vlastnosti lze rozdělit do dvou hlavních kategorií. První kategorií jsou geometrické metody a druhou kategorií jsou metody mechanické (obr.6). Při geometrických metodách se ostrost řezné hrany testuje pomocí tzv. poloměru apexu hrany. Při mechanických metodách lze měření docílit silou, energií (prací) a deformací materiálu, jež jsou potřebné k provedení konkrétního řezu (Reilly, 2004). Tato měření ostrosti se dají aplikovat jak na kamenné, tak i na kovové nástroje (Key, 2016). V současnosti na trhu existuje několik přístrojů k měření ostrosti čepelí, jedná se však převážně o zařízení, která jsou určena ke změření ostrosti nožů využívaných v potravinářském průmyslu, zejména kuchyňských nožů (Ping, 2011). Jejich čepele se svojí velikostí podstatně liší od nástrojů využívaných v lékařství, jako jsou např. skalpely.

METODY MĚŘENÍ OSTROSTI	
Geometrické metody	<ul style="list-style-type: none"> • Rastrovací elektronová mikroskopie (SEM) • Konfokální mikroskopie • Mikroskopie atomárních sil (AFM) • Laserový goniometr • Experimentální metody
Mechanické metody	<ul style="list-style-type: none"> • Mechanické testery ostrosti (CATRA tester, Anago tester) • Testování v tahu • Experimentální testery ostrosti • „Field“ testy

Obr. 6 Metody využívané k měření ostrosti (Flisram et al., 1995; Morita – Ochi, 1996; Kerschmann et al., 2001; Leboutiz – Migliuolo, 2002; Reilly, 2004; Raymond et al., 2005; McCarthy et al., 2007; McCarthy et al., 2010; Schuldt et al., 2013; Schuldt et al., 2016; Schuldt et al., 2018; www1; www2; www3; ...) (Kučerová, 2022).

4.1.1 Geometrické metody

Geometrické metody měření ostrosti čepelí spočívají v pozorování a měření poloměru vrcholu její hrany (Reilly et al., 2004). Zde jsou rozebrány zejména mikroskopické metody, další metoda (Dibble – Bernard, 1980), kterou jsem aplikovala na mnou testované čepelí, je popsána v kapitole 6 spolu se dvěma mnou použitými experimentálními metodami.

4.1.1.1 Rastrovací elektronová mikroskopie (SEM)

Rastrovací neboli skenovací elektronová mikroskopie (anglicky „*Scanning Electron Microscopy*“; zkratka SEM) se standardně využívá při studiu struktury materiálů. Pomocí SEM lze vykonat kvalitativní analýzu ostrosti řezného nástroje. Princip rastrovací elektronové mikroskopie spočívá v úzkém paprsku elektronů, který se zaměřuje na každou část studovaného vzorku, který prochází po řádcích. Paprsek elektronů tedy dopadá postupně na všechna místa studovaného materiálu. Vlivem dopadajícího tenkého svazku elektronů na vzorek vznikají různě detekovatelné složky. Během toho, kdy paprsek elektronů putuje po studovaném materiálu se mění úroveň

signálu v detektoru vlivem charakteru povrchu vzorku. Ze signálů je posléze sestaven výsledný obraz. Získávají se tzv. mikrofotografie vzorku, v tomto případě čepele, které však mají omezenou numerickou a geometrickou vypovídací hodnotu o řezné hraně a jejich úhlových vlastnostech. Toto omezení je dáno tím, že samotná hrana přesahuje rozměry běžně pozorovatelné pomocí SEM (Reilly et al., 2004; Kuo, 2013). Při této metodě lze posoudit pravidelnost ostří a povrch čepelí po stranách (např. Kučerová, 2018).

4.1.1.2 Konfokální mikroskopie

Konfokální mikroskopie je druhem optické mikroskopie a je založena na konfokálním mikroskopu, jehož výhodou je vyšší rozlišovací schopnost než u ostatních světelných mikroskopů. Ta je dána detekcí světla z ohniskové roviny mikroskopu. Existují dva typy těchto mikroskopů: rastrující konfokální mikroskop a konfokální mikroskop s rotujícím diskem. Princip rastrující konfokální mikroskopie (anglicky „*Confocal Laser Scanning Microscopy*“; zkratka CLSM) spočívá v laserovém paprsku, který je fokusován na jediný bod vzorku. Postupně lze vzorek skenovat bod po bodu, dokud není vytvořen kompletní obraz. Konfokální mikroskopie s rotujícím diskem (anglicky „*Spinning Disc Confocal Microscopy*“, zkratka SDCM) je založena na bázi rotujícího kotouče, tzv. Petráňova/Nipkowova disku, díky kterému dosahuje velmi rychlého snímání obrazu o vysokém rozlišení. Tato metoda je vhodná pro pozorování rychlých dějů v živých organismech (Navrátil – Rosina, 2005; Brzostowski – Sohn, 2021). Konfokální mikroskop se mimo jiné využívá ke studiu povrchových vlastností materiálů. Díky této metodě lze pozorovat např. šířku a drsnost povrchu ostří čepele nebo povrch bočních stran ostří (např. Kučerová, 2018).

4.1.1.3 Mikroskopie atomárních sil (AFM)

Mikroskopie atomárních sil (anglicky „*Atomic Force Microscopy*“; zkratka AFM) je nejrozšířenějším odvětvím mikroskopie skenující sondou (anglicky „*Scanning Probe Microscopy*“; zkratka SPM). Tato mikroskopická technika se využívá k trojrozměrnému zobrazování povrchů. Je založena na elektromagnetických silách atomárního původu, jež působí mezi atomy hrotu a vzorku. Tyto síly mohou být blízkodosahové nebo dalekodosahové. Princip této metody spočívá ve velmi ostrém hrotu, jenž je upevněn na tenkém ohebném nosníku. Hrot se pohybuje nad vzorkem (bezkontaktní režim) nebo se ho přímo dotýká (kontaktní režim) a je tímto vzorkem odpuzován či přitahován. Při

kontaktním režimu je hrot mírně vtlačován do studovaného materiálu a vlivem působících elektromagnetických sil je nosník ohnutý. Hrot se pohybuje po povrchu studovaného vzorku, čímž dochází ke skenování povrchu materiálu. V závislosti na nerovnosti materiálu je nosník různě ohýbán, což je zpravidla detekováno laserovým paprskem. Ten dopadá na nosník, od kterého se odráží a dopadá na tzv. fotodetektor. Jestliže se změni ohnutí nosníku, je změněn i úhel dopadu laserového paprsku na nosník, čímž se změni jeho místo dopadu na fotodetektor. Fotodetektor poté vyhodnocuje změny odraženého paprsku a vytvoří měronosnou veličinu, podle které počítač vygeneruje topografii povrchu studovaného vzorku s atomovým rozlišením. Při kontaktním režimu může být studovaný materiál nevratně poškozen. Naopak bezkontaktní režim je pro studovaný materiál šetrný, jelikož se ho hrot nedotýká, tudíž nedochází k poškození vzorku. Pomocí mikroskopie atomárních sil lze pozorovat např. drsnost povrchu čepelí. (Kubínek et al., 2003; Haugstad, 2012).

4.1.1.4 Laserový goniometr

Laserový goniometr se využívá k bezkontaktní prediktivní analýze ostrosti čepelí. Byl vynalezen sdružením CATRA, která je řazena mezi světovou autoritu v oblasti testování čepelí pro výrobce, maloobchodníky a spotřebitele. Tento přístroj slouží k měření úhlu ostří a zjištění stavu špičky všech druhů čepelí. Měření laserovým goniometrem je omezeno velikostí laserového bodu, přičemž prvky, jež jsou menší, než laserový bod nemusí být určeny s přesností (Reilly, 2004). V současnosti existuje laboratorní i přenosná odlehčená verze laserových goniometrů, která je cenově dostupnější (www2). Goniometr sestává z kruhové úhломěrné stupnice, do jejíž středu se umístí ostrá hrana čepelí kolmo směrem k nízkému výkonnému laserovému paprsku. Tím dojde k odrazu paprsku od čepelí a hodnotu její ostrosti lze poté vyčíst z úhломěrné stupnice, na kterou laserový paprsek dopadá. Čím vyšší je hodnota stupňů na úhломěrné stupnici, tím je testovaná čepel tupější (www2).

4.1.1.5 Další zařízení k měření ostrosti

V současnosti existuje řada oficiálních patentovaných přístrojů určených k objektivnímu změření ostrosti čepelí nožů, žiletek, nůžek a dalších řezných nástrojů. Řada přístrojů k měření ostrosti, které byly patentovány, vznikly např. v USA. V roce 1995 vynalezli Flisram et al. aparát, který využívá sílu špičky čepelí k ohodnocení její kvality. Tento testovací model byl zkonstruován především k testování nožů, jež se

využívají v kulinářství či obecně v potravinářství (např. v řeznictví). O rok později, v roce 1996 vynalezli Morita a Ochi přístroj, který dokáže změřit šířku čepele během jejího vlastního leštění. Probíhá to tak, že se přístroj dotkne měřené čepele pomocí speciálního kolíčku, jehož poloha se posléze zaznamená. Tím se zjistí tloušťka testované čepele.

V roce 2001 si Kerschmann et al. nechal patentovat zařízení, které funguje na principu odrazení optického světla. Toto zařízení zobrazuje detaily na povrchu velmi tenkých řezů, čímž lze vyhodnotit stav čepele, kterou byly tyto řezy zhotoveny. Roku 2002 zase představili Leboutitz a Migliuolo aparát, který obsahuje polovodičové senzory čepele, jež slouží k simulaci podmínek řezání a fyzikálních vlastností samotného procesu (Reilly et al., 2004).

4.1.2. Mechanické metody

Mechanické testy měření ostrosti čepelí jsou prováděny za pomoci ortogonálního nebo indentačního řezání. Při ortogonálním neboli kolmém či pravoúhlém řezání je ostří vedeno kolmo na směr řezacího pohybu při řezání suroviny. Naopak při indentačním neboli vtláčovacím řezání je řezný nástroj aplikován kolmým pronikáním do řezané suroviny (Reilly et al., 2004).

4.1.2.1 Mechanické testery ostrosti

V současnosti se na trhu objevuje řada testerů, jež jsou speciálně vyvinuté ke změření ostří řezných nástrojů. Mezi nejznámější vývojáře těchto zařízení patří sdružení CATRA („Cutlery and Allied Trades Research Association“), které působí v Anglii od roku 1952. Toto sdružení vyvinulo několik různých zařízení, jež lze aplikovat k objektivnímu změření a posouzení ostrosti nožů a čepelí různých zakřivení a šířek (Reilly et al., 2004, www3).

Tester ostrosti, v originále „*Sharpness Tester*“ či „*CATRA tester*“ byl vyvinutý sdružením CATRA. Toto automatické či poloautomatické zařízení měří ostrost a životnost ostří u všemožných typů nožů a čepelí. Využívá se k posouzení kvality samotného ostří, dále k vývoji a výzkumu a také k porovnávání a hodnocení konkurenčních produktů (www3). Měření ostrosti CATRA testerem je založeno na vnikání testovaného ostří do tlustého gumového materiálu. Zařízení určuje sílu a hloubku penetrace (Reilly et al., 2004).

Další oficiální přístroj k mechanickému měření ostrosti vyvinula novozélandská společnost ANAGO. Testovaný nůž se vloží do přístroje ANAGO KST („*Knife Sharpness Tester*“), kde je upevněn ve vodorovné poloze. Poté se přístroj spustí a celé ostří nože projede speciální tkanou mřížkovou páskou pod úhlem 45°. Toto zařízení poskytuje zobrazení profilu ostří po celé délce čepele, od špičky až po rukojeť. Současně do počítače zasílá data z testování, které poskytnou konečný výsledek ostrosti testované čepele (www4).

Stejná společnost vyvinula i přístroj k měření ostrosti chirurgických skalpelů s názvem ANAGO SST („*Scalpel Sharpness Tester*“), který dokáže objektivně posoudit ostrost různě tvarovaných skalpelů. Tento přístroj funguje na stejném principu jak ANAGO KST, kdy testované ostří skalpelu projede ve vodorovné poloze pod úhlem 45° celou délkou přes speciální tkanou mřížkovanou pásku. Data jsou poté opět vyhodnocovány pomocí počítače, do kterého je přístroj odešle (www5).

4.1.2.2 Přístroj k testování materiálů v tahu

Míry ostrosti řezného nástroje lze určit i za použití speciálních přístrojů, které testují materiály v tahu. Přístroj je schopen zaznamenat atributy, jako je síla (N), práce (J) a deformace materiálu (mm). Při testování v tahu přístroj umožňuje pohyb řezné hrany ve vertikální rovině po zkušebním materiálu (McCarthy et al., 2007; McCarthy et al., 2010; Schuldt et al., 2013; Schuldt et al., 2016; Schuldt et al., 2018).

4.1.2.3 Experimentální testery ostrosti

Mnoho vědeckých prací se v historii zaměřilo na zhotovení experimentálních testerů ostrosti k posouzení ostří různých řezných nástrojů. Z použitých mechanických přístrojových experimentů testovali Szabo et al. (1998) ostrost nože připevněním čepele k paži kyvadla směrem dolů tak, že při rozkývání protínala gelový materiál. Během toho byla pořízena fotografie, která se ručně zdigitalizovala, díky čemuž bylo možné vypočítat hloubku průniku čepele do gelového materiálu.

Raymond et al. (2005) zhotovili speciální zařízení nazvané jako „tester ostrosti“, které pracuje na stejném principu jako přístroje ANAGO KST a ANAGO SST. Při tomto testu byl testovaný nůž upevněn vodorovně ve fixátoru, jenž se pohyboval po dvou kolejnicích nakloněných v úhlu 45°. Zařízení bylo poháněno baterií a nůž se pohyboval rychlostí 40 mm/s. Cílem pro řez byla speciální síťovina, kterou projela celá

čepel. Během testu byl k fixátoru nože připevněn tzv. lineární potenciometr, který odesílal potřebná data do počítače, který pak vyhodnotil výsledky testu. Toto automatické či poloautomatické zařízení měří ostrost a životnost všemožných typů nožů a čepelí.

4.1.2.4 Další experimentální testy

Existuje mnoho testů k posouzení kvality ostří čepelí, které se napříč generacemi zažili jako osvědčený způsob pro zjištění stavu nožů, břitev, nůžek a dalších řezných nástrojů. Tento typ testů se v angličtině označuje jako tzv. „*field tests*“. Testy ostrosti řezných nástrojů se prováděly již v dávné minulosti. Například poněkud morbidní test ostrosti s názvem „*tsujigiri*“ se poměrně hojně vykonával ve středověkém Japonsku, kdy samurajové po obdržení nové katany či jiné zbraně testovali její ostrost tím, že ji vrazili do těla náhodnému kolemjdoucímu, nejčastěji v noci, aby oběť překvapili (Midgley, 1981). V současnosti je známo mnoho rychlých a prověřených testů ostrosti, které dokážou dobře zhodnotit kvalitu testované čepel. Jedná se například o řezání do hrany papíru, při kterém by ostrá čepel měla papír snadno přeríznout nebo test s rajčetem či cibulí, do nichž by měla ostrá čepel proniknout bez řezání a vyvinutého tlaku. Mezi zdraví nebezpečné rychlé testy ostrosti patří např. oholení ochlupení na paži, kdy správně naostřená čepel jedním tahem chlupy seřízne nebo přiložení čepel kolmo na nehet, kdy ostrá čepel nehetem pronikne bez vyvinutí tlaku. Tyto experimentální testy z praxe však vypovídají o kvalitě, kterou lze zhodnotit pouze subjektivně pouhým okem, tedy makroskopicky (Ping, 2011).

4.2 Další kritéria kvality štípatelných hornin

Mezi další indikátory kvality štípané suroviny patří odolnost hran, homogenita/izotropie, křehkost a předvídatelnost lomu, dále absence pórovitosti materiálu a procento krystalinity (Luedtke, 1992; Brantingham et al., 2000).

4.2.1 Homogenita a izotropie

Homogenita neboli stejnorodost či jednodlitost je jednotnost struktury materiálu, kdežto izotropie označuje jednotnost materiálu ve všech směrech (Luedtke, 1992). Např. jestliže je rohovcová nodule homogenní, znamená to, že neobsahuje žádné trhliny a další vady. Pokud je rohovcová hlíza izotropní, má stejnou pevnost bez ohledu na to, jak je orientována v testovacím zařízení. Pokud je materiál homogenní, většinou je i izotropní, ale není to pravidlem. Některé materiály, které se zdají být homogenní mohou být

anizotropní a také ne všechny nehomogenní materiály jsou automaticky anizotropní (Luedtke, 1992).

Podle Brantingham et al. (2000) je kvalitní štípatelnou surovinou ta, která neobsahuje větší krystaly, fosílie či další nehomogenity, nebo je obsahuje pouze v minimálním množství. Jejich přítomnost může narušit pravidelnost lomu v materiálu, což má za následek lámání úštěpů, obecnou nepředvídatelnost při jejich výrobě, a nakonec rozbitá vyrobených nástrojů (Luedtke, 1992). S navyšující přítomností nehomogenit v surovině roste možnost nepravidelného lomu. Jestliže je kamenný nástroj nehomogenní, jeho opotřebení bude v různých částech nerovnoměrné (Lerner et al., 2007), což může vést např. k rychlejšímu otupění nástroje. K určení míry homogenity suroviny lze využít ultrazvukových zkoušek, měření hustoty, planimetrie, spektrální elektronové mikroskopie (SEM) (obr.5) a podobně (Inizan et al., 1999; Brantingham et al., 2000; Lerner et al., 2007).

4.2.2 Odolnost hrany

Odolnost hrany řezného nástroje je poměrně důležitou vlastností. Pokud je materiál odolný, zvyšuje se jeho životnost. Již tvůrci 1,8 milionu let staré olduvajské kultury nevybírali materiál k výrobě nástrojů jen podle ostroty, ale také podle jeho odolnosti (Key et al., 2020). Odolnost hrany se dá u štípaného artefaktu otestovat několika způsoby (obr. 5). Lze zde kvantifikovat mikrotvrdot, odrazovou tvrdost, abrazivní tvrdost, pevnost v ohybu, pevnost v tahu, zrnitost či úbytek materiálu v čase pomocí řezacích či obrušovacích experimentů a experimentálními testy (Lerner et al., 2007; Yonekura – Suzuki, 2009; Delgado-Raack et al., 2020).

4.2.3 Křehkost

Křehkost je jednou z hlavních mechanických vlastností štípatelného materiálu. Čím je materiál křehčí, tím lépe se většinou štípe (Cotterel – Kamminga, 1987; Cotterel – Kamminga, 1990). Pravděpodobně je rychlejší šíření lomu křehkými materiály, nemusí to ale vždy znamenat větší předvídatelnost lomu. K testování křehkosti suroviny lze využít mikrotvrdot, planimetrii, měření modulu pružnosti, rázovou houževnatost nebo zjištění stupně porozity a zrnitosti materiálu (obr.5). Asi nejlépe vystihují křehkost materiálu právě (Youngův) modul pružnosti a lomová houževnatost (K_{IC}), protože bývají podstatně nižší např. u pazourků než u hůře štípatelných hornin, používaných v minulost spíše k výrobě broušených nástrojů (Domanski et al. 1994; Moník et al. 2021).

4.2.4 Pórovitost

Pórovitost či poréznost je přítomnost jakýchkoliv pórů nebo dutin v hornině. Jedná se o vlastnost vyjadřující podíl prázdného prostoru k celkovému prostoru v hornině (Goodman, 1989). Pórovitost snižuje kvalitu materiálu pro výrobu štípaných artefaktů. Je to dáno tím, že lom, který vzniká při úderu štípače, se šíří póry i trhlinami v materiálu směrem, jenž není žádoucí (Schöpfer et al., 2009). Pórovitost lze měřit pomocí SEM, mikrotvrdomosti, planimetrie, nasákavosti, hustoty vzorku a rychlostí šíření ultrazvuku napříč vzorkem (obr. 5). Goodman (1989) také zmiňuje metodu nasycení vzorku rtuť pomocí tlakového injektoru a následné zjištění obsahu rtuť či změření objemu pevné látky a objemu vzduchu v pórech pomocí Boyleova zákona.

4.2.5 Předvídatelnost lomu

Předvídatelnost lomu štípatelné horniny je jedním z měřítek její kvality a je bezpochyby kombinací několika mechanických vlastností (Luedtke, 1992; Moník – Hadraba, 2016). Je důležitá např. při redukci (těžbě) jádra (hlízy), kdy musí být určité trajektorie udržovány pro získávání pravidelných čepelí (např. Bamforth, 1984). Štípaný materiál se obvykle začíná lámat v blízkosti mikroskopických trhlin, které se v něm nachází. Lom se pravděpodobně šíří kolem zrn, protože v těchto místech se koncentrují různé nečistoty a trhlinky. Horniny s pravidelným (zejm. lasturnatým) lomem obsahují velmi málo nebo žádnou krystalickou strukturu či jiné nečistoty a mají jemnozrnnou texturu (např. Brantingham et al., 2000). Stabilita šíření lomu nicméně zároveň souvisí s jeho pevností (tj. elasticitou horniny) (Cotterell – Kamminga, 1990). U izotropních materiálů, které jsou uvnitř své struktury jednotné ve všech směrech, se šíření lomu bude odrazet od směru působící síly, nikoliv tedy od vnitřní struktury materiálu (Domanski et al., 1994). Předvídatelnost lomu nelze kvantifikovat jednou veličinou (Luedtke, 1992; Pelcin 1997, a, b), hlavní roli ovšem hrají výše zmíněné mechanické i jiné vlastnosti, jako je zrnitost, homogenita, (Youngův) modul pružnosti, lomová houževnatost, odrazová tvrdost, zrnitost a pórovitost materiálu apod. (obr.5). (např. Domanski et al., 2009; Domanski – Webb, 2007). Je otázkou, zda rychlost šíření trhliny v materiálu závisí na rychlosti úderu otloukače (Cotterell – Kamminga, 1987).

4.2.6 Krystalinita

Krystalinita představuje stupeň strukturního uspořádání v hornině. Stupeň krystalinity má vliv na tvrdost, hustotu a průhlednost materiálu. Surovina, která je vysoce

kvalitní, obsahuje málo či žádnou krystalickou strukturu. Např. obsidián obvykle obsahuje velmi málo krystalického materiálu, který by mohl narušovat průběh lomu při štípání (Brantingham et al., 2000). Procento krystalinity se dá určit pomocí rentgenové difrakce (XRD), skenovací elektronové mikroskopie (SEM), infračervených (IR) metod či planimetrie (obr. 5).

5. Výroba obsidiánových čepelí a typy štípání

Čepele z obsidiánů a dalších horninových surovin používaných ke štípání, jako jsou např. silicity (pazourky, limnokvarcity, radiolarity), porcelanity, křemence a další, se vyrábí především pomocí štípacích technik, které byly hojně využívány homininy již v dávné minulosti. Štípání, anglicky „*knapping*“, sloužilo, a i v současnosti slouží k výrobě mnoha různých nástrojů z kamenné suroviny (Inizan et al., 1999). Při výrobě čepelí z obsidiánu štípač provádí přesně aplikované za sebou jdoucí úderý do připraveného obsidiánového jádra, čímž se z něj řízeně odlamují čepele. Z jednoho obsidiánového jádra lze tedy vyrobit větší množství čepelí. Pokud má štípač s touto technikou dlouholeté zkušenosti, dokáže z obsidiánu vyrobit čepele se šířkou ostří až jedné molekuly. Toto je možné proto, že obsidián byl původně v kapalném skupenství v podobě kyselého magmatu (Disa et al., 1993).

Naučit se dobře experimentálnímu štípání zabere mnoho let. Většina moderních štípačů se toto řemeslo učí pozorováním a napodobováním jiných nadšenců či metodou pokus-omyl (Shea, 2015; Clark, 2012).

Podle způsobu provedení se štípání dělí na dvě hlavní techniky, a to na štípání pomocí úderu a štípání pomocí tlaku. Samotné štípání zahrnuje několik aktů, mezi které patří tvarování, retušování a tzv. debitáž neboli odlupování. Existuje spousta různých metod a technik, kterými lze danou surovinu opracovávat. Ke štípání je však vždy potřeba sada speciálních nástrojů, jako jsou měkké či tvrdé otloukače, páčidla, obrušovač a další. Ke každé technice se poté využívají k tomu uzpůsobené nástroje (Inizan et al., 1999). Před samotným štípáním je důležité si správně připravit (obsidiánové) jádro, ze kterého se čepele mají vyrábět.

5.1 Parametry čepelí

Při výrobě čepelí z obsidiánové či jiné suroviny je důležité, aby byly všechny čepele tvarově i velikostně co nejvíce podobné. Faktory, které tento parametr ovlivňují, jsou vlastnosti štípané suroviny, podmínky při výrobě, a především dovednosti štípače. Mnoho výrobců štípané industrie, kteří při výrobě využívali různé techniky, dospělo k závěru, že mohou pouze částečně ovlivnit parametry čepelí, jako je délka, šířka tloušťka, rovnost, pravidelnost, příčný průřez, charakter hřbetu a bočního okraje a jejich povrchové vlastnosti (Clark, 2012).

Existuje několik tvarových typů čepelí, jako je např. trojúhelníkovitý, trapezoidní či prismatický. Výroba každého jednotlivého typu závisí na tom, na jaké místo okraje jádra je veden štípací nástroj. Oproti tomu délka čepelí je mnohem náročnější k udržení.

5.2 Štípání pomocí tlaku

Již z názvu této techniky vyplývá, že se při ní uplatňuje především tlak. Tlakové štípání se začalo využívat ve svrchním paleolitu. U tohoto typu štípání existuje mnoho způsobů, jakými lze tlak použít. Aplikace tlaku probíhá pomocí úzkého konce nástroje různé velikosti, který může být z různých materiálů, jako je např. dřevo, paroh, kost či kov (obr. 7). Tlak je možné aplikovat také pomocí páky. Při ní lze vyvinout tlak o zátěži až 300 kg. Metoda štípání pomocí tlaku je poměrně mladá, objevila se v době měděné až době bronzové. Obecně je doporučováno, aby se tato metoda využívala na štípání většího materiálu (kolem 40 cm) a k výrobě čepelí typu Varna (Inizan et al., 1999; Clark, 2012).



Obr. 7 Tlakové štípání pomocí malé ruční berličky (Inizan et al., 1999).

5.3 Štípání pomocí úderu

Při štípání pomocí úderu, jedním slovem označováno jako perkuse, se k odštípnutí suroviny uplatňuje náraz. Tato technika se dělí na přímou a nepřímou perkusi (Inizan et al., 1999).

5.3.1 Štípání přímým úderem

Štípání přímým úderem probíhá za použití tvrdých nebo měkkých otloukačů, kterými se udeří do štípané suroviny. Štípání přímým úderem pomocí tvrdého kamenného otloukače se považuje za nejstarší techniku štípání vůbec, která mezi hominidy přetrvávala až statisíce let (Inizan et al., 1999).

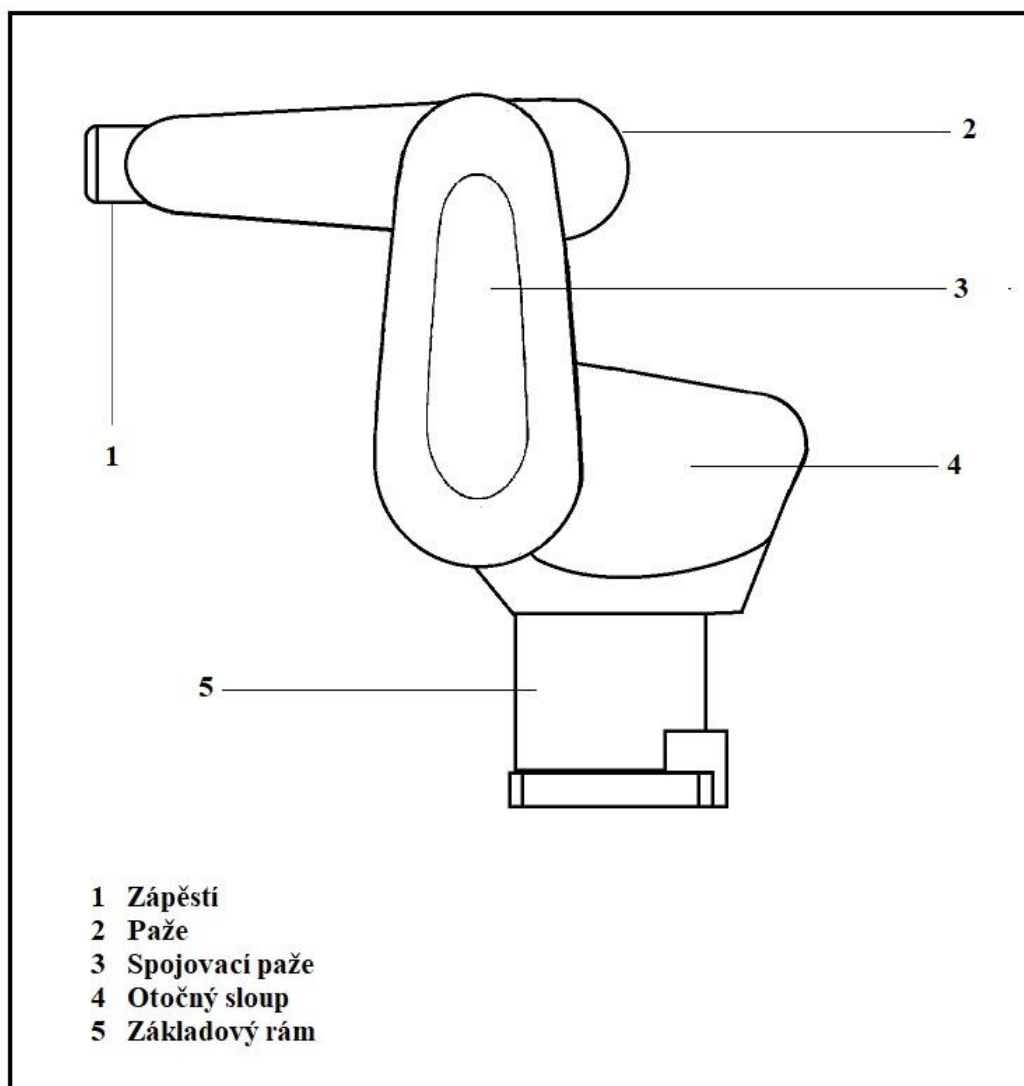
Štípání přímým úderem pomocí měkkého otloukače je vhodné především ke tvarování bifaciálních předlisků či k opravování středně pravidelných čepelí. Mezi měkké otloukače se řadí měkký pískovec, vápenec, dřevo, kost, paroh, slonovina aj. Na rozdíl od tvrdého otloukače se měkké otloukače objevily až o něco později, konkrétně před 700 000 lety (Inizan et al., 1999).

5.3.2 Štípání nepřímým úderem

Technika štípání nepřímým úderem se využívá přinejmenším od mladého paleolitu (Inizan et al., 1999). Využívá se zde aplikace dalšího nástroje, tzv. „prostředníku“, obvykle ze dřeva, kosti, parohu nebo kovu. Tato velmi účinná technika se využívá až do dnešních dní, a to konkrétně v indickém státě Gudžarát ve městě Khambhát. Místní tuto metodu využívají k výrobě korálek a dalších ozdob z karneolu a achátu. Během této techniky je štípaný materiál držen v ruce a je opřen o železnou tyč, jenž je ukotvena v zemi. Do opačné strany kamene je poté udeřeno kladívkem z buvolí rohoviny, díky čemuž materiál narazí do železné tyče. To způsobí odštípnutí úštěpu (Inizan et al., 1999).

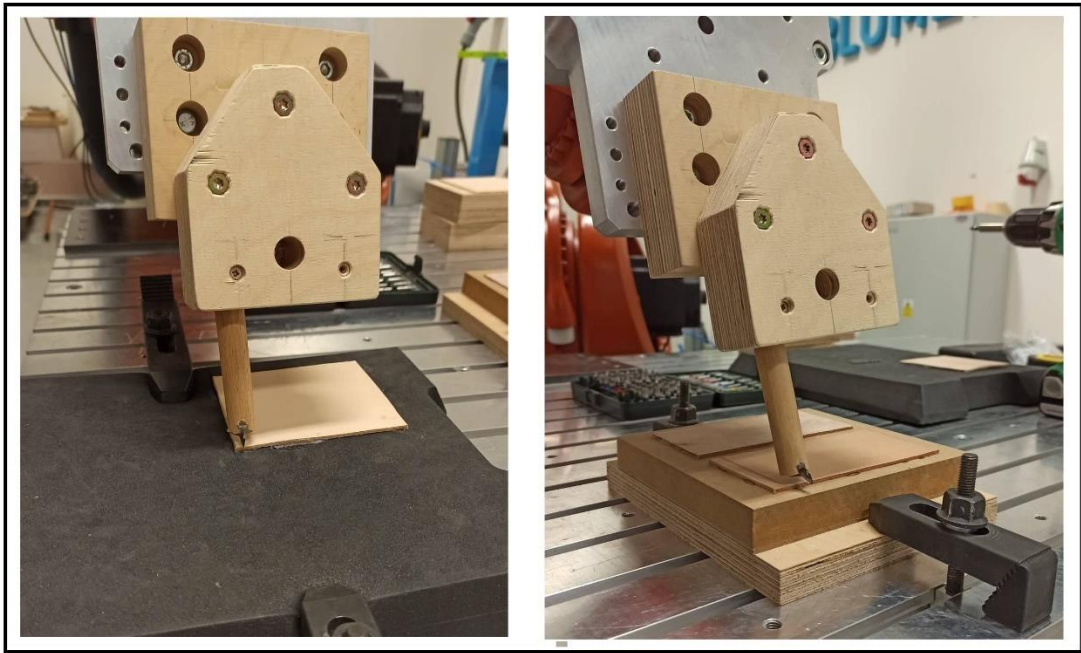
6. Metodika

Ze vzorků obsidiánů, které byly nasbírány v zájmových lokalitách na Slovensku v roce 2017 byly vytvořeny experimentální čepele doc. Mgr. Petrem Nerudou, PhD. metodou tlakového štípání (např. Inizan et al., 1999). Tato metoda byla vybrána díky schopnosti produkovat pravidelnější čepele (viz výše). Ke štípání byla použita speciálně vyrobená berlička (*crutch*) Tomášem Kučerou, jímž byl dřevěný kolík s kovovým hrotem, který byl veden kolmo na surovinu (např. Inizan et al., 1999). Tímto nástrojem byl vyvíjen tlak na obsidiánové jádro, dokud se pomocí zlomu v jádru neoddelila výsledná čepelka. K výrobě experimentálních skalpelů se vybraly nejlepší čepele, které byly zasazeny do dřevěných kolíků a které sloužily jako rukojeť. Obsidiánová jádra, která jsem použila pro výrobu čepelí byla velká zhruba 4 cm. Pro porovnání s čepelemi ze slovenských obsidiánů byly vytvořeny stejnou metodou štípání experimentální čepele z pazourku z německého ostrova Rujána (příloha 2, obr.2 a) a obsidiánu původem z okolí tureckého stratovulkánu Hasan Dagi (příloha 2, obr.2 b), obojí nasbírané vedoucím práce. U nejlepších čepelí byla poté testována ostrost pomocí robotické paže KUKA KR3 (obr. 8), jejímž operátorem byl Ing. Aleš Pochylý (Vysoké učení technické v Brně, fakulta strojního inženýrství, ústav výrobních strojů, systémů a robotiky). Všechny čepele byly uchyceny v dřevěných nebo plastových rukojetích, jež byly posléze upevněny pomocí dřevěné destičky k robotické paži. Poté byly řezy aplikovány na hovězí kůži o tloušťce 2 – 2,5 cm, dobrém simulátoru lidské kůže (obr. 9) (Jussila et al., 2005). Řezy byly vedeny do hloubky 0,5 -1 mm. Na řezech o hloubce 1 mm byla poté změřena povrchová drsnost [Ra] jako aproximace ostrosti použitých čepelí. Využit byl konfokální mikroskop Olympus LEXT OLS3100, jehož operátorem byl Mgr. Hynek Hadraba, PhD (CEITEC IPM, Ústav fyziky materiálů AV ČR, Brno). V souladu s faktem, že ostré obsidiánové skalpely tkáň netrhají, ale spíše rozdělují (Kučerová, 2018) zde bylo předpokladem, že čím hladší (tj. méně drsný) povrch řezu v kůži, tím ostřejší použitá čepel.



Obr. 8 Jednoduché schéma robotické paže KUKA KR3 (Kučerová 2021).

K dalšímu praktickému testu ostrosti byla následně použita obyčejná kuchyňská digitální váha s přesností na desetiny gramu, kuchyňská houbička na nádobí a obyčejná šicí nit. Na kuchyňskou digitální váhu, která byla umístěna na kraji stolu, se položila houbička, která sloužila jako záchytný bod pro nit. Nit dlouhá cca 40 cm se svázala na obou koncích a posléze se navlékla na váhu a houbičku. Poté se skalpelem přeřízla nit a výsledná zátěž při přeříznutí se zaznamenala na kameru, z které se zpětně získávala data o zátěži při přeříznutí. Každý skalpel byl testován celkem 50x (výsledky viz příloha 4) a naměřené hodnoty byly zprůměrovány.



Obr. 9 Řezání obsidiánovou čepelí pomocí robotické paže do hovězí kůže (Kučerová, 2021).

U všech čepelí, které byly k dispozici, včetně čepelí z chirurgické oceli, byl vypočítán úhel ostří pomocí mechanické šuplery tzv. posuvnou metodou (Dibble – Bernard, 1980). V první fázi je měřena tloušťka ostří čepel tak, aby byla konstantní vzdálenost mezi ostřím a místem, kde je měřená tloušťka čepel. Toho je dosaženo přilepením dřívka na šuplery, které „zarazí“ měřenou čepel – v našem případě 0,5 cm od ostří. Přesnost měření byla v řádu desetin milimetru. Ve druhé fázi se vypočte úhel ostří pomocí vzorce $\theta = 2 \left[\tan^{-1} \left\{ \frac{.5T}{D} \right\} \right]$, kdy θ je neznámý úhel, D je konstantní vzdálenost od hrany ostří k místu měření tloušťky (0,5 cm) a T je naměřené tloušťka.



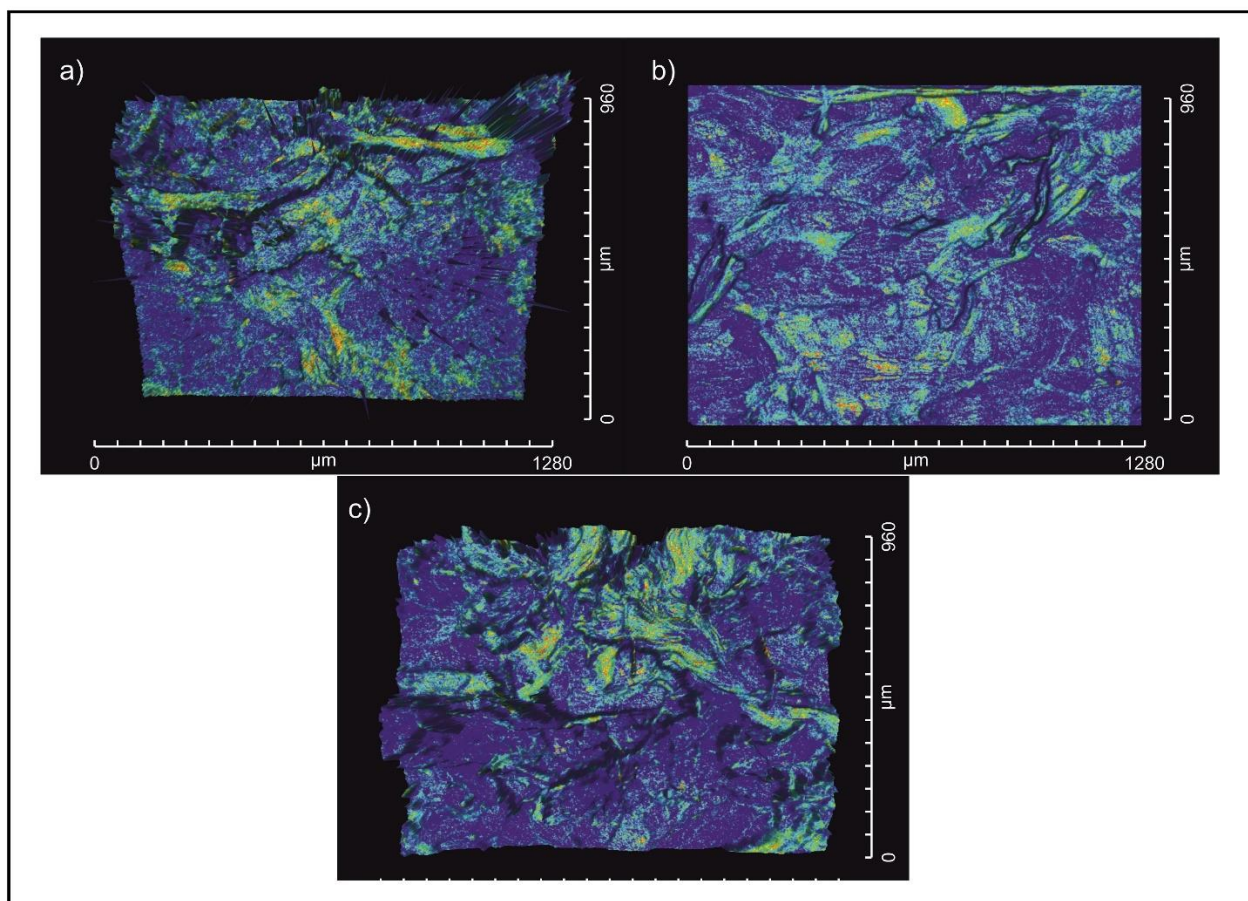
Obr. 10 Mechanická šuplery s dřívkem (Kučerová, 2022).

7. Výsledky

Tato kapitola obsahuje jednotlivé výsledky všech proběhlých měření. Výsledky jsou rozděleny do příslušných podkapitol.

7.1 Experimentální řezání do hovězí kůže pomocí robotické paže

Původním záměrem bylo změřit povrchovou drsnost celého řezu ve tvaru V pomocí konfokálního mikroskopu, to se však ukázalo jako neproveditelné. Místo toho byly změřeny pouze plochy na jedné straně řezu o velikosti 1280 x 960 μm . Bylo provedeno vždy několik řezů a výsledky byly poté zprůměrovány. Povrchová drsnost [Ra] naměřeného povrchu pro čepel malého chirurgického skalpelu (41,45 (délka) x 6,44 (výška) x 4 mm (šířka) byla 27,8329 μm (obr.11 a), pro čepel velkého chirurgického skalpelu (40 x 9,85 x 4,4 mm) činila 5,84 μm (obr.11 b) a pro čepel z pazourku 9,64 μm . Dále byly testovány dvě čepele z obsidiánu z Cejkova. U první (25 x 8,52 x 3,51) vyšla hodnota [Ra] 3,26 μm , u druhé (22,1 x 9,46 x 4,84 mm) naopak 20,02 μm (obr.11 c). Vzhledem k tomu, že měřená plocha byla relativně malá, výsledky by mohly být v případě dalších měření variabilní. Řez prvním obsidiánovým ostřím z Cejkova byl nejhladší ze 4 použitých čepelí. Po něm následoval velký chirurgický skalpel, čepel z pazourku a malý chirurgický skalpel. Nejhrubší řez měla druhá čepel z obsidiánu z Cejkova.



Obr. 11 Povrchy řezů do hovězí kůže provedené skalpely z chirurgické oceli (a, b) a čepelkou ze slovenského obsidiánu z Cejkova (c). Zde (c) znázorněno drsnější měření s hodnotou [Ra] 20,02 μm.

7.2 Měření ostrosti čepelí pomocí digitální váhy

K testování ostrosti byly použity čtyři experimentálně vyrobené skalpely. Jednalo se o skalpely s čepelími z obsidiánů z Viniček, Cejkova a také z Hasan Dagi z Turecka (viz Kučerová, 2018). Čtvrtý byl skalpel s čepelí z pazourku z německého ostrova Rujána. Ke srovnání byl také použit obyčejný malý a velký lékařský skalpel z chirurgické oceli.

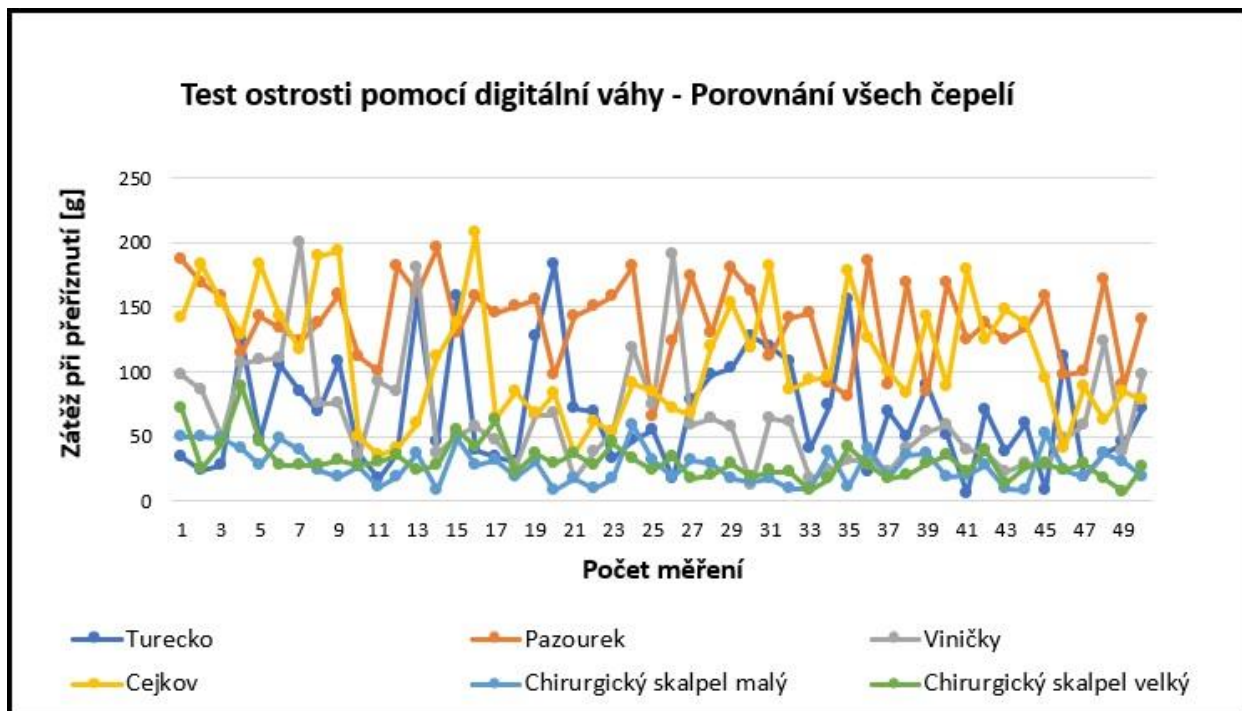
Průměrná hodnota zátěže při přeříznutí nitě čepelí z obsidiánu z Viniček činila 65,1 g. Nejnižší hodnota zátěže při přeříznutí nitě byla 12 g, nejvyšší pak 199 g. Hodnota mediánu byla 57 g. Směrodatná odchylka měla po zaokrouhlení hodnotu 42,6 g. Průměrná hodnota zátěže při přeříznutí nitě čepelí z cejkovského obsidiánu byla 108,76 g. Nejnižší hodnota zátěže při přeříznutí činila 35 g a nejvyšší 207 g. Výsledek mediánu byl 95,5 g a směrodatné odchylky v zaokrouhlené formě 46,80 g. Průměrná hodnota zátěže při přeříznutí čepelí z tureckého obsidiánu činila 68,54 g, při čemž nejnižší

naměřená hodnota byla 5 g a nejvyšší hodnota byla 183 g. Medián činil 57,5 g a směrodatná odchylka po zaokrouhlení 43,56 g. Průměrná hodnota zátěže při přeříznutí pazourkovou čepelí byla 138,36 g. Nejnižší hodnota zátěže při přeříznutí činila 65 g, naopak nejvyšší hodnota byla 187 g. Hodnota mediánu vyšla 142 g, hodnota směrodatné odchylky po zaokrouhlení vyšla 32,08 g. Průměrná hodnota zátěže při přeříznutí malým chirurgickým skalpelem byla 26,52 g. Nejnižší hodnota činila 8 g. Tato hodnota se při měření opakovala vícekrát. Naopak nejvyšší hodnota byla 58 g. Hodnota mediánu činila 25 g. U směrodatné odchylky vyšla po zaokrouhlení hodnota 13,53 g. Zátěž přeříznutí nitě při použití velkého chirurgického skalpelu vyšla průměrně 30,7 g. Nejnižší hodnota přeříznutí byla 7 g, nejvyšší 88 g. Hodnota mediánu činila 28. Hodnota směrodatné odchylky po zaokrouhlení byla 14,78 g.

	Viničky	Cejkov	Turecko	Pazourek	MCHS	VCHS
Průměrná hodnota [g]	65,1	108,76	68,54	138,36	26,52	30,7
Medián [g]	57	95,5	57,5	142	25	28
Směrodatná odchylka [g]	42,58	46,81	43,56	32,08	13,53	14,78

Tab. 1 Průměrné hodnoty zátěže při přeříznutí nitě testovanými čepeli, směrodatné odchylky a medián [g].

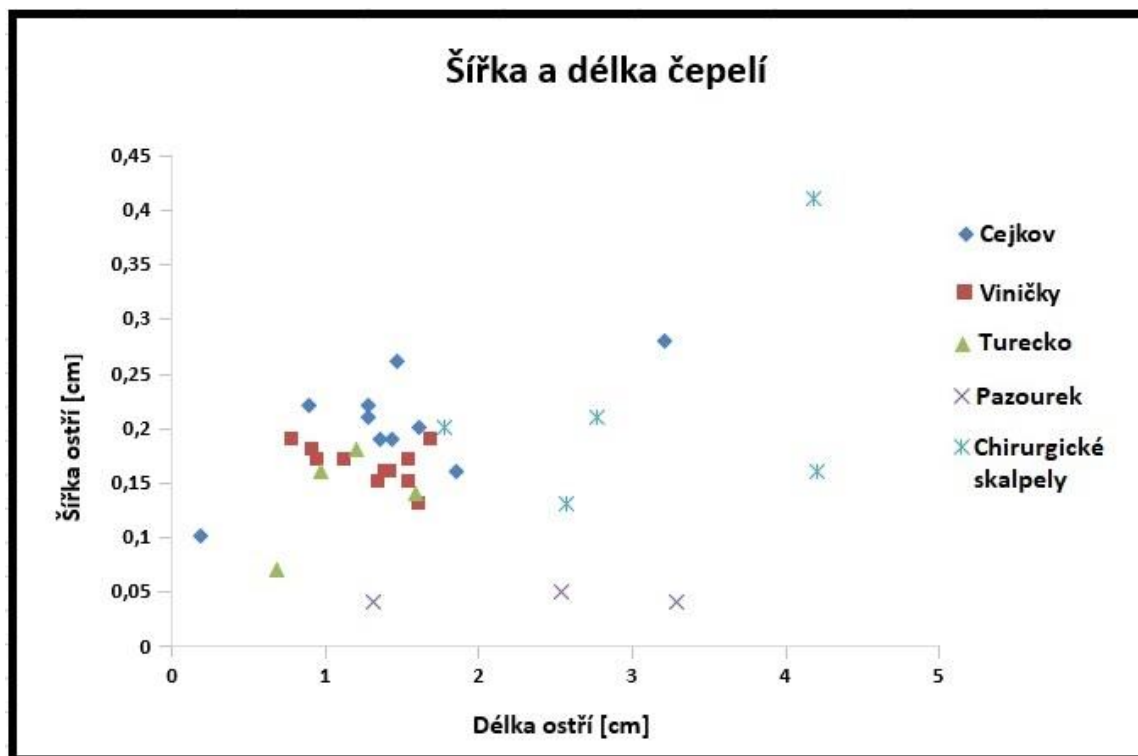
V experimentálním testování ostrosti pomocí digitální váhy měl nejostřejší čepel malý chirurgický skalpel s průměrnou hodnotou 26,52 g. Naopak nejtupější byla čepel vyrobená z pazourkové suroviny, jejíž průměrná hodnota vyšla 138,26 kg. Z grafu č. 1 lze dále vyčíst, že druhou nejostřejší čepel měl velký chirurgický skalpel s průměrnou hodnotou 30,7 g. Čepel z obsidiánu z Viniček se projevila jako 3. nejostřejší s průměrnou hodnotou 65,1 g. Po ní následovala čepel z obsidiánu z Cejkova s průměrnou hodnotou 108,76 g.



Graf 1 Spojnicový graf znázorňující všechna měření provedené při experimentálním testu ostrosti pomocí digitální váhy (Kučerová 2022).

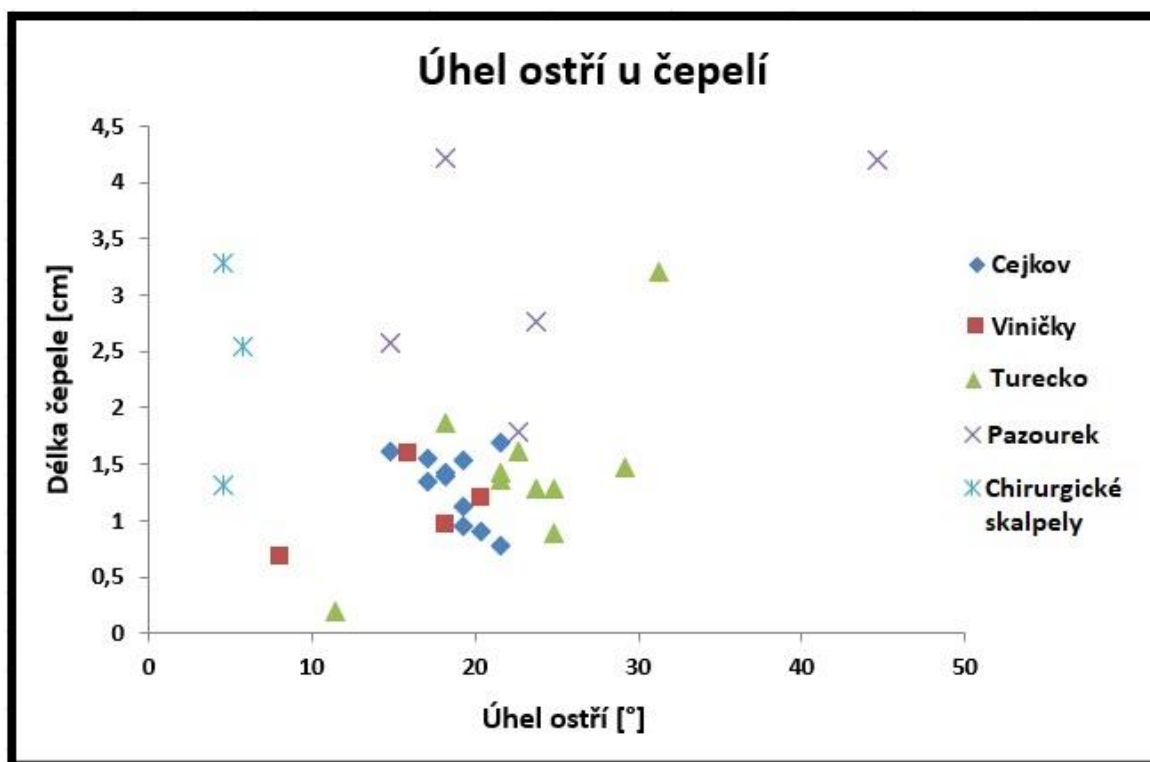
7.3 Měření úhlu ostří pomocí šupléry

Měření úhlu ostří pomocí digitální šupléry tzv. posuvnou metodou bylo provedeno u 33 čepelí (graf 3). Jednalo se celkem o 11 obsidiánových čepelí z Cejkova, 4 obsidiánové čepele z Viniček, 10 čepelí z tureckého obsidiánu, 5 čepelí z pazourku a 3 čepele z chirurgické oceli (malá, velká, malá zakřivená). Parametry všech testovaných čepelí jsou vyjádřeny v grafu 2 a v příloze 3. Vzdálenost mezi ostřím měřené čepele a její šířkou byla stanovena na 0,5 mm.



Graf 2 Šířka a délka testovaných čepelí.

U malého zakřiveného a velkého skalpelu z chirurgické oceli vyšla shodná hodnota úhlu ostří $4,58^\circ$, u klasického malého skalpelu byl úhel ostří o stupeň vyšší, konkrétně $5,72^\circ$. Z experimentálně vyrobených čepelí vyšel po zprůměrování výsledků úhel ostří u čepelek z obsidiánu z Viniček $15,63^\circ$, u čepelek z obsidiánu z Cejkova $18,78^\circ$, u čepelek z tureckého obsidiánu (Hasan Dagi) $22,90^\circ$ a u čepelek z německého pazourku (Rujána) $24,78^\circ$. Z výsledků měření úhlu ostří vyšly jako nejostřejší všechny tři měřené chirurgické skalpely (malý, velký, malý zakřivený). Podle pořadí od nejmenšího po největší úhel následovaly čepele z obsidiánu z Viniček, poté čepele z obsidiánu z Cejkova, dále čepele z tureckého obsidiánu a největší úhel ostří měly čepele z německého pazourku. Z tohoto měření vyplývá, že teoreticky nejostřejší jsou malý zakřivený a velký skalpel z chirurgické oceli, a naopak nejméně ostré jsou čepele z německého pazourku.



Graf 3 Všechny naměřené hodnoty úhlu ostří [°] u testovaných čepelí.

8. Diskuze

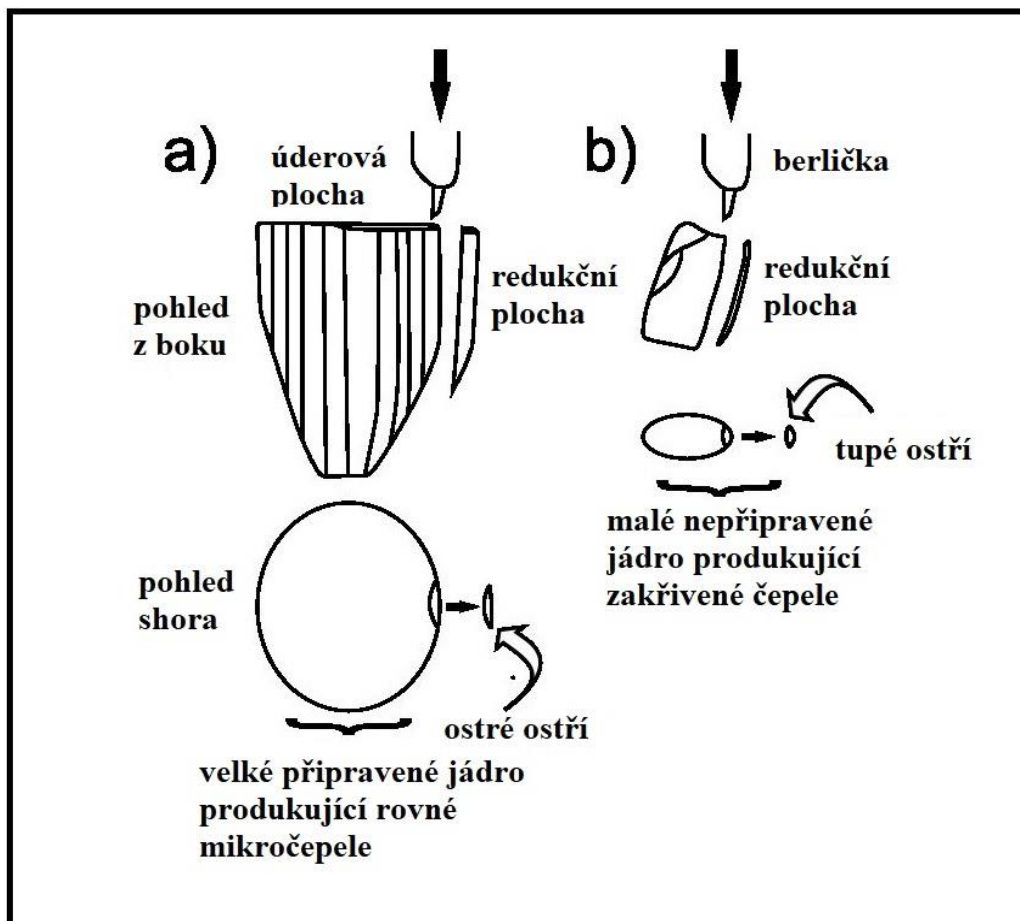
Experimentální testování ostrosti slovenských obsidiánů ukázalo různé výsledky u různých testů. Ve dvou ze tří testování, konkrétně u měření úhlu ostří a řezání provázku uchyceného na kuchyňské váze, byly ostřejší skalpely z chirurgické oceli.

Povrchová drsnost řezaného materiálu (vydělané hovězí kůže) byla obecně menší v případě obsidiánových čepelí, ale nejednalo se o pravidlo. Malý chirurgický skalpel vykázal překvapivě nejhorší výsledek, velký skalpel měl výrazně lepší výsledky. Slovenský obsidián vykázal nejlepší výsledek ze všech testovaných čepelí v případě řezání první čepelí. Při aplikaci druhé čepelce naopak dopadl nejhůře, výsledky jsou proto nejisté. Navíc v důsledku nerovnosti obsidiánových čepelí docházelo při řezání k občasnému zadrhávání.

Měření síly vyvinuté při řezání provázku zavěšeném na digitální váze pak jasně ukázalo na vyšší ostrost ocelových skalpelů. Při řezání čepelí z obsidiánů docházelo opět k zasekávání ostří o nit vlivem nerovnosti vlastní řezné hrany, čímž došlo k vyvinutí vyššího tlaku. To je v rozporu s dříve provedenými experimenty (např. Scott – Scott, 1982; Buck, 1982), kde byla uváděna až 100x i 1000x vyšší ostrost obsidiánových skalpelů. Může za to zřejmě nerovnost a nepravidelnost čepelí ze slovenského obsidiánu, pozorovatelná ovšem jak při jejich získávání přímým úderem, tak při těžbě tlakem. Na vině tedy asi není způsob těžby, ale malá velikost obsidiánových jader (bloků suroviny). Velikost vzorků obsidiánu z Viniček a Cejkova totiž velikostně nepřesahují 3 až 5 cm, což omezuje možnost jejich přípravy, která by byla možná u větších kusů (které byly na zmíněných lokalitách k dispozici v pravěku; Janšák, 1935). Malá a málo připravená jádra logicky produkují nepravidelné a podélně zakřivené čepelce (obr.11) O kvalitě obsidiánové suroviny zde tedy nerozhoduje množství nehomogenit v její hmotě (ojedinělé krystalické fáze a trichity – ostatně velmi drobné), ale velikost suroviny na zdrojích. Svědčí o tom fakt, zjištěný mnou dříve (Kučerová, 2018), že rovněž méně homogenní turecký obsidián s množstvím krystalických fází z Hasan Dagi často produkoval pravidelnější čepelce (na základě pozorování pod SEM a konfokálním mikroskopem) než slovenské obsidiány. Větší jádra suroviny totiž nevedou k pouze rovnějším čepelím v podélném směru, ale také k menšímu sklonu ploch vytvářejících ostří. Ačkoliv je tedy slovenský obsidián jemnozrnný a špice jeho ostří zřejmě tenčí než u ocelového skalpelu, je nakonec vlivem podélného a příčného zakřivení méně pravidelný

než čepele z hrubozrnnějších surovin schopných vyprodukovat méně zakřivené čepele, což vede k jeho zadrhávání při řezu. Ostrost, stejně jako tzv. kvalita suroviny, tak nelze vyjádřit pouze v mikroměřítku, ale s ohledem na celou čepel (případně i velikost dostupných bloků či hlíz).

Při měření úhlu ostří se opět ukázaly skalpely z chirurgické oceli jako nejostřejší, jelikož jejich úhel ostří byl nejnižší. Z experimentálně vyrobených čepelí měly oba východoslovenské obsidiány podobnou hodnotu úhlu ostří, v tomto případě s o 10 až 13° vyšší hodnotou. Turecký obsidián a německý pazourek měly nejvyšší úhel ostří. Zde se tedy naopak jako ostřejší ukázaly východoslovenské obsidiány než nehomogenní turecký obsidián a německý pazourek z Rujány, který přitom patří mezi velmi dobře štípatelné suroviny (Moník – Hadraba, 2016).



Obr. 11 Schéma znázorňující mikročepele odštípnuté z velkého (a) a připraveného obsidiánového jádra, které jsou rovnější a ostřejší, než mikročepele z malého (b), nepřipraveného jádra (Kučerová, 2021).

9. Závěr

Tato práce byla zaměřená na posouzení experimentálně vyrobených čepelí ze slovenského obsidiánu k potenciálnímu využití v moderní chirurgii. Z výsledků získaných během laboratorního výzkumu se dá usoudit, že východoslovenský obsidián není vhodnou surovinou pro výrobu chirurgických skalpelů. Aplikovaná metodika v této práci nepřinesla výsledky, které by tomu nasvědčovaly. Ač jsou oba typy východoslovenského obsidiánu téměř homogenní (Švecová, 2011; Kučerová, 2018), většina čepelí vyrobené z nich disponuje nepravidelným ostřím, které při řezání způsobuje trhání řezaného materiálu (což se prokázalo při experimentálním testování pomocí digitální váhy i při řezání do hovězí kůže pomocí robotické paže). V minulé práci (Kučerová, 2018) se předpokládalo, že za nerovnost ostří by mohla být zodpovědná zvolená technika při výrobě čepelí, nicméně i přes změnu techniky (na těžbu tlakem) zůstaly obsidiánové čepele zakřivené, nepravidelné a vytvářející strmě se sbíhající (a tudíž poněkud tupé) hrany. Je to dáno malými rozměry vzorků z výchozů a nemožností jejich dostatečně přípravy před odražením čepelí. Výhodou obsidiánových čepelí je ale hladkost jejich boků, což vede k menšímu zásahu do řezané kůže a tím potenciálně rychlejšímu hojení ran. V současném stavu je tedy použití slovenského obsidiánu v chirurgii teoreticky proveditelné, mnohem perspektivnější by ale bylo v případě nalezení výchozů dostupných v pravěku, na kterých se musely nacházet bloky suroviny decimetrových rozměrů.

10. Seznam zkratek

AFM – Atomic Force Microscopy

BP – bakalářská práce

CATRA – Cutlery and Allied Trades Research Association

CLSM – Confocal Laser Scanning Microscopy

DP – diplomová práce

g – gram

IR – infračervený

J – Joule

KST – Knife Sharpness Tester

m – metr

N – Newton

Ra – povrchová drsnost

SDCM – Spinning Disc Confocal Microscopy

SEM – skenovací elektronová mikroskopie

SPM – Scanning Probe Microscopy

SST – Scalpel Sharpness Tester

ST – Sharpness Tester

WHO – světová zdravotnická organizace

XRD – rentgenová difrakce

11. Seznam použité literatury

Atkins T. (2009 a): The Science and Engineering of Cutting. The Mechanics and Processes of Separating, Scratching and Puncturing Biomaterials, Metals and Non-Metals. – Butterworth-Heinemann, Amsterdam.

Bačo P., Kaminská E., Lexa J., Pécskay Z., Bačová Z., Konečný V. (2017): Occurrences of Neogene volcanic glass in the Eastern Slovakia – Raw material source for the stone industry. – Anthropologie, 55, 1-2: 207-230.

Bamforth D. B. (1986): Technological Efficiency and Tool Curation. – American Antiquity, 51, 1, 38-50.

Bañácký V., Vass D., Kaličiak M., Remšík A., Pospíšil E. (1988): Vysvetlivky ku geologickej mape severnej časti Východoslovenskej nížiny 1: 50 000. – Geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava.

Baud P., Wong T.F., Zhu W. (2014): Effects of Porosity and Crack Density on the Compressive Strength of Rocks. – International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 67, 202-211.

Bishu R.R., Calkins C., Lei X., Chin A. (1996): Effect of knife type and sharpness on cutting forces. – Advances in Occupational Ergonomics and Safety I.,2, 479-483.

Brantingham P. J., Olsen J. W., Rech J. A., Krivoshapkin A. I. (2000): Raw material quality and prepared core technologies in Northeast Asia. – Journal of Archaeological Science, 27, 255-271.

Braun D. R., Plummer T., Ferraro J. V., Ditchfield P., Bishop L. C. (2009): Raw material quality and Oldovan hominin toolstone preferences: evidence from Kanjera South, Kenya. – Journal of Archaeological Science, 36, 1605-1614.

- Brzostowski J., Sohn H. (2021):** Confocal Microscopy. – Springer, Berlin.
- Buck B. A. (1982):** Ancient Technology on Contemporary Surgery. – The Western Journal of Medicine, 136, 265-269.
- Clark J. E. (2012):** Stoneworkers' Approaches to Replicating Prismatic Blades. – In: Desroisiers P. M.: The emergence of pressure blade making, 43-135. – Springer Science + Business Media, New York.
- Cotterell B., Kamminga J. (1987):** The Formation of Flakes. – American Antiquity, 52, 4, 675-708.
- Cotterell B., Kamminga J. (1990):** Mechanics of Pre-industrial Technology: An Introduction to the Mechanics of Ancient and Traditional Material Culture. – Cambridge University Press, Cambridge.
- Delgado-Raack S., Risch R., Martínez Fernandez F., Rosas-Casals M. (2020):** Material principles and economic relations underlying Neolithic axe circulation in Western Europe. – Journal of Archaeological Method and Theory, 27, 771-798.
- Dibble H. L., Bernard M. C. (1980):** A Comparative Study of Basic Edge Angle Measurement Techniques. – American Antiquity, 45, 4, 857-865.
- Domanski M., Webb J., Boland J. (1994):** Mechanical Properties of Stone Artifact Materials and the Effect of Heat Treatment. – Archaeometry, 36, 177-208.
- Domanski M., Webb J. (2007):** A review of heat treatment research. – Lithic Technology, 32, 153-194.
- Domanski M., Webb J., Glaisher R., Gurba J., Libera J., Zakoscielna A. (2009):** Heat treatment of Polish flints. – Journal of Archaeological Science, 36, 1400-1408.

Flisram D. G., Rattmann J. A., Skaar G.R., Holmes T. L. (1995): Measuremen of cutting edge sharpness, US Patent 5 379 633. – Oscar Mayer Foods Corporation, Madison, Wisconsin.

Gonzáles – Darder J. M. (2017): La trepanación craneal en las culturas primitivas. – Neurocirugía, 28, 28-40.

Goodman R. E. (1989): Introduction to Rock Mechanics. - John Wiley and Sons Ltd., New York, United States.

Hamdi E., Lafhaj Z. (2013): Microrockacking based rock classification using ultrasonic and porosity parameters and multivariate analysis methods. – Engineering Geology 167, 27-36.

Haugstad, G. (2012): Atomic Force Microscopy: Understanding Basic Modes and Andvanced Applications. – John Wiley and Sons Inc., Hoboken, New Jersey, United States.

Haviland W. A., Walrath D., Prins H. E. L., McBride B. (2010): Evolution and Prehistory: The Human Challenge, Nineth Edition. – Wadsworth Publishing, Belmont.

Inizan M. L., Reduron-Ballinger M., Roche H., Tixier J. (1999): Technology and Terminology of Knapped Stone. – Cercle de Recherches et d'Etudes, Nanterre.

Janšák Š. (1935): Praveké sídliská s obsidiánovou industriou na východním Slovensku. – Ján Pocisk a spol, Bratislava

Jussila J., Leppäniemi A., Paronen M., Kulomäki E. (2005): Ballistic Skin Simulant. – Forensic Science International, 150, 63-71.

Kaminská E., Ďud'a R. (1985): K otázke významu obsidiánovej suroviny v paleolite Slovenska. – Archeologické rozhledy, 37, 121-129.

Kerschmann R. L., Bolles M. E., Hendrickson A. D. (2001): Method and apparatus for measurement of microtome performance, US Patent 6 330 348 B1. – Resolution Sciences Corporation, Corte Madera, California.

Key A. J. M. (2016): Integrating mechanical and ergonomic research within functional and morphological analyses of lithic cutting technology: Key principles and future experimental directions. – *Ethnoarchaeology*, 8, 69-89.

Key A. J. M., Proffitt T., de la Torre I. (2020): Raw material optimization and stone tool engineering in the Early Stone Age of Olduvai Gorge (Tanzania). – *Journal of The Royal Society Interface*, 17(162), 1-7.

Kubínek R., Vůjtek M., Mašláň M. (2003): Mikroskopie skenující sondou. – Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.

Kučerová S. (2018): Posouzení vhodnosti východoslovenského obsidiánu pro výrobu chirurgických skalpelů. – Bakalářská práce, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.

Kuo, J. (2013): Electron Microscopy. – Humana Press Inc, Totowa, New Jersey.

Leboutitz K. S., Migliuolo M. (2002): Cutting instrument having integrated sensors, US Patent 6 494 882 B1. – Verimetra Inc., Pittsburgh, Pennsylvania.

Lerner H., Xiangdong D., Costopoulos A., Ostoja-Starzewski M. (2007): Lithic raw material physical properties and use-wear accrual. – *Journal of Archaeological Science*, 34(5), 711-722.

Lexa J., Kaličiak M. (2000): Geotectonic Aspects of the Neogene Volcanism in Eastern Slovakia. – *Mineralia Slovaca*, 32(3), 205-210.

Luedtke B. E. (1992): An Archeologist's Guide to Chert and Flint. – Cotsen Institute of Archaeology Press, Los Angeles.

McCarthy C. T., Gilchrist M. D., Hussey M. (2007): On the sharpness of straight edge blades in cutting soft solids: Part I – Indentation experiments. – *Engineering Fracture Mechanics*, 74, 2205-2224.

McCarthy C. T., Ní Annaidh A., Gilchrist M. D. (2010): On the sharpness of straight edge blades in cutting soft solids: part II – Analysis of blade geometry. – *Engineering Fracture Mechanics*, 77, 437-451.

McGorry R. W., Dowd P. C., Dempsey P. G. (2005): A technique for field measurement of knife sharpness. – *Applied Ergonomics*, 36(5), 635-340.

McIlrath S. (1984): Obsidian blades: Tomorrow's surgical tools? – *American Medical News*, November 2, 29-30.

Midgley M. (1981): *Heart and Mind: The Varieties of Moral Experience.* –Harvester Press, Sussex, United Kingdom.

Moník M., Hadraba H. (2016): Mechanical characterization of raw material quality and its implication for Early Upper Palaeolithic Moravia. – *Quaternary International*, 425, 425-436.

Moník M., Delgado-Raack S., Hadraba H., Jech D., Risch R. (2021): Rock physics and the circulation of Neolithic axeheads in central Europe and the western Mediterranean. – *Wear*, 474-475, 203708.

Morita T., Ochi T. (1996): Apparatus for measuring a cutting blade width in a cutting apparatus, US Patent 5 573 442. – Shima Seiki Manufacturing Limited, Wakayama, Japan.

Navrátil L., Rosina J. (2005): *Medicínská biofyzika.* – Grada, Praha.

Pelcin A. W. (1997 a): The effect of core surface morphology on flake attributes: Evidence from a controlled experiment. – *Journal of Archaeological Science*, 24(8), 749-756.

- Pelcin A. W. (1997 b):** The formation of flakes: The role of platform thickness and exterior platform angle in the production of flake initiations and terminations. – *Journal of Archaeological Science*, 24(12), 1107-1113.
- Ping Ch. Y. (2011):** A study of the penetration and sharpness of surgical blade. – Diplomová práce, Universiti Sains Malaysia.
- Přichystal A. (2009):** Kamenné suroviny v pravěku východní části střední Evropy. – Masarykova Univerzita, Brno.
- Přichystal A., Škrdla P. (2014):** Kde ležel hlavní zdroj obsidiánu v pravěku střední Evropy? – *Slovenská archeológia*, 62 (2), 215-225.
- Reilly G. A., McCormack B.A.O., Taylor D. (2004):** Cutting sharpness measurement: a critical review. – *Journal of Materials Processing Technology*, 153-154, 261-267.
- Schöpfer M. P. J., Abe S., Childs C., Walsh J. J. (2009):** The Impact of Porosity and Crack Density on the Elasticity, Strength and Friction of Cohesive Granular Materials: Insights from DEM Modelling. – *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 46, 250–261.
- Schuldt S., Arnold G., Roschy J., Schneider Y., Rohm H. (2013):** Defined abrasion procedures for cutting blades and comparative mechanical and geometrical wear characterization. – *Wear*, 300, 38-43.
- Schuldt S., Arnold G., Kowalewski J., Schneider Y., Rohm H. (2016):** Analysis of the sharpness of blades for food cutting. – *Journal of Food Engineering*, 188, 13-20.
- Schuldt S., Schneider Y., Rohm H. (2018):** High-speed cutting of foods: Cutting behaviour and initial cutting forces. – *Journal of Food Engineering*, 230, 55-62.
- Scott M. J., Scott M. J. Jr. (1982):** Obsidian Surgical Blades: Modern Use of a Stone Age Implement. – *The Journal of Dermatologic Surgery and Oncology*, 8 (12), 1050-1052.
- Shea J. J. (2015):** Making and using stone tools: Advice for learners and teachers and insights for archaeologists. – *Lithic Technology*, 40, 231-248.

Švecová E. (2011): Charakteristika vulkanických skel z Karpat a jejich využívání v pravěku. – Diplomová práce, Masarykova univerzita, Brno.

Internetové zdroje:

www1: The University Record – University of Michigan. Health & Medicine. Dostupné z: http://www.ur.umich.edu/9798/Sep10_97/surgery.htm (cit. 18. 4. 2020).

www2: Gritomatic. Laser Edge Goniometer Lite. Dostupné z: https://www.gritomatic.com/products/laser-knife-edge-goniometer?_pos=3&_sid=37d52aae8&_ss=r (cit. 2.8.2021).

www3: CATRA. Testing equipment. Dostupné z: <https://www.catra.org/testing-equipment/knife-edges/automatic-edge-tester/> (cit. 29.3.2021).

www4: Anago. Products. Knife Sharpness Testers. Dostupné z: <https://anago.co.nz/anago-product-range/knife-sharpness-testers/> (cit. 6.1.2022).

www5: Anago. Products. Scalpel Sharpness Tester. Dostupné z: <https://anago.co.nz/anago-product-range/scalpel-sharpness-testers/> (cit. 20.11.2021).

www6: Mapový portál. Geologické mapy. Geologická mapa Slovenska M 1:50 000. Dostupné z: <http://apl.geology.sk/gm50js/> (cit. 2. 5. 2021)

Přílohy

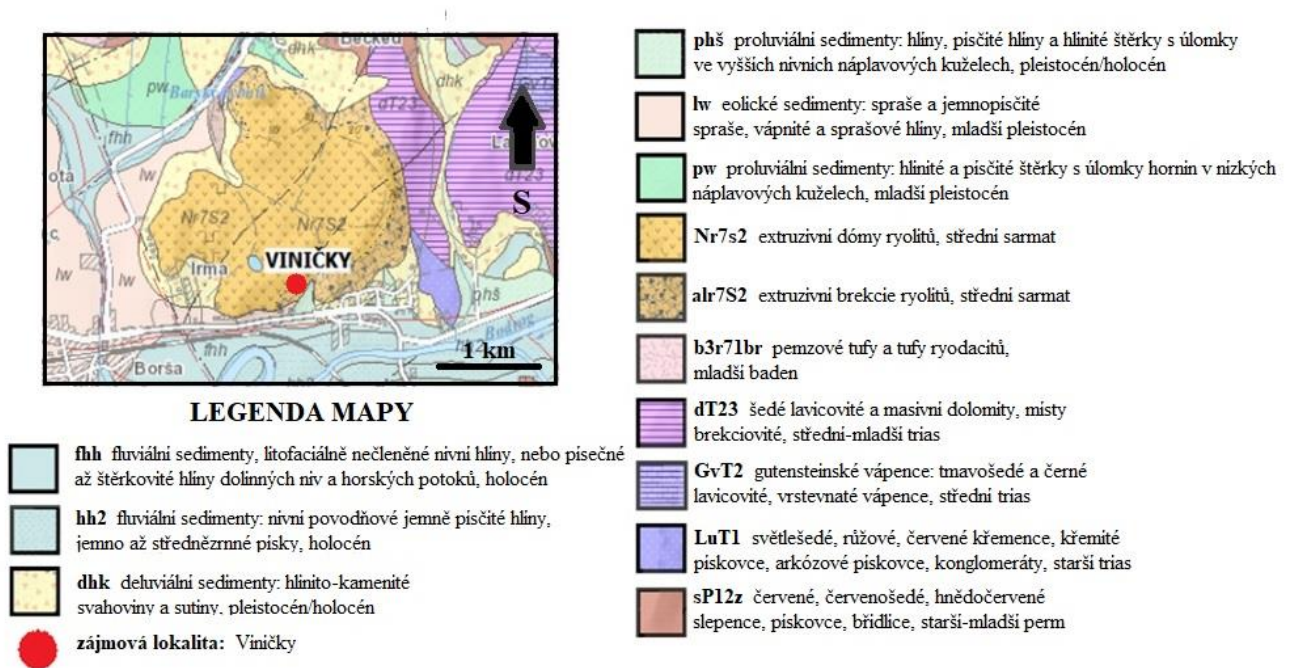
Příloha 1: Geologická mapa lokality Viničky a Cejkov

Příloha 2: Pazourek z německého ostrova Rujána

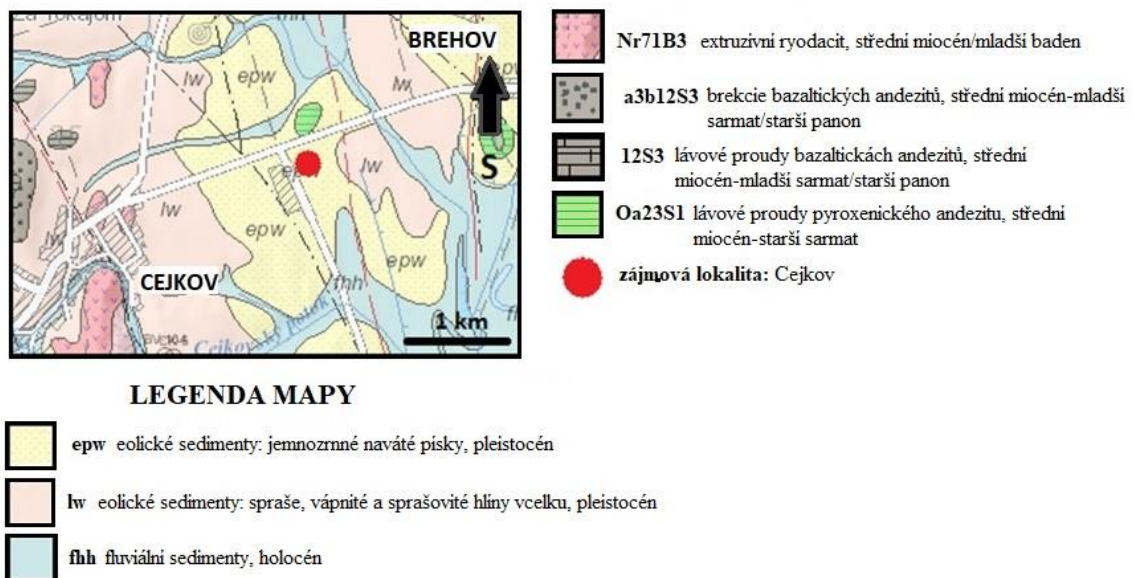
Příloha 3: Přehled délek, šířek a úhlů ostří testovaných čepelí

Příloha 4: Výsledky experimentálního testu ostrosti pomocí digitální váhy

Příloha 1: Geologické mapy lokality Viničky a Cejkov



Obr. 1 a Geologická mapa lokality Viničky (www6).



Obr. 1 b Geologická mapa lokality Cejkov (www6).

Příloha 2: Pazourek z německého ostrova Rujána



Obr. 2 a Pazourek z německého ostrova Rujána (Kučerová, 2018).



Obr. 2 b Obsidián z okolí tureckého stratovulkánu Hasan Dagi (Kučerová, 2018).

Příloha 3: Přehled délek, šířek a úhlů ostří testovaných čepelí

Testovaná čepel	Délka čepele [cm]	Šířka čepele [cm]	Úhel ostří [°]
Velký skalpel z chir. oceli	3,29	0,04	4,58122
Malý skalpel z chir. oceli	2,54	0,05	5,72481
Malý zakřivený skalpel z chir. oceli	1,31	0,04	4,58122
Viničky 1	1,59	0,14	15,9392
Viničky 2	0,68	0,07	8,00835
Viničky 3	0,97	0,16	18,1806
Viničky 4	1,2	0,18	20,4079
Cejkov 1	0,91	0,18	20,4079
Cejkov 2	1,55	0,15	17,0615
Cejkov 3	1,69	0,19	21,5159
Cejkov 4	1,35	0,15	17,0615
Cejkov 5	1,54	0,17	19,2961
Cejkov 6	1,61	0,13	14,8138
Cejkov 7	1,39	0,16	18,1806
Cejkov 8	1,12	0,17	19,2961
Cejkov 9	0,78	0,19	21,5159
Cejkov 10	0,95	0,17	19,2961
Cejkov 11	1,42	0,16	18,1806
Turecko 1	3,21	0,28	31,2845
Turecko 2	1,86	0,16	18,1806
Turecko 3	1,36	0,19	21,5159
Turecko 4	1,28	0,22	24,8148
Turecko 5	1,47	0,26	29,1484
Turecko 6	1,61	0,2	22,6199
Turecko 7	0,86	0,22	24,8148
Turecko 8	1,43	0,19	21,5159
Turecko 9	0,19	0,1	11,4212
Turecko 10	1,28	0,21	23,7196
Pazourek 1	1,78	0,2	22,6199
Pazourek 2	2,57	0,13	14,8138
Pazourek 3	4,21	0,16	18,1806
Pazourek 4	4,19	0,41	44,5873
Pazourek 5	2,77	0,21	23,7196

Tab.1 Přehled délek, šířek a úhlů ostří testovaných čepelí.

Příloha 4: Výsledky experimentálního testu ostrosti pomocí digitální váhy v g.

ČM	Viničky [g]	Cejkov [g]	Turecko [g]	Pazourek [g]	MCHS [g]	VCHS [g]
1.	98	142	50	187	49	72
2.	86	183	89	169	49	25
3.	49	153	51	158	48	44
4.	107	128	5	114	40	88
5.	109	183	70	143	27	46
6.	110	143	38	133	48	27
7.	199	117	60	123	39	28
8.	75	189	8	138	24	27
9.	76	193	111	160	18	31
10.	34	49	19	111	26	27
11.	92	35	36	100	11	30
12.	84	41	45	182	19	35
13.	180	60	72	161	36	24
14.	36	111	34	196	8	27
15.	51	138	24	130	48	55
16.	57	207	27	158	28	42
17.	47	64	124	145	31	62
18.	27	85	48	150	18	22
19.	66	67	105	155	30	36
20.	67	83	84	97	8	29
21.	17	36	69	143	17	36
22.	38	61	108	150	9	28
23.	54	54	36	158	17	45
24.	118	91	17	182	58	33
25.	74	84	36	65	32	24
26.	190	72	156	123	18	34
27.	58	67	46	174	31	17
28.	64	119	158	130	29	20
29.	57	153	39	180	17	29
30.	12	118	34	162	14	19
31.	64	181	30	111	17	23
32.	61	86	127	141	10	22
33.	17	94	183	145	10	8
34.	24	96	72	91	38	17
35.	31	177	69	81	11	42
36.	31	126	33	185	40	28
37.	22	100	47	89	18	17
38.	40	83	55	169	35	20
39.	54	143	17	84	37	29
40.	58	88	78	168	18	35
41.	39	179	98	125	20	22
42.	38	125	103	138	28	39
43.	22	148	127	124	9	13
44.	29	137	120	134	8	26
45.	28	95	108	158	52	29
46.	48	40	41	98	24	24
47.	58	88	74	100	18	29
48.	123	63	155	171	37	17
49.	38	85	22	89	30	7
50.	98	78	69	140	19	26

Tab. 2 Výsledky experimentálního testu ostrosti pomocí digitální váhy v g. Zkratky: ČM = číslo měření, MCHS = malý chirurgický skalpel, VCHS= velký chirurgický skalpel.