

Univerzita Hradec Králové
Přírodovědecká fakulta
Katedra biologie

Morfometrie mikroforem zvětrávání, odnosu a jejich
potenciální puklinová predispozice

Diplomová práce

Autor: Bc. Jan Chlupáč
Studijní program: N1501 Biologie
Studijní obor: Systematická biologie a ekologie
Vedoucí práce: doc. RNDr. Karel Šilhán PhD.



Zadání diplomové práce

Autor: Jan Chlupáč

Studium: S18BI005NP

Studijní program: N1501 Biologie

Studijní obor: Systematická biologie a ekologie

Název diplomové práce: **Morfometrie mikroforem zvětrávání a odnosu a jejich potenciální puklinová predispozice**

Název diplomové práce AJ: Morphometry of weathering microforms and their possible crevice prediposition

Cíl, metody, literatura, předpoklady:

- Fyzicko-geografická charakteristika zájmové lokality
- Rešerše geomorfologie a výzkumů na studované lokalitě
- Teoretická charakteristika vybraných mikroforem reliéfu (geneze, predispozice): rešerše
- Výběr skalních stěn s výskytem voštin
- Měření morfometrických parametrů voštin ve čtvercových sítích o ploše 1 m²
- Měření geologickým kompasem ve čtvercových sítích voštin (velikost/směr sklonu a hustota puklin)
- Statistické testování rozdílů mezi parametry voštin na jednotlivých stěnách a komparace s parametry puklin

Adamovič, J., Mikuláš, R., Cílek, V. 2010. Atlas pískovcových skalních měst České a Slovenské republiky: Geologie a geomorfologie. Praha: Academia, 460 s.

Balatka, B., Sládek, J. 1984. Typizace reliéfu kvádrových pískovců české křídové pánve. Rozpravy ČSAV, Praha: Academia.

Bezvodová, B., Demek, J., Zeman, A. 1985. Metody kvartérně geologického a geomorfologického výzkumu. Praha: SPN.

Demek, J., 1987. Obecná geomorfologie. Praha: Academia.

Imlauf, L., Kaválek, M., Čuhanič, P. 2004. Skalní města severovýchodních Čech.

Kopecký, J., Cacoň, S. 1989. 2. symposion o pseudokrasu: Stav a problematika výzkumu pseudokrasu v kvádrových pískovcích Broumovské vrchoviny. Praha, 147 s.

Rubín, J., Balatka, B., Ložek, V., Malkovský, M., Pilous, V., Vitek, J. 1986. Atlas skalních, zemních a půdních tvarů. Praha: Academia.

Vitek, J. 1979. Pseudokrasové tvary v kvádrových pískovcích severovýchodních Čech. Praha, 57 s.

Garantující pracoviště: Katedra biologie,
Přírodovědecká fakulta

Vedoucí práce: doc. RNDr. Karel Šilhán, Ph.D.

Oponent: RNDr. PhDr. Ivo Králíček, Ph.D.

Datum zadání závěrečné práce: 23.1.2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně, a že jsem v seznamu použité literatury uvedl všechny zdroje, ze kterých jsem vycházel.

V Hradci Králové dne 17.6. 2021

Bc. Jan Chlupáč

Poděkování

Děkuji doc. RNDr. Šilhánovi za podnětné rady, literaturu a připomínky poskytnuté pro práci i v průběhu konzultací při vedení bakalářské práce. Také děkuji Mgr. Bubalovi z Muzea Českého ráje za poskytnutí četné literatury na zadané téma a sdělení potřebných informací k lokalitě. Velké díky patří doc. RNDr. Bruthansovi Ph.D. a RNDr. Mikulášovi DSc. za poskytnutou literaturu na dané téma. Další velké poděkování patří Mgr. Janu Lněničkovi za textovou korekci a mojí sestře Evě Chlupáčové za pomoc při měření voštin a puklin.

Anotace

Diplomová práce se rozděluje do několika částí, první z nich je literární rešerše zájmové oblasti PR Hruboskalska a okolí, komplexně se nachází v Českém ráji, kde popisují pískovcový fenomén, který patří do UNESCO světového geoparku. Druhá nejdůležitější část je měření voštin a puklin na šesti různých pískovcových výchozech a mým cílem je zjistit, zda-li příčina vzniku voštin má či nemá souvislost s puklinami a vzájemné porovnání parametrů voštin na jednotlivých stěnách.

Klíčová slova

Voštiny, Český ráj, Skalní město Hrubá Skála, pískovce, pukliny.

Annotation

The diploma thesis is divided to a few section, first one is literary search locality of interest PR Hruboskalsko and surroundings, comprehensively is located in Bohemian paradise, where I describe sandstone phenomen, which belong to UNESCO world geopark. The second important part is measurement of honeycombs and crevise in six different sandstone outcrops and my target is find out, if the honeycombs does have any of context with crevises and comparison of each other parameters of honeycombs in individual walls.

Keywords

Honeycombs, Bohemian paradise, city rocks of Hrubá Skála, sandstones, crevise.

Obsah

1 Úvod	9
1.1 Základní pojmy a principy	9
1.2 Český ráj.....	10
1.2.1 Klimatické podmínky oblasti	11
1.3 Pískovcový fenomén.....	11
2 Literární rešerše	12
2.1 Charakteristika zájmové oblasti.....	12
2.1.1. Hruboskalsko	12
2.1.2. Blízké okolí hruboskalska	18
2.2 Kavernózní formy zvětrávání	18
2.2.1 Voštiny a tafone.....	18
2.2.2 Vznik voštin.....	19
2.2.3 Typy voštin a jejich vývoj.....	19
2.3 Pukliny.....	20
2.3.1 Význam.....	20
2.3.2 Potenciální vliv na vznik voštin	21
3 Metodika.....	22
3.1.Úvod a rešeršní část - zdroje	22
3.2. Výběr skalních stěn s výskytem voštin.....	22
3.2.1. Lokalita č. 1.....	23
3.2.2. Lokalita č. 2.....	24
3.2.3. Lokalita č. 3.....	25
3.2.4. Lokalita č. 4.....	26
3.2.5. Lokalita č. 5.....	27
3.2.6. Lokalita č. 6.....	28
3.3. Měření morfometrických parametrů voštin	28
3.4. Statistické testování rozdílů	31
4 Výsledky.....	32
4.1.Voštiny	32
4.2.Pukliny.....	43
5 Diskuze	49
5.1 Porovnání naměřených parametrů	49
5.1.1 Voštiny	49
5.1.2 Pukliny	49
5.1.3 Porovnání rozdílnosti voštin a puklin	50
5.2 Vliv puklin na vývoj voštin.....	50

5.3 Další výzkumy	50
6 Závěr	52
7. Seznam použité literatury	53

1 Úvod

Hlavním cílem práce je odhalení potenciálního vlivu drobné tektoniky na výskyt a morfometrické parametry voštin v rámci studovaného území. Měření voštin a puklin na pískovcích je neprobádaná oblast. Touto problematikou se zabýval doc. Bruthans a Filippi, kteří napsali i mnoho článků. Já osobně jsem chtěl pokračovat v psaní v oblasti geologie, protože jsem v problematice pískovců viděl smysl. Zabývám se voštinami a puklinami na pískovcových výchozech v oblasti Hrubé skály a přilehlých oblastí. Tuto oblast jsem vybral z hlediska hojného počtu stěn s voštinami.

V úvodu se zabývám obecnou charakteristikou oblasti a stručně popisuji fenomén pískovců. Pískovcové města v Českém ráji patří do světového geoparku UNESCO. Jako jediný z ČR spadá jak do evropského, tak i světového geoparku od roku 2005 z celkových 161 na celém světě. V praktické části se zabývám měřením puklin a voštin v terénu.

1.1 Základní pojmy a principy

Zkoumaný mikrorelief hruboskalského pískovce, konkrétně voštiny (Obrázek 1), patří mezi kavernózní formy zvětrávání – tj. vznik dutin a prohlubní, zejména na průčelí skalních stěn a svislých površích (Turkington et Phillips, 2004; Viles, 2005). Tento fenomén je kromě pískovce typický také pro granit, ale i jiné horniny (konglomeráty, tufy), a objevuje se po celém světě, přičemž výskyt je vázán na strukturálně a litologicky homogenní horniny (Paradise, 2013). Tzv. diskontinuity neboli nespojitosti narušují homogenitu pískovce a významně ovlivňují vznik různých forem zvětrávání. Pukliny vznikající v důsledku tektonických jevů jsou typickým příkladem nespojitostí. Mohou pouze kontrolovat tvar a distribuci pískovcového reliéfu nebo jsou přímo odpovědné za jeho původ tím, že oslabují horninu. K tomu dochází vlivem proudění vody z nitra skály k povrchu skrze pukliny (Filippi et al., 2018) a poklesem gravitačního stresu v jejich okolí (Bruthans et al., 2014). Síla gravitace totiž představuje důležitý faktor stability přírodních i umělých pískovcových monumentů (Ostanin et al., 2017; Řihošek et al., 2016).



Obrázek 1 – detail voštiny (foto J. Chlupáč, 2021)

1.2 Český ráj

Zájemová oblast se nachází v Českém ráji, který byl roku 1955 vyhlášen prvním CHKO tehdejšího Československa a roku 2005 mu byl přidělen titul globálního geoparku UNESCO. Geopark je rozsáhlé území vypovídající o vývoji Země, jeho přírodní hodnoty ovlivňují rozvoj společnosti v oblasti ekonomiky a kultury. Český ráj na ploše 700 km² skýtá širokou škálu geologických fenoménů (především pískovcový) a krajinných typů, přítomny jsou i archeologické a historické památky. Pestré horninové složení zahrnuje také vyvěřeliny, nechybí ani množství rudných ložisek včetně nalezišť vzácných nerostů a zkamenělin (Pásková et Řídkošil, 2006). Díky příhodným geologickým a klimatickým podmínkám je CHKO Český ráj co do geomorfologické pestrosti jedinečná ve světovém měřítku. Mnoho útvarů je pro tuto oblast specifických (Mikuláš, 2001). Kromě skalních měst se soutěskovitě oddělenými věžemi zde najdeme řadu tvarů mezoreliéfu a mikroreliefu: pseudokrasové jeskyně (např. Sklepy pod Troskami), skalní výklenky, římsy, brány, okna, abri (skalní úkryty, přístřešky), žlábkové škrapy, různé typy voštin (Obrázek 2), železité inkrustace. Ojedinelý je výskyt skalních hřibů na plošinách (Sedláček, 2002).



Obrázek 2 - typická stěna s voštinami + detail voštin v Českém ráji (foto J. Chlupáč, 2021)

1.2.1 Klimatické podmínky oblasti

CHKO Český ráj se nachází ve dvou klimatických oblastech – chladné a mírně teplé. Chladná oblast je oblast Kozákova směrem na S, která má krátké nebo velmi krátké léto s větším úhrnem srážek a jaro, podzim jsou období dlouhá, mírně chladná až chladná. Zimní období je dlouhé, mírně chladné, vlhké s dlouhodobou sněhovou pokrývkou (AOPK ČR).

Velká část území je zařazena do mírně teplé až teplé oblasti. Charakteristické je dlouhé, teplé a relativně suché léto. Přechodná období jsou mírně teplé. Krátká zima s téměř žádnou nebo s krátkotrvající sněhovou pokrývkou (AOPK ČR).

Minima byly naměřeny r. 1947 a sice 403 mm srážek. Naopak maxima v r. 1941, kdy spadlo 927 mm. Srážkový průměr se pohybuje od 110–140 dnů s úhrnem 1,0 mm. Nad 10 mm srážek denně se počítá 20–30 dní ročně (AOPK ČR).

- roční teplotní průměr: 7–8 °C
- roční srážkový průměr: 550–650 (700) mm

1.3 Pískovcový fenomén

Jedná se o komplex živé a neživé přírody se specifickým substrátem a reliéfem, kde obě složky vzájemně interagují a jsou ovlivňovány minulými i současnými zásahy (Adamovič et al., 2006b). Ložek (1995) definuje užší termín kvádrové pískovce, charakteristické střídáním vrstev o různé zrnitosti, k jejich oddělení od masivu je zapotřebí přítomnost vertikálních puklin.

Vývoj pískovcového reliéfu je kontinuální proces, který závisí na vlastnostech horniny a klimatických podmínkách. Cyklické střídání období menších změn s fázemi zrychlené eroze podmiňuje obrovskou komplexitu pískovcové krajiny. Po mrazovém zvětrávání probíhajícím původně pod povrchem během glaciálů pokračuje v diferenciaci vyzdviženého

pískovcového tělesa eroze různých typů a jejich kombinací. Vlivem hloubení údolí vodními toky a rovněž mrznoucí puklinové vody dochází ke skalnímu řícení. Pískovcový masiv je postupně členěn na menší a menší celky. Chemické zvětrávání činí povrch hornin křehčí a náchylnější vůči vzniku trhlin, živé organismy tento proces většinou zrychlují a prohlubují. Tekoucí vodu doprovází v erozní činnosti také atmosferické srážky (déšť, sníh, kroupy), vlhkost obecně a rovněž rostliny, které později naopak vytváří ochranný vegetační pokryv horniny. Okraj masivu je na erozi náchylnější, proto jsou od něj oddělovány jednotlivé skalní věže, které se na povrchu postupně zaoblují a na jejich stěnách podle rozdílů v odolnosti horniny vznikají prohlubně nebo naopak různé výčnělky (Adamovič et al., 2002, 2006b).

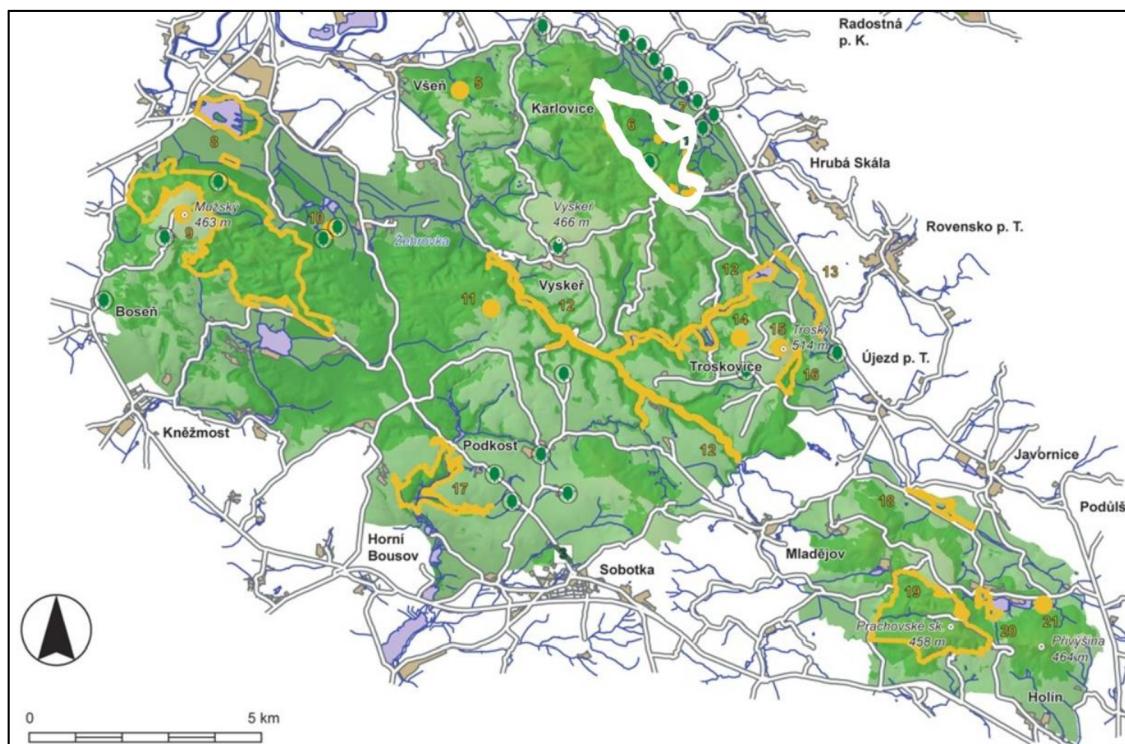
Kukal (2005) uvádí následující podmínky vzniku skalních měst: souvislost, dostatečnou mocnost a rozlohu masivu, homogenitu, soudržnost a zároveň propustnost horniny s větším množstvím vertikálních puklin, absenci překrývajících vrstev mladších sedimentů, vegetačního a půdního pokryvu, a konečně – pozvolnou a dlouhodobě působící erozi.

2 Literární rešerše

2.1 Charakteristika zájmové oblasti

2.1.1. Hruboskalsko

Přírodní rezervace Hruboskalsko je součástí Českého ráje (Obrázek 3). Území patří geomorfologicky do provincie Česká Vysočina, soustavy Česká tabule, podsoustavy Severočeská tabule, celku Jičínská pahorkatina, podcelku Turnovská pahorkatina, okrsku Vyskeřská vrchovina a podokrsku Hruboskalská vrchovina (Adamovič et al., 2010).



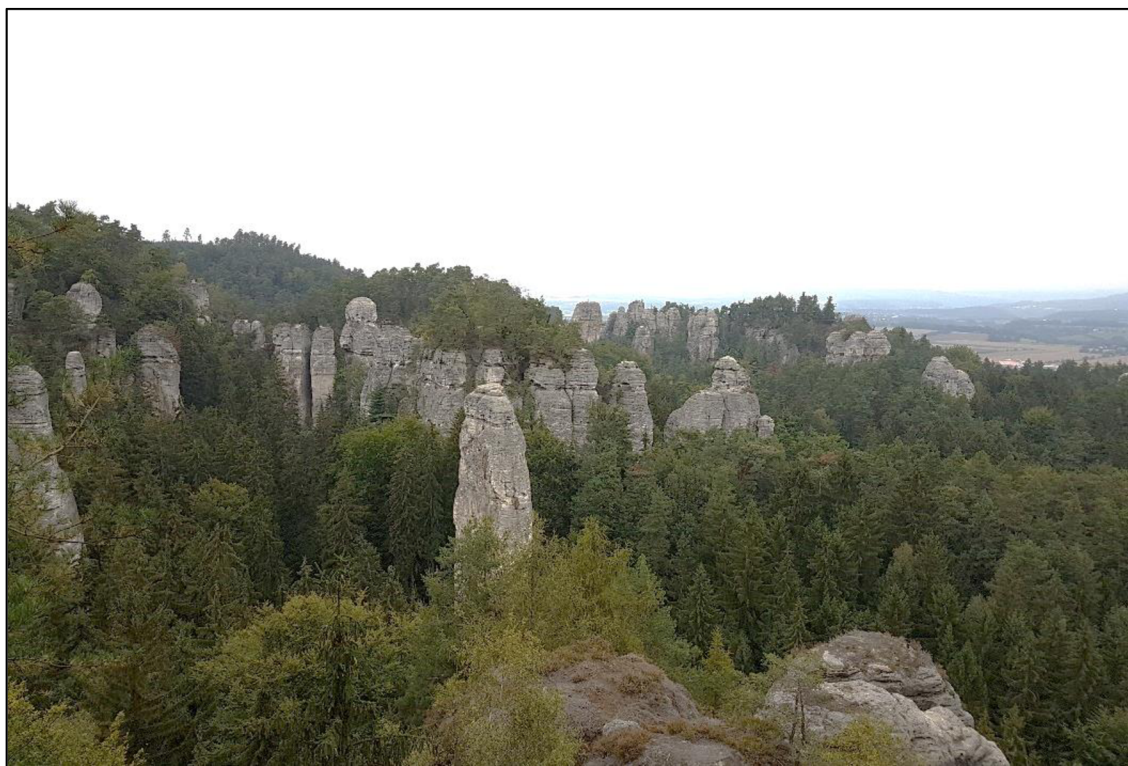
Obrázek 3 - Mapa CHKO Český ráj, vyznačená PR Hruboskalsko (<https://www.cesky-raj.cz/priroda/chko/chko-cesky-raj/>)

Hruboskalské skalní město spadá do kvádru teplického souvrství, tvoří ho slabě až středně zpevněné křemenné pískovce jemné až střední zrnitosti, světle šedé barvy. Termín kvádr

označuje rozpad masivu na svislé bloky podél na sebe kolmých puklin. Hruboskalské pískovce o celkové mocnosti 120 m a maximální výšce skalních výchozů 90 m vznikly navrstvením písku původem z Krkonoš a Jizerských hor ve velké podvodní deltě. Přesouváním dun po mořském dně a opětovnou nepravidelnou sedimentací písku došlo ke vzniku šikmých a výmolvých vrstev, které představují dva nejnižší řády ploch zdejších pískovců. Třetím řádem jsou plochy ukloněné o 4° k J až JV, jedná se o čela podmořské delty. Do nich zasahují plochy nejvyššího řádu, které jsou zvlněné erozí, pravděpodobně v důsledku seismické činnosti (Adamovič et al., 2006).

V podloží leží vápnité jílovce a prachovce se vzácnými odkryvy, jejich význam spočívá v zadržování vody prosakující pískovcem. Na styku těchto dvou vrstev se hojně vyskytují prameny (Adamovič et al., 2006a). Pískovcovou kru Hruboskalska ohraničuje na JV, J a JZ údolí Želejovského potoka a Žehrovky, na SZ údolí Jizery (Ziegler, 2010), na SV zlom v údolí Libuňky a na Z Kacanovský potok. Hlavní pukliny mají směr SZ-JV a SV-JZ, obě jsou v okolí Valdštejna a někdejší obce Nouzov proželezněny, u obce Konice jsou pískovce zpevněny navíc křemitými roztoky a byly zde těženy jako stavební materiál. Jediným třetihorně vulkanickým útvarem je čedičový vrch Vyskeř, ve vyšších partiích v okolí Hrubé Skály se zase nachází štěrkopísky z nejmladších třetihor (Adamovič et al., 2006).

Skalní věže stojí na hraně tektonické kry (Sýkorová et al., 2015), nejvýraznější dokonale vyvinutá dílčí skalní města jsou v okolí věže Maják, skupina Kapelníka (Obrázek 4) a Dračí skály, zbytek zerodované Hruboskalské plošiny je celistvějšího charakteru (Adamovič et al., 2006a). Dále typický mezo- až mikrorelief tvoří skalní řízení, okna (Obrázek 5), voštiny, pseudokrasové jevy (např. pseudozávrtý), jeskyně a převisy (Ziegler, 2010). Tyto útvary se vyvinuly ve čtvrtohorách (Sýkorová et al., 2015).

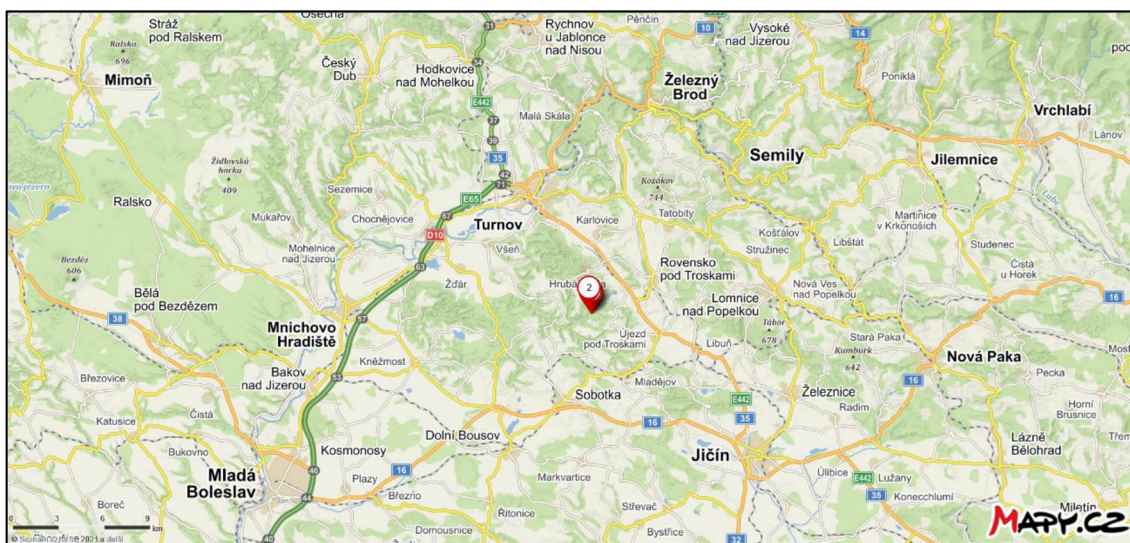


Obrázek 4 - Vyhlídka na kapelu – PR Hruboskalsko (foto J. Chlupáč, 2020)

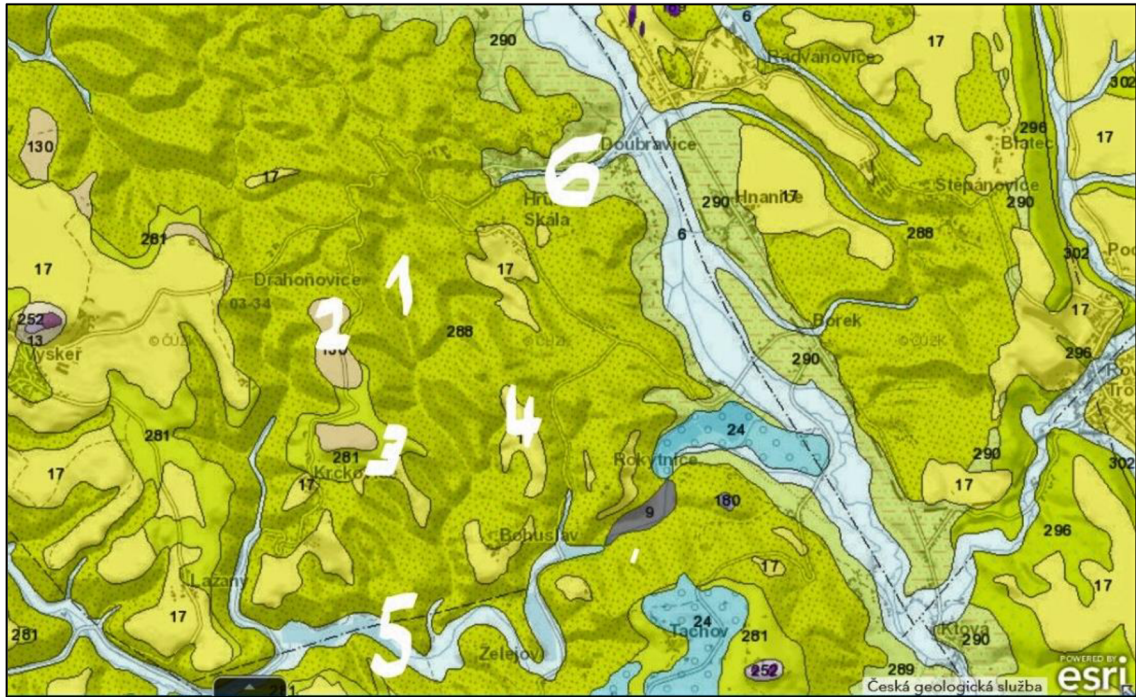


Obrázek 5 - Skalní útvar – skalní okno a vedle skalní dutina cca 50x50 cm (foto J. Chlupáč, 2021)

Studované lokality se nachází v jižní části Hruboskalska, zeměpisnou polohu ukazuje (Obrázek 6), charakteristiku horninového složení (Obrázek 7). a (Tabulky 1,2,3,4,5,6).



Obrázek 6 - lokalita v rámci okresu souřadnice bodu 50.5190300N, 15.2018864E (mapy.cz)



Obrázek 7 - Mapa studovaného území s jednotlivými druhy hornin označených čísly 1-6 (<https://mapy.geology.cz/geocr50/>)

Legenda mapy (Obrázek 7)

- | | | |
|----|---|---|
| 1. |  | 288 křemenné pískovce, podřízeně |
| 2. |  | 130 štěrky, písčité štěrky, písky s |
| 3. |  | 281 vápnité jílovce, slínovce, vápnité |
| 4. |  | 17 spraš a sprašová hlína |
| 5. |  | 6 nivní sediment |
| 6. |  | 290 vápnité jílovce, slínovce a |

Tabulka 1 - Tabulka s většinovým územím č.1 označené jako 288 -> pokrčování na další straně.

Geneze	marinní
Horninový typ	sediment zpevněný
Hornina	křemenné pískovce, podřízeně štěrčíkovité pískovce
Soustava	Český masiv - pokryvné útvary a postvariské magmatity
Oblast	křída
Region	česká křídová pánev
Regionální jednotka	jizerský vývoj, hejšovinský vývoj, lužický vývoj
Éra	MEZOZOIKUM
Útvar	KŘÍDA

Oddělení	křída svrchní
Stupeň	turon–coniac
Podstupeň	turon svrchní–coniac spodní
Souvrství	teplické
Tradiční název	facie kvádrových pískovců, 'hruboskalský pískovec,' pískovce Adršpašsko-teplických skal
Textura horniny	masivní, šikmé zvrstvení, HCS zvrstvení
Zrnitost horniny	jemnozrnná až hrubozrnná
Mineralní složení	křemen

Tabulka 2 - Tabulka s územím č.2 označeným jako 130.

Geneze	fluviální až fluviolakustrinní
Horninový typ	sediment nezpevněný
Hornina	šterky, písčité šterky, písky s vložkami jílu
Soustava	Český masiv - pokryvné útvary a postvariské magmatity
Oblast	terciér
Region	relikty sladkovodního terciéru
Éra	KENOZOIKUM
Útvar	NEOGÉN
Oddělení	pliocén

Tabulka 3 - Lokalita č.3.

Geneze	marinní
Horninový typ	sediment zpevněný
Hornina	vápnité jílovce, slínovce, vápnité prachovce
Soustava	Český masiv - pokryvné útvary a postvariské magmatity
Oblast	křída
Region	česká křídová pánev
Regionální jednotka	ohárecký vývoj, lužický vývoj, labský vývoj
Éra	MEZOZOIKUM
Útvar	KŘÍDA
Oddělení	křída svrchní
Stupeň	coniac–santon
Podstupeň	svrchní coniac
Souvrství	březenské
Mineralní složení	vápnitý

Tabulka 4 - Lokalita č.4

Geneze	eolická
--------	---------

Horninový typ	sediment nezpevněný
Hornina	spraš a sprašová hlína
Soustava	Český masiv - pokryvné útvary a postvariské magmatity
Oblast	kvartér
Éra	KENOZOIKUM
Útvar	KVARTÉR
Oddělení	pleistocén
Textura horniny	celistvá
Barva horniny	okrová
Mineralní složení	křemen + příměsi + CaCO

Tabulka 5 - Lokalita č. 5

Geneze	fluviální nečlenené + sedimenty vodních nádrží
Horninový typ	sediment nezpevněný
Hornina	nivní sediment
Soustava	Český masiv - pokryvné útvary a postvariské magmatity
Oblast	kvartér
Éra	KENOZOIKUM
Útvar	KVARTÉR
Oddělení	holocén
Zrnitost horniny	hlína, písek, štěrk

Tabulka 6 - Lokalita č. 6

Geneze	marinní
Horninový typ	sediment zpevněný
Hornina	vápnité jílovce, slínovce a prachovce, podřadně vločky jílovitého vápence
Soustava	Český masiv - pokryvné útvary a postvariské magmatity
Oblast	křída
Region	česká křídová pánev
Regionální jednotka	ohárecký, labský, lužický vývoj, jizerský vývoj, orlicko-žďárský vývoj
Éra	MEZOZOIKUM
Útvar	KŘÍDA
Oddělení	křída svrchní
Stupeň	turon–coniac
Podstupeň	turon svrchní–coniac spodní
Souvrství	teplické
Mineralní složení	vápnitý

2.1.2. Blízké okolí hruboskalska

Lom Střelec leží 0,5 km Z od Hrdoňovic. Zdejší křemenné pískovce teplického souvrství jsou jemno- až střednězrné, bělošedé až nažloutlé barvy, s obsahem slepenců. Nejsvrchnější vrstvou je jemnozrný jílovito-prachovitý pískovec až prachovec zbarvený díky hematitu do červena (Klein et Tajovský, 1986), pod ním jsou jemnozrné pískovce s goethitem a hematitem. Je zde patrné uklonění vrstev 10° k JZ, drobné zlomy mají směr převážně SZ-JV (Nedomlel, 1990). Skaříšovskou poruchu ohraničující ložisko pískovce na SV vyplňuje bazaltoidní žíla, v jejímž okolí je pískovec silifikován (Prachař, 1987). Byl zde také zdokumentován výskyt tlakově stabilizovaného neboli uzamčeného písku. Jedná se o materiál s mechanickými vlastnostmi připomínající pískovec, absence voděodolného tmele však způsobuje extrémně nízkou tahovou pevnost, proto je možné snadné ubrušování pouhým prstem (Bruthans et Řihošek, 2017). Na druhou stranu, ve vyhloubených tunelech vykazuje stlačený písek stabilitu i po úplném zaplavení vodou (Bruthans et al., 2014).

Skalní město Apolena je součástí stejnojmenné přírodní rezervace rozkládající se na SV úbočí vrchu Trosky. Oproti ostatním územím Českého ráje je litifikace (zpevnění) pískovce velmi slabá, což vede ke zrychlené tvorbě mezo-/mikroreliéfu a erozi obecně. Věže zde mají protáhlý kosočtverečný tvar půdorysu, zaoblený vrchol bývá prostý vegetace a zerodovaný do hladka, přičemž místy zůstávají nápadné solné krusty. Především na bázi stěn jsou vyvinuté skalní úkryty, oblouky, okna, nakloněné římsy a jeskyně, které jsou vázané na konkrétní vrstvu. Voštiny, lišty, perforace, a převisy výše na stěnách také dobře dokladují vrstevnatost horniny. Běžné jsou rovněž hnízdní dutiny samotářských včel. V rámci celého Českého masivu pouze na tomto území převládají kosočtverečné voštiny, které zde tvoří rozsáhlé systémy. Soubor všech výše zmíněných prvků reliéfu je přítomen v malé rokli poblíž jižní hranice okresu Apolena (pod kempem Svitačka). Pukliny mají převažující směr $100-125^\circ$ a $5-25^\circ$. Vrchol Trosek tvoří komínová brekcie a extruze olivinického nefelinitu táhnoucí se ve směru V-Z (Adamovič et al., 2006b; Mertlík, 2002).

2.2 Kavernózní formy zvětrávání

Arkády neboli skalní hodiny jsou charakteristické zužujícími se zadními stěnami jamek, které bývají uspořádané za sebou a jsou oddělené podpůrnými pilíři ve tvaru přesýpacích hodin (Safonov et al., 2020). Původ arkád jednoznačně souvisí s redistribucí gravitačního stresu podél nespojitostí v hornině, které mohou postupně vymizet (Bruthans et al., 2014, 2018), čímž dochází ke střídání či prolínání arkád s jinými kavernózními formami. Arkády se tedy vyvíjejí nezávisle na podmínkách prostředí i na místech, která jsou voštinám a tafone nepříznivá (Filippi et al., 2018). Podle Mikuláše (2007) je možné, že arkády vznikají pokračující erozí voštinových jamek.

2.2.1 Voštiny a tafone

Tyto útvary mají narušení od skalních hodin ploché či konkávní zadní stěny dutin (Safonov et al., 2020). Voštiny tvoří většinou hustou síť dutin spíše menších rozměrů (s maximem kolem 10 cm) navzájem oddělených tenkými stěnami v podobě hřebítků (Twidale, 1982; Viles, 2001). Tafone jsou oválné až laločnaté výklenky velké několik desítek centimetrů až několik metrů. Na povrchu skály jejich horní okraje přechází do převisů (tzv. hledí), které jsou vytvářeny v důsledku vymývání solí. Dutiny jsou tak chráněny proti dešti (Safonov et al., 2020) a solná eroze zde probíhá naplno (Goudie et al., 2002).

Tafone jsou běžné v prostředí bohatém na soli a také na pouštích, kde jsou exponovány dešti a slunci. Preferují jemně až středně zrnitý pískovec. Voštiny se obecně vyskytují ve vlhkém

prostředí na krytých místech, na zrnitosti horniny nezáleží (Goudie, 2013; Safonov et al., 2020). Kromě pískovce najdeme voštiny také na arkózách a slepencích (Viles, 2005), méně dokonalé formy v krystalických horninách, serpentinitech, na vápencích a travertinech, vyjímečný výskyt je popsán na žulách a dokonce i v ledu (Kettner, 1955; Smolová, 2007). V české křídové pánvi jsou voštiny přítomny na většině pískovců v nižších nadmořských výškách (hlavně Český ráj a Kokořínsko) a byly zaznamenány také na površích starých pískovcových lomů (Adamovič et al., 2006; Mikuláš, 2007) a historických budov (Dragovich, 1978; Amoroso et Fassina, 1983). Dokonce jsou důkazy o jejich výskytu na Marsu (Rodriguez-Navarro, 1998).

2.2.2 Vznik voštin

Voštiny, jinak zvané skalní mřížka, krajkovina či alveoli (Grisez, 1960; Mustoe, 1982) poprvé pozoroval Darwin (1839). Jejich vznik je kromě nejčastěji zmiňované solné eroze vysvětlován i jinými teoriemi. Kettner (1955) a Smolová (2007) považují za hlavní příčinu vzniku voštin chemické zvětrávání vodou, která působí na minerály a mění tak kompaktnost povrchu horniny. Mustoe (2010) jako podmínky uvádí propustnou horninu, zdroj rozpustných solí a cyklus namáčení a vysoušení ovlivněný biogenními krustami, přičemž jamky se vyvíjejí odstraňováním zrn uvolněných gravitací, deštěm a větrem. Mikuláš (2001b) uvádí destruktivní krystalizaci solí soustředěné do prohlubní a současné srážení křemitého tmele s následnou tvorbou skalní kůry, která zpevňuje okolní materiál. Pokud je vlhkost přicházející z nitra skály vysoká, solná eroze dominuje na výčnělcích a ohlazuje povrch, v opačném případě povrch vysychá a erozí jsou prohlubovány voštinové dutiny (Filippi et al., 2018). Výše zmíněné faktory více méně shrnují dvě hypotézy – jedna pojednává o působení vodního pole, druhá o vytváření povrchu. Jednotlivé faktory kavernózního zvětrávání by měly být rozděleny do skupin. Počáteční a vnitřní faktory (tvar horniny, klima, vegetace) prostřednictvím vodního pole určují, kde bude docházet ke srážení solí a rozpadu horniny a jaký tvar bude mít povrch (vznik voštin nebo ohlazování). Další skupiny jsou organizující faktory (vodní pole a jeho hraniční podmínky) a rozkladné faktory (srážení solí, mrznutí, bioeroze) (Bruthans et al., 2018).

Solná a větrná eroze jsou klíčové faktory pro vznik voštin v pobřežních oblastech. Eroze dosahuje maxima při nejvyšší rychlosti větru na povrchu pískovce – tam poté vznikají dutiny (např. voštiny). A naopak, solné výkvěty a mírná eroze horniny bez tvorby dutin se objevují na krytých průčelích. Větrm usnadněná evaporace solného roztoku zpočátku náhodně vytváří malé prohlubně a později rozdílné proudění vede k rychlejšímu odpařování ve vznikajících dutinách a k jejich prohlubování díky lokálnímu přesycení a krystalizaci solí, jejíž fyzikální účinky jsou odpovědné za veškerý rozpad bez přispění chemického zvětrávání vápencových zrn (Rodriguez-Navarro et al., 1999). Principem solného zvětrávání je krystalizační tlak vyvíjený růstem krystalů solí z přesyceného roztoku (Evans, 1970; Weyl, 1959). Krystalizace solí má destruktivní účinky v případě, že probíhá uvnitř pórů – tam způsobuje tlak a tím rozpad horniny a odnos materiálu (Lewin, 1982). Krystalizace v již vzniklých dutinách zvyšuje porozitu vytvářením mikrofraktur na dně a tím způsobuje další zvětrávání (Dorn, 1995). Na druhou stranu, stěny mezi dutinami zůstávají téměř netknuty, jak je solný roztok vsakován přednostně v místech rychlé evaporace (Mossotti et Castainer, 1990).

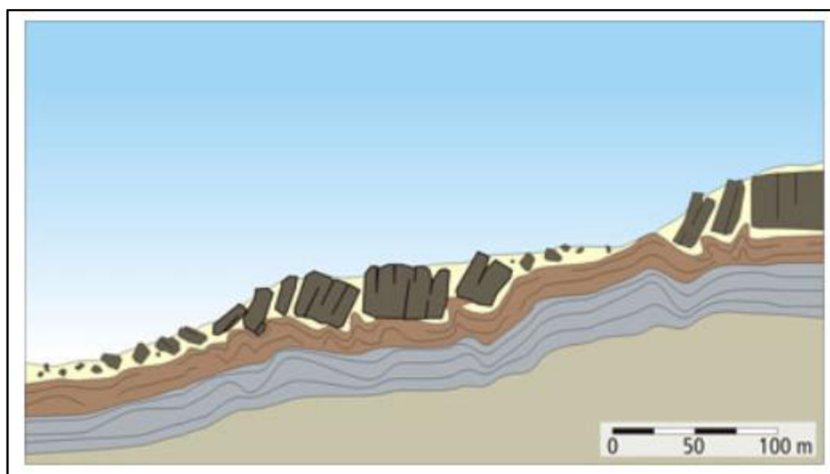
2.2.3 Typy voštin a jejich vývoj

Nejčastější jsou polokulovité dutiny či nepravidelné misky. Výklenkovité, sklípkovité a rombické voštiny jsou typické tvary ovlivňované gravitací, s níž mají rovnoběžnou podélnou

osu. Gravitační pole působí skrze vodu stékající na zem nebo srážkovou vodu zadržovanou v prohlubních, vliv gravitace klesá s rostoucí velikostí zrna. Výsledkem střídání eroze a tvorby skalní kůry, jenž opětovně zvětrává, jsou voštiny ve tvaru bublin, oušek, vosích hnízd, kroužků a mřížek. Principem je impregnace povrchu dutin a okolí otvoru, které pak odolávají opětovné solné erozi a na reliéfu vynikají. Na čerstvě zřícených skalních blocích se vyskytují voštiny reorientované podle nového vektoru gravitace. Dochází tak k deformaci původních voštin, na kterých mohou nově vznikat výklenkovité voštiny. Nejčastějším jevem je však dvojí orientace voštin, přičemž existuje mnoho přechodů mezi jednotlivými reorientovanými typy. Na bočních stěnách útvarů s vyvinutým obloukem (skalní brány, okna) jsou osy obloukovitých nebo rombických voštin výslednicí vektoru gravitace a horninového tlaku.

Pojem stenomorfní voštiny hovoří o určení jejich tvaru a povrchové distribuce nepravidelnostmi (diskontinuitami) horniny (např. žilky, druhotně vyplněné pukliny, různé inkrustace, promísené odlišné vrstvy pískovce). Epigenetické voštiny naopak ovlivňují vnější mechanické faktory, nejčastěji se jedná o bioerozi – např. hnízdění samotářských včel nebo činnost člověka (lomová těžba, střelba). Ústí hnízdních chodbiček leží většinou kolmo k povrchu, směrem dovnitř se chodbičky ohýbají např. do tvaru J nebo L. Jednou z lokalit těchto konkrétních mikroforem jsou východní stěny Drábovny na Maloskalsku (Český ráj). Procesy navazující na tyto iniciální disturbance, tedy epigeneze voštin, se nazývají porokrasové pochody (Mikuláš, 2001a, 2002, 2006, 2007, 2009).

2.3 Pukliny



Obrázek 8 - Pukliny tektonického původu (<http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?puklina>)

2.3.1 Význam

Pukliny (Obrázek 8) se podílejí na vzniku skalních měst a určují jejich tvar. Puklinové plochy mají jakýsi zpevňující efekt podobný skalním kůrám, pokud je ovšem masiv rozpukán na tenké pískovcové bloky, které navíc bývají pokryty příčnými trhlinami, dochází při podemletí vodou ke snadnějšímu řízení oproti kompaktnějším skalním celkům. Nejprve se vytvoří jeskyně a poté postupným říčením materiálu odspodu nahoru vznikají vysoké a úzké puklinové prostory. Voda odnášející erodovaný materiál přitom na zpevněných površích puklin nezanechává stopy (Bruthans et al., 2012). Sufózi (odnost vodou) mohou vznikat závrtvy v místě křižujících se puklin (Sedláček, 2002). Pukliny a další nehomogenity, které deformují pole horninového tlaku, modelují prostřednictvím eroze také mezofomy reliéfu, jako např. skalní věže, oblouky, okna, římsy nebo převisy. Druhým faktorem

určujícím charakter eroze je hydraulické pole v podobě pórzní vody a kapilárních sil v pískovcových tělesech. Vlhkostní podmínky poté směřují vývoj k zahlazování povrchu nebo naopak vzniku typických mikroforem jako jsou voštiny (Bruthans et al., 2014).

2.3.2 Potenciální vliv na vznik voštin

Podle Mentlíka (2001) jsou směrem a sklonem puklin ovlivněny spíše větší formy reliéfu. Např. Suchý et Filip (2016) uvádí spojitost větších dutin a jeskyní se subvertikálními puklinami SJ směru na karbonských arkózách v Radčicích u Plzně. Kůrková et. Bruthans (2012) vysvětlují na příkladu hruboskalského pískovce vznik pseudokrasových závrťů erozí proudem vody zatékající do tektonických puklin. Šťastný (2003) dokladuje vliv puklin na tvorbu skalních převisů, říms a lišt v kambrických slepencích vrchu Žďár (Strašická vrchovina). Vítek (2000) popisuje „...jamkovité prohlubně a erozní prohlubně protáhlé podél puklin...“ na drobových skalních srubech v údolí řeky Krounky (povodí Chrudimky). Vítek (2013) dále zmiňuje vliv puklin, do kterých zatéká srážková voda, na vznik a vývoj především puklinových, stěnových, žlábkových a oblých škrápů na vápencové stěně Soutěsky v rámci Pavlovských vrchů. V práci Zatorskiho (2014) jsou popsány tektonické mikroformy na pískovcových stěnách chodeb jeskynního systému Mroczna na svazích hory Kornuty (Západní Karpaty, Polsko).

Balatka et Sládek (1980) zase zmiňují vývoj skalních pokliček, bran a oken podél puklin a nepravidelných trhlin různého směru na kvádrových pískovcích v Polomených horách (CHKO Kokořínsko), přičemž skalní okna se většinou vyvinula z voštin nebo větších dutin či výklenků. Z mikroforem vázaných na pukliny lze jmenovat exfoliační šupiny, které zvětrávají podél puklin typu L (Rubín et Balatka, 1986). Doe (2011) pozoroval solné zvětrávání pískovce na Golfských ostrovech (Kanada), kde fraktury na skalní povrch přivádí nebo z něj naopak odvádí slanou vodu, která pak indukuje vznik voštin právě v okolí fraktur. V této práci je dále prezentován vliv vertikálních fraktur a horizontálních vrstevních ploch na tvar dutin v pískovcovém povrchu.

3 Metodika

Práce obsahuje čtyři jednotlivé části rozdělené na další kapitoly. Náplní metodiky bude postupy pomocí kterých jsem dospěl až k výsledkům mojí práce.

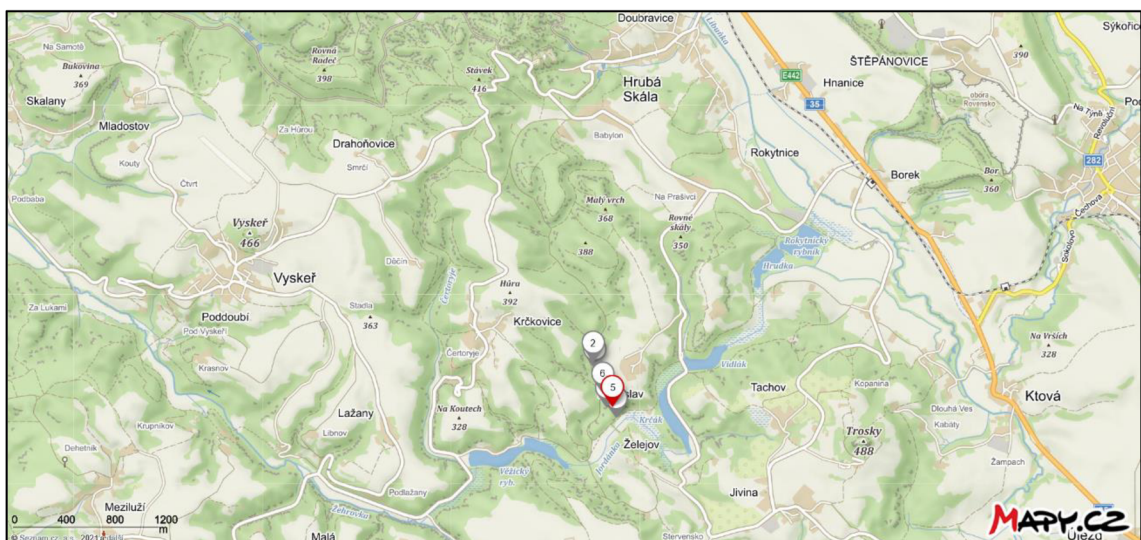
1. Úvod a rešeršní část - zdroje
2. Výběr skalních stěn s výskytem voštin.
3. Měření morfometrických parametrů voštin ve čtvercových sítích o ploše 1m².
Měření puklin geologickým kompasem ve čtvercových sítích voštin (velikost/směr sklonu)
4. Statistické testování rozdílů mezi parametry voštin na jednotlivých stěnách a komparace s parametry puklin.

3.1. Úvod a rešeršní část - zdroje

Pomocí odborné literatury z vědecké knihovny v Hradci Králové a za použití digitální knihovny jsem nashromáždil početné množství literatury, ze které jsem čerpal. Pro více informací jsem požádal Mgr. Bubala z muzea Českého ráje, ten mě odkázal na doc. Bruthanse, který se problematikou voštin zabýval s kolegou Phillipim, působící na Univerzitě Karlově v Praze. Poskytnul mi 6 odborných článků a doporučil mi další jeho kolegy. Literatura a články byly ve většině případů cizojazyčné. Vybíral jsem hlavně články anglické.

3.2. Výběr skalních stěn s výskytem voštin.

Vybral jsem si lokalitu asi 3 km Hrubé Skály, konkrétně mezi vesnicemi Bohuslav, Krčkovice a Želejov. V této oblasti jsou také tři rybníky Vidlák, Krčák, Věžický rybník. Jednotlivé stěny jsou v rozptýlu jednoho kilometru (Obrázek 9). Celkově jsem počítal a měřil 6 jednotlivých stěn s voštinami, které jsou vzorovým příkladem, jak mají voštiny vypadat. Jednalo se o stěny s pravidelným i nepravidelným tvarem voštin. Jednotlivé skály byly nyní v přímém kontaktu se slunečním zářením a v zimě pod působením mrazu a sněhu. Před několika lety došlo k těžbě dřeva v dané oblasti. Jednotlivé skalní stěny jsem vybíral také podle toho, jak jsou dostupné.



Obrázek 9 - lokality v detailu 50.5190300N, 15.2018864E (mapy.cz)

3.2.1. Lokalita č. 1

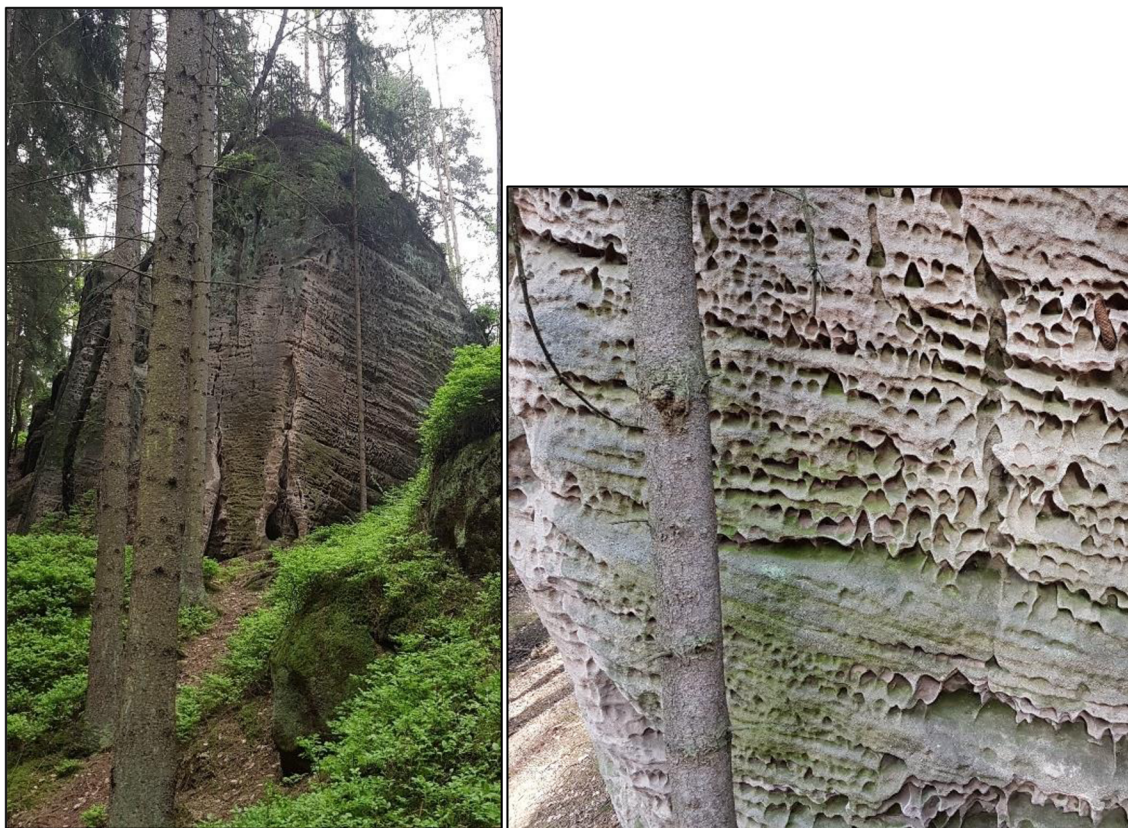
Lokalita se nachází mezi obcemi Bohuslav, Želejov a Krčkovice na souřadnicích 50.5189892N, 15.2011675E. Na fotografii je vidět pouze detail stěny co jsem měřil. Skála je vysoká 7 m, široká 9 m (Obrázek 10). Spodní část je šikmo pokrytá pískem a zeminou. Svrchní část pískovce je porostlá mechem a lišejníky. V horních částech skály je souvislý porost keříčků brusnice (dobrý zdroj živin – pískovec je kyselá hornina). Hornina je dost zvětralá na více místech a povrch je členitý, velké množství voštin a dalších skalních útvarů, jako např. pukliny. Větší část skály je krytá jinou skálou vedle. Uprostřed vede pěšina menším kaňonem. Stěny s voštinami jsou na místech, které jsou pod permanentním vlivem slunečního záření, mrazu, dešti a větru. Voštiny jsou místy drolivé, musel jsem při měření dávat pozor, aby nedošlo k poškození.



Obrázek 10 – první měřená stěna s voštinami 50.5189892N, 15.2011675E (foto J. Chlupáč, 2019)

3.2.2. Lokalita č. 2

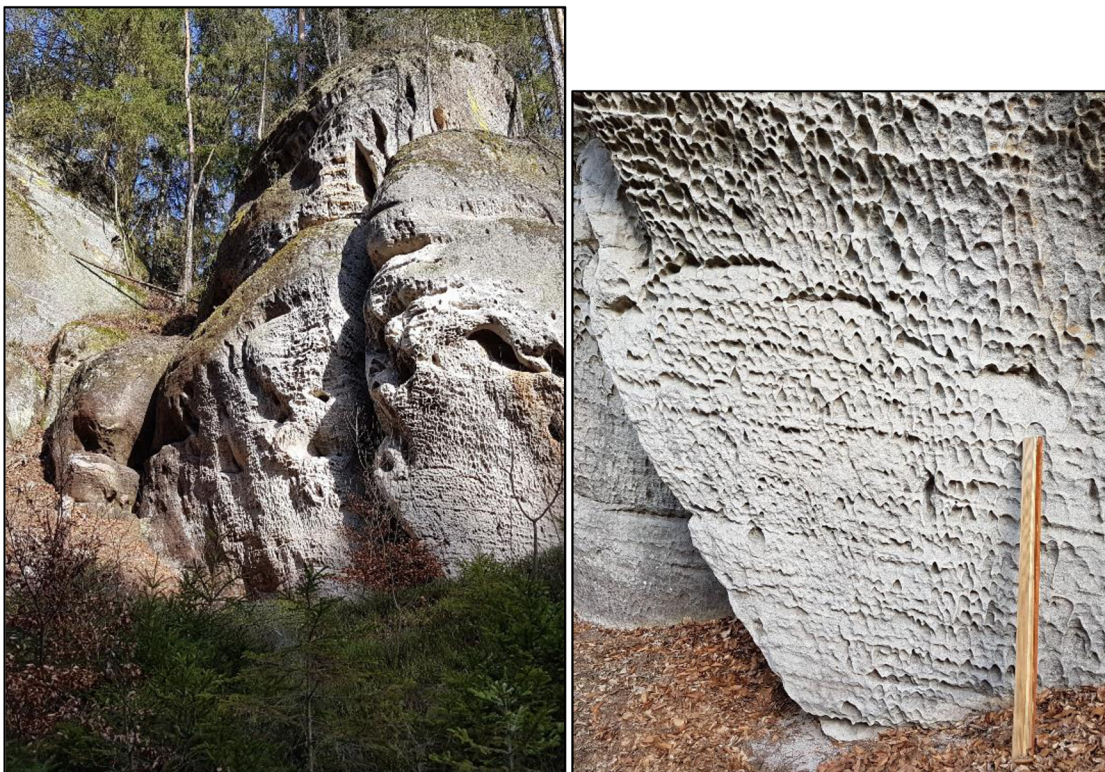
Lokalita se nachází 50 m od lokality č. 1 na souřadnicích 50.5190300N, 15.2018864E. Skála je vysoká 11 m, široká 10 m. Nachází se na vyvýšeném místě. V dolní části je pěšina mezi skalami a na začátku první lokalita (Obrázek 11). V blízkosti skály jsou porosty jehličnanů, keříků brusnice. Kromě studovaných voštin, jsou na stěně pukliny a skalní dutiny.



Obrázek 11 – druhá měřená stěna s voštinami 50.5190300N, 15.2018864E (foto J. Chlupáč, 2019)

3.2.3. Lokalita č. 3

Dobře osluněná, souřadnice místa 50.5200344N 15.2007411E. Nyní postupně zarůstá vegetací. Les je v první fázi růstů. Nachází se zde mnoho náletových dřevin, ostružiníků, ale i buk, smrk. Samotná stěna téměř bez vegetace. Výška skály je 12 m a široká 11 m. Voštiny zaujmají velkou část. Hornina je zvětralá a drolivá (Obrázek 12). Kromě voštin se zde nacházejí skalní dutiny, pukliny, rozsedliny.



Obrázek 12 – třetí měřená stěna + detail voštin 50.5200344N 15.2007411E (foto J. Chlupáč, 2019)

3.2.4. Lokalita č. 4

Dobře osluněná, souřadnice místa jsou 50.5218281N, 15.1997753E, dříve krytá smrkovými porosty. Vysoká 8 m, široká 6 m (obrázek 13). Povrch členitý s voštinami, puklinami, skalními dutinami. Porostlá vegetací (brusnice, mechy, lišejníky). Dobře zvětralá a náchylná na další vnější vlivy počasí.



Obrázek 13 – čtvrtá lokalita s voštinami 50.5218281N, 15.1997753E (foto J. Chlupáč, 2019)

3.2.5. Lokalita č. 5

Velikost skály odpovídá 8 metrům, šířka 10 metrů. Leží na souřadnicích 50.5222989N, 15.1996144E. Velmi velká členitost povrchu s dutinami. Voštiny jsou zvětřelé a místy se rozpadají (Obrázek 14). Na první pohled vypadají větší než u ostatních lokalit. V roce 2019 zde probíhala těžba dřeva tudíž lze předpokládat rychlejší zvětřávání než doposud. Skála je obnažená, bez porostů, maximálně lišejníky a mechy.



Obrázek 14 – pátá stěna + detail na voštiny 50.5222989N, 15.1996144E (foto J. Chlupáč, 2019)

3.2.6. Lokalita č. 6

Celková výška skály je cca 25 m, šířka komplexu 30 m, na stěně jsou kromě voštin a puklin skalní dutiny, rozsedliny, které jsou po celé délce. Souřadnice jsou 50.5181925N, 15.2022592E. Povrch zpevněný oproti ostatním měřeným stěnám. Skála je v zástínu (Obrázek 15), protože v blízkosti jsou listnaté stromy např. čeled' Fagaceae. Avšak přes zimu mrazové působení probíhá nerušeně. Na fotografii je vidět, že na přední straně skály téměř žádné voštiny nenajdeme. Na detailní fotografii ze stěny napravo ZJZ, voštiny jsou.



Obrázek 15 – šestá stěna s voštinami 50.5181925N, 15.2022592E (foto J. Chlupáč, 2021)

3.3. Měření morfometrických parametrů voštin

Voštiny byly měřeny ve čtvercové síti 1 m² na každé stěně. Sestavil jsem si ze dřeva rámovou konstrukci (Obrázek 16), kterou jsem přikládal na jednotlivé stěny a pomocí posuvného měřidla jsem měřil šířku, výšku, hloubku, kterou jsem zapisoval do sešitu. Nedílnou součástí měření bylo použití geologického kompasu (Obrázek 17). Existuje více druhů kompasů, z nichž jeden má jednotky ve stupních a další gradech. Po změření všech puklin na stěně jsem pokračoval tím, že jsem našel jednotlivé pukliny a označil si je čísly. Na každou puklinu jsem pokládal výklopnou destičku kompasu, tak aby byl kompas vždy vodorovně vyrovnan a zároveň byl ve vodováze. Když se mi povedlo najít správnou polohu kompasu, tak jsem začal zapisovat hodnoty z boční strany kompasu, což je velikost sklonu. Jedna část je označená červenou barvou a podle toho se pak začíná odečítat z kompasu buď podle červené nebo černé magnetky (Obrázek 18). Měření s kompasem nebylo jednoduché, protože každá puklina byla ve většině případů špatně přístupná. Kompas jsem musel

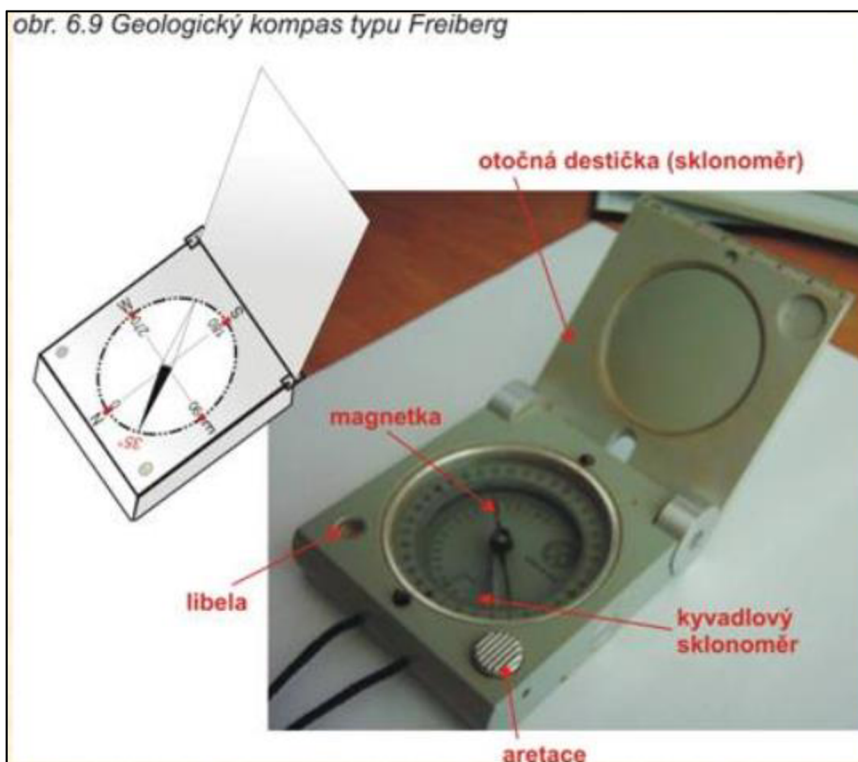
natáčet tak, aby měření bylo co nejpřesnější. Důležité si je také uvědomit, že geologický kompas má obrácené světové strany V (vlevo) a Z (vpravo). Pukliny jsem musel na jednotlivých stěnách hledat, protože jich nebylo mnoho.



Obrázek 16 - Dřevěný čtverec 1 m² na měření voštin (foto J. Chlupáč, 2019)



Obrázek 17 - Geologický kompas, boční strana geol. Kompasu s výklopnou deskou s velikostí sklonu (foto J. Chlupáč, 2021)

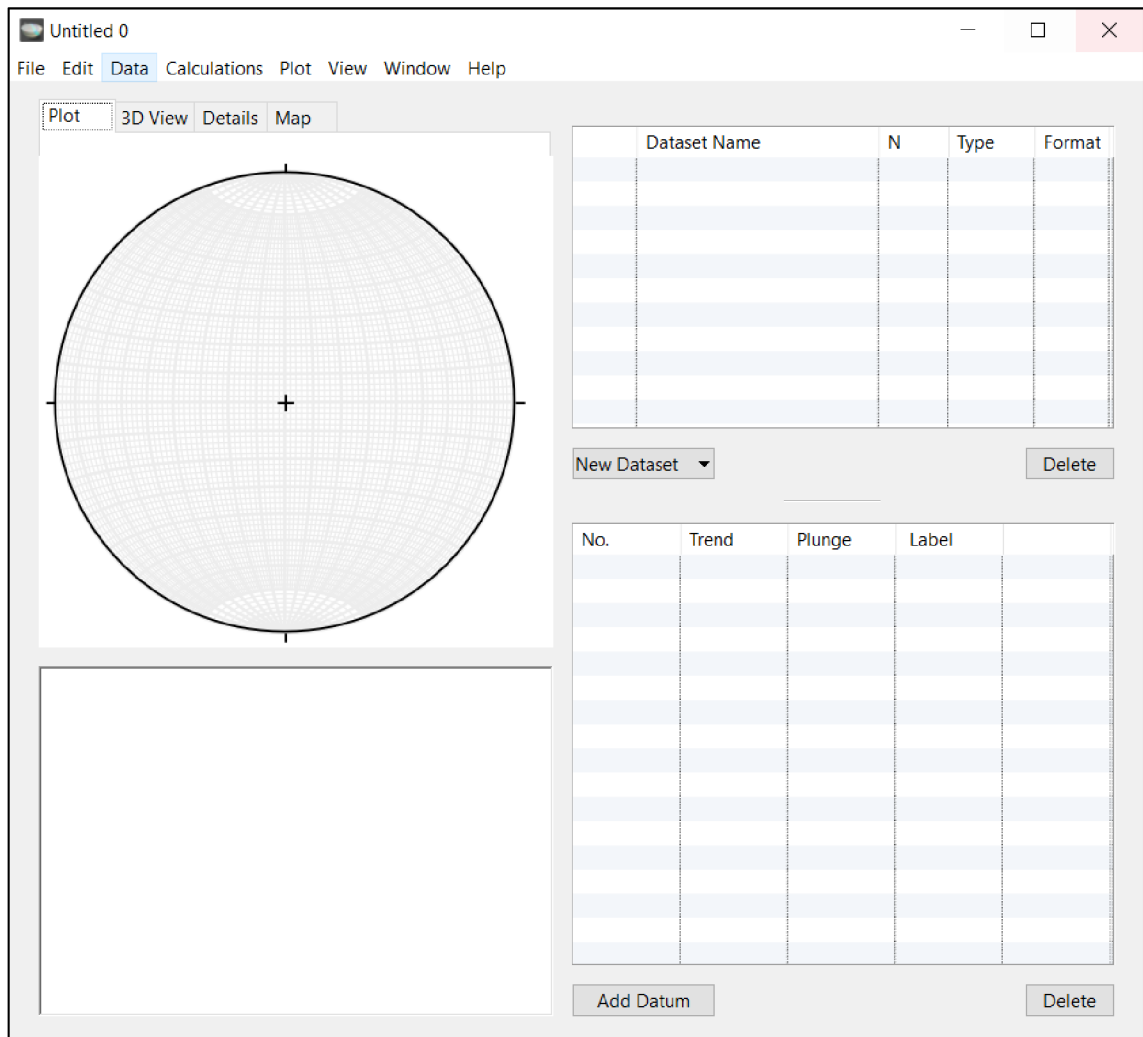


Obrázek 18 - Popis geologického kompasu

(http://geologie.vsb.cz/PraktikaGeologie/KAPITOLY/6_M%C4%9A%C5%98_KOMPASEM/Geologick%C3%BD_kompas.htm)

3.4. Statistické testování rozdílů

Veškerá data z měření jsem zapisoval do tabulky v excelu. U každé jsem měřil její délku, šířku a hloubku. Poté jsem počítal průměry, minimální a maximální hodnoty, středovou odchylku. Také porovnání pomocí anovy. Nejprve jsem dělal komparaci u každé lokality zvlášť u šesti jednotlivých lokalit, abych zjistil, jestli je mezi nimi nějaký viditelný rozdíl. Další krok byl testování šířky, hloubky a délky mezi jednotlivými lokalitami. Cílem je zjistit, zda není nějaký parametr odlišný od ostatních. Post-hoc Tukey-Kramer test byl další část statistiky abych zjistil, jestli je někde konkrétně rozdíl. Také jsem udělal sloupcový graf s celkovým počtem voštin na jednotlivých lokalitách. Krabicové grafy s jednotlivými parametry voštin. Celkový graf s výsledky anovy. Pro vizualizaci jsem použil program Stereonet, který dokázal dobře zobrazit jednotlivé pukliny a přenést je do kruhového diagramu. Pukliny jsou znázorněny body a oblouky. Pozice oblouku přímo odpovídá pozici tečky. Čím je tečka blíže ke středu diagramu (a oblouk analogicky blíže k okraji), tím menší je velikost úklonu pukliny a naopak čím blíže je tečka k okraji, tím je velikost sklonu větší. Vyhodnocování výsledů z měření puklin probíhalo tak, že jsem si všechny hodnoty vypsal do tabulky a postupně porovnával hodnoty s ostatními a označoval si ty stejné nebo podobné. Podle kompasu jsem zjistil směr orientace (0-360°) a velikost sklonu (0-90°).



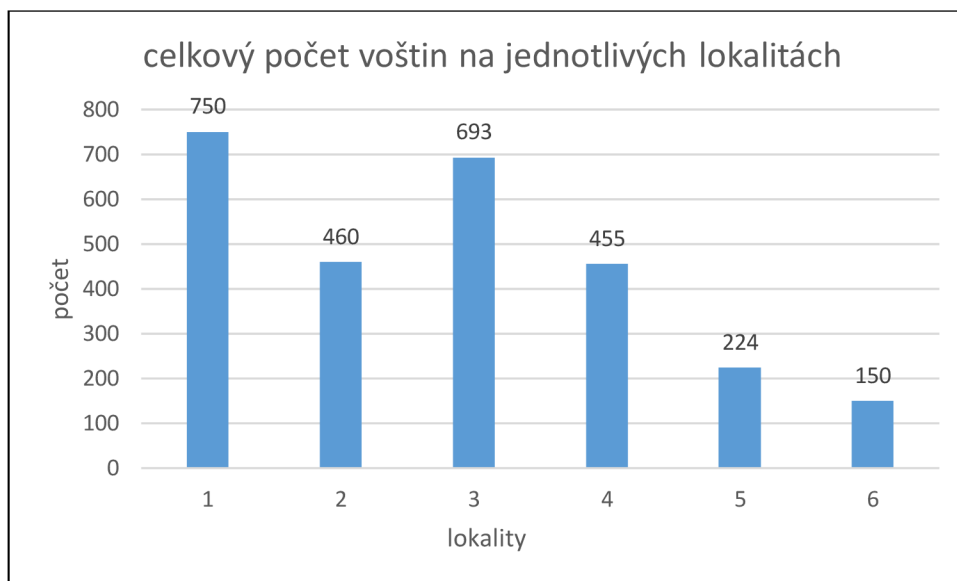
Obrázek 19 – program Stereonet podle kterého jsem vytvářel tektogramy s daty puklin

4 Výsledky

Na základě výše uvedených měření jsem došel z závěru, že voštin bylo na 1 m² od 150 do 750 (Graf 1). U každé lokality jsem naměřil od 99-104 voštin a to odpovídalo 4-8 puklinám na 1 m². Průměrná hustota byla 5 puklin na jednu stěnu v 1 m².

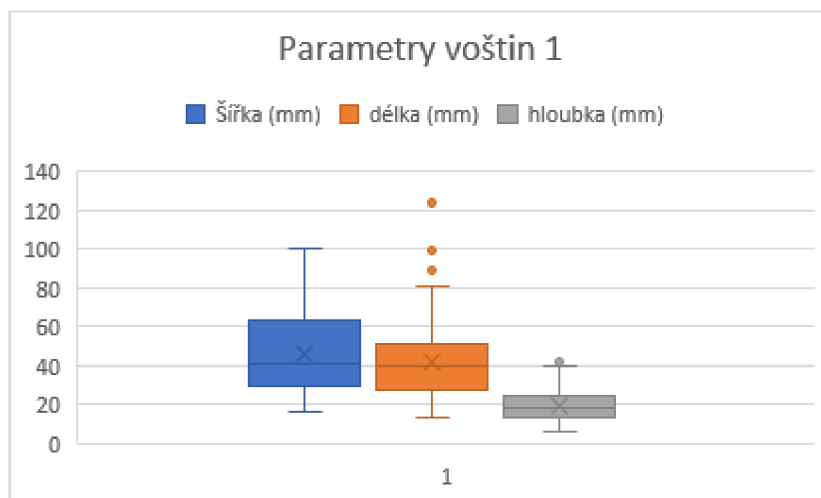
4.1.Voštiny

Graf 1 - Porovnání celkového počtu voštin na jednotlivých lokalitách



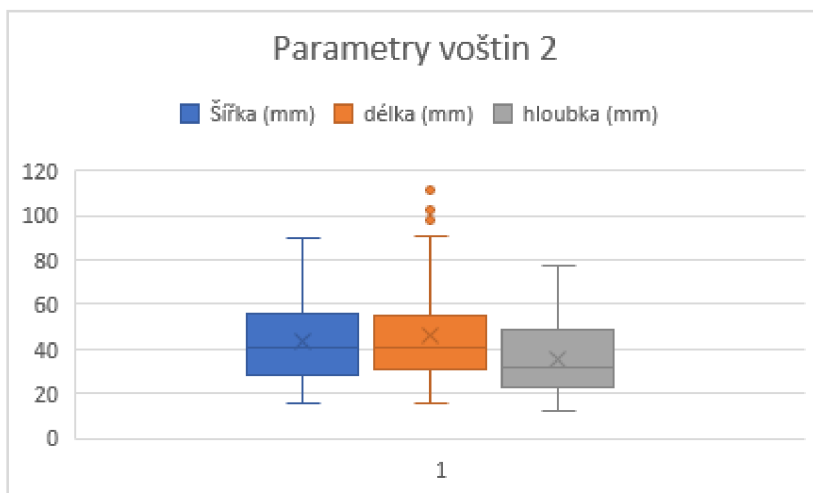
Počet voštin se na jednotlivých lokalitách lišil v počtu voštin na 1 m², s tím že u první lokality byla hustota nejvyšší a šestá lokalita nejnižší.

Graf 2 - Parametry voštin u první stěny



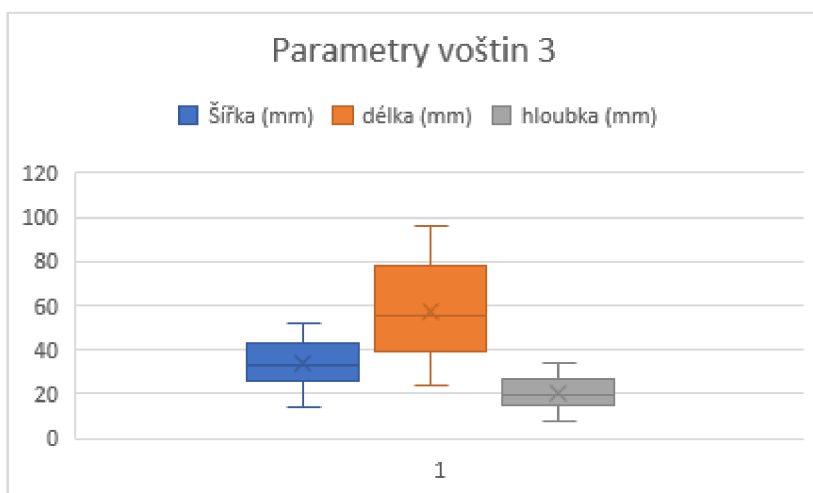
U první stěny je to poschodové stupňování. Šířka činí nejvyšší hodnotu 46 mm, délka 41 mm a odlišná hloubka 19 mm (Graf 2). Na základě uvedených parametrů se domnívám, že na daný výsledek má vliv drolivost voštin z důsledku klimatických podmínek.

Graf 3 - Porovnání parametrů voštin u druhé stěny



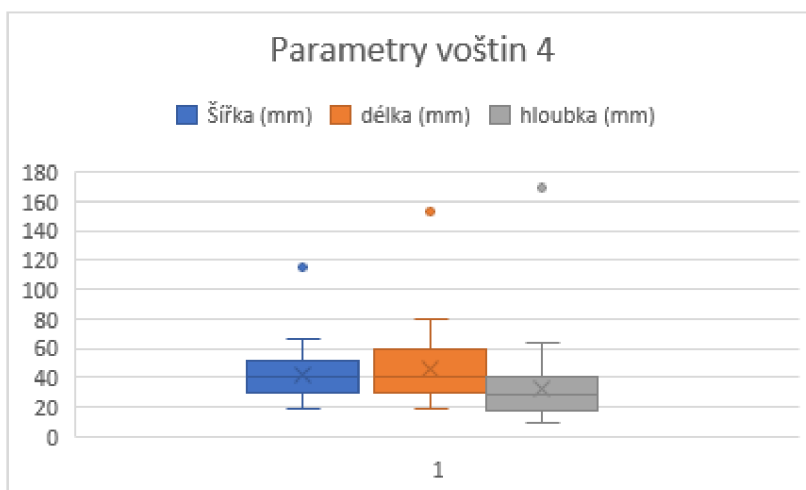
U druhé lokality byly hodnoty všech parametrů podobné, přičemž průměr šířky a délky byl 44 a 46 mm. Za zmínku stojí extrémní hodnota délky, která činila 111 mm (Graf 3). Na základě naměřených parametrů voštin jsem došel k závěru, že daná lokalita má dost podobné parametry, což si myslím že je způsobeno zástinnem a tak velkým vlivem klimatu.

Graf 4 - Porovnání parametrů u třetí stěny



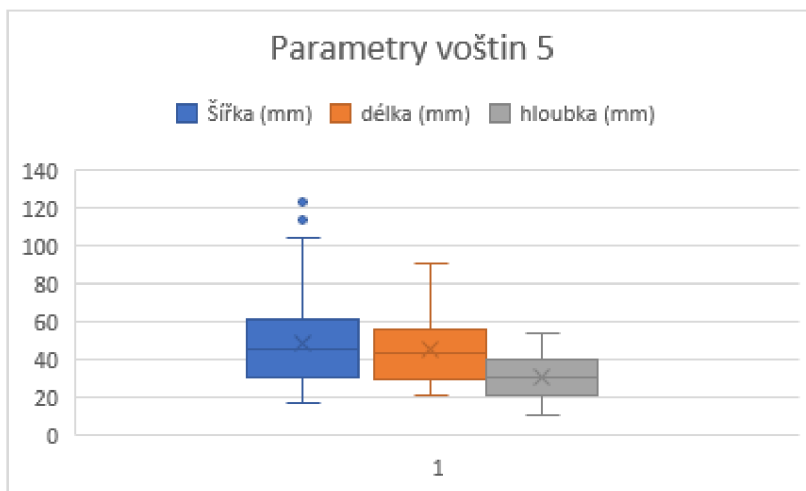
Délka výrazně převažuje nad hloubkou a šířkou (Graf 4). Maximální naměřená hodnota délky voštiny byla 96 mm, s tím že tyto extrémní hodnoty jsou ojedinělé. Průměrná délka voštin na této lokalitě byla 58 mm. U této lokality, která je dobře „na očích“ působí zřejmě klimatické podmínky tak, že délka voštin extrémně převažuje. Voštiny jsou velmi mělké. Asi nejlepší porovnání je s lokalitou č. 1, kde velkou roli hraje také prostředí.

Graf 5 - Porovnání u čtvrté stěny



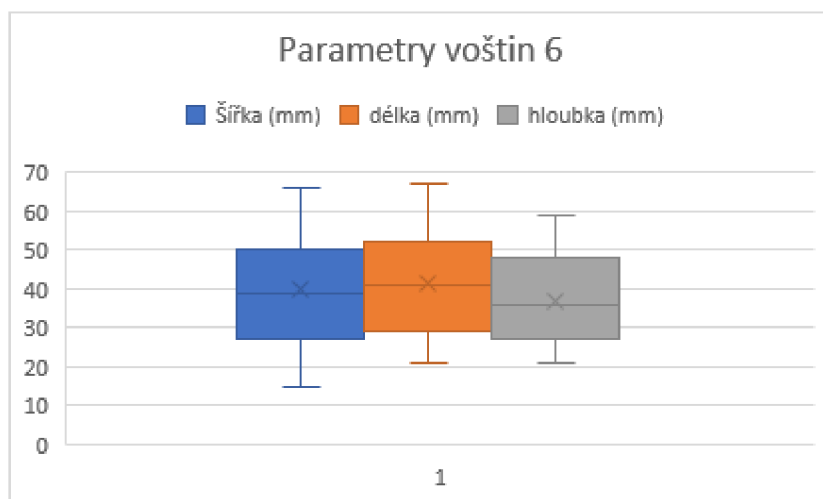
U této stěny převažovala opět délka voštin v průměru 46 mm, zatímco hloubka opět nejmenší průměr (Graf 5). Zajímavá je v pořadí druhá voština, co jsem měřil, která měla všechny tři parametry extrémní a sice šířku 115 mm, délku 153 mm, a hloubku 170 mm. Tato lokalita byla v dřívější době v zástínu, tudíž se klima nemohlo projevit naplno.

Graf 6 - Porovnání u páté stěny



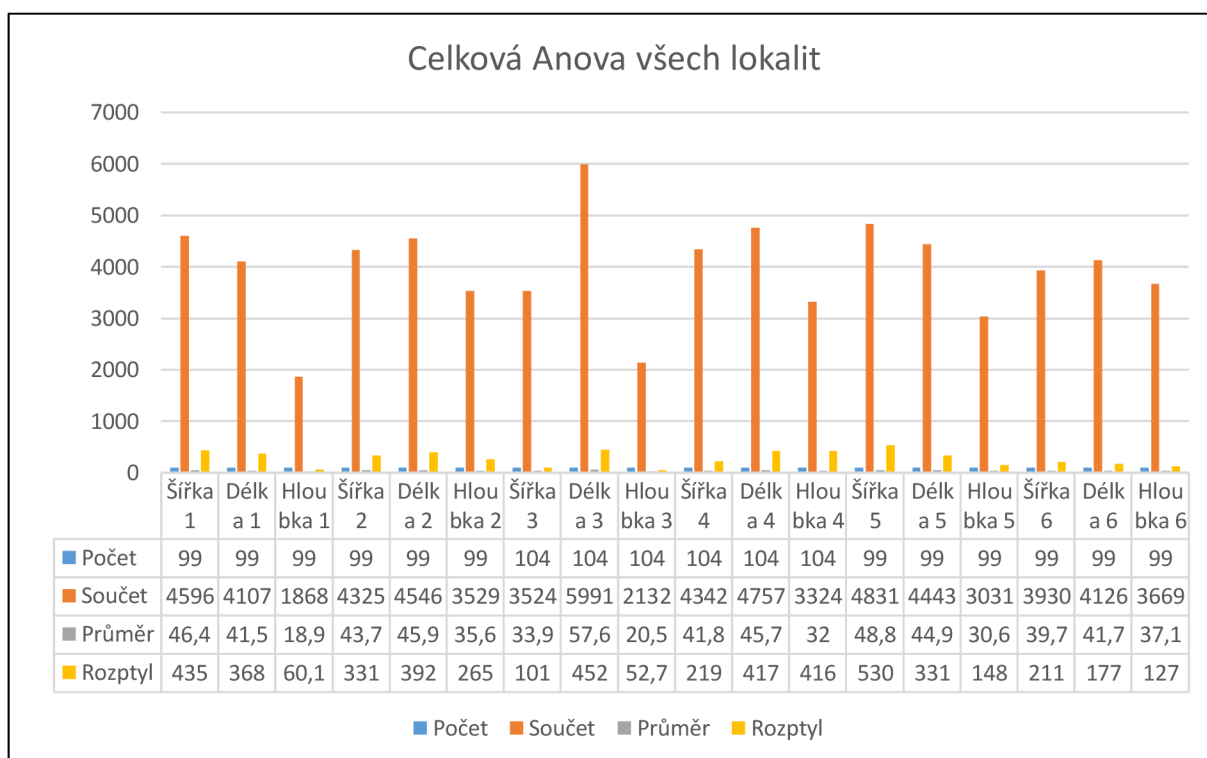
U páté lokality hodnota nepřesáhla u žádného parametru 50 mm. Šířka měla průměr 49 mm, délka 45 mm a hloubka 31 mm (Graf 6). Lokalita je silně narušená zvětráváním. Opět se domnívám, že příčinou velikosti voštin je klimatické podmínky v dané mikrolokalitě.

Graf 7 - Porovnání u šesté stěny



Poslední měřená lokalita měla celkově nejnižší počet voštin, přesto v průměrných hodnotách nepřesáhla 50 mm (Graf 7). Nejvyšší průměrná hodnota byla u délky a to 42 mm. Lokalita je v zástínu stromů. S tím souvisí i počet voštin, který je nejnižší. Strana k jihu je nevětraná bez voštin, ale strana ZJZ je pokrytá voštinami.

Tabulka 7 a Graf 8 - Výsledek porovnání všech vytvořených anov (šířky, délky, hloubky)



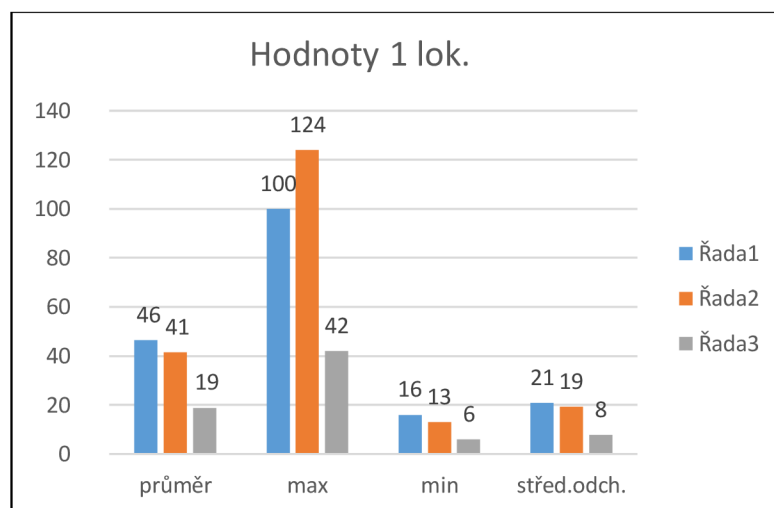
Celkově vypočítaná anova nám říká, která hodnota na které lokalitě byla nejpočetnější. Z výsledků vyplývá že délka lokality č. 3 dosahuje téměř 6000, rozptyl 452 a průměr přesahuje 50 mm. Naopak minimální hodnoty jsou u hloubky na lok. č. 1, kde součet dosahuje téměř 1900, rozptyl 60 a průměr 18,9 (Tabulka 9 a Graf 8).

Pro lepší orientaci jsem vytvořil tabulky a grafy s průměrnými, maximálními, minimálními hodnotami a středovou odchylkou u jednotlivých lokalit. Měřil jsem vždy u každé lokality od 99-104 voštin na metr čtverční (Grafy 9, 10, 11, 12, 13, 14), Tabulky (10, 11, 12, 13, 14, 15).

Tabulka 8 - Tabulka s první lokalitou

	Šířka	Délka	Hloubka
průměr	46	41	19
max	100	124	42
min	16	13	6
Středová odchylka	21	19	8
počet	99	99	99

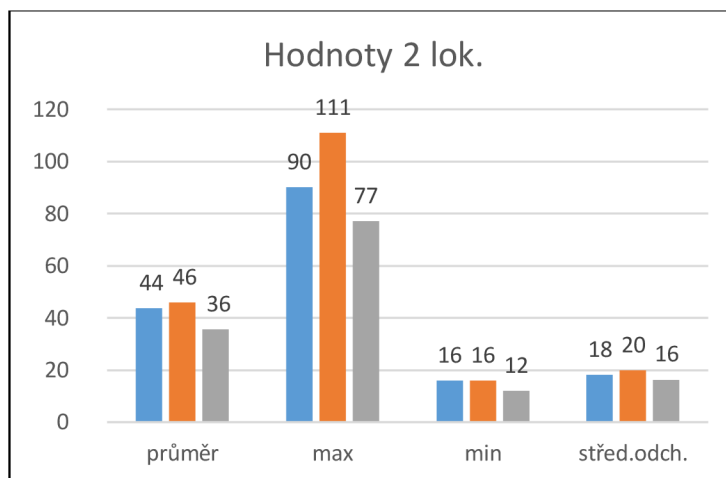
Graf 9 - průměrné hodnoty parametrů voštin lok. č.1, modrá barva-šířka, oranžová-délka, šedá-hloubka



Tabulka 9 - Tabulka s druhou lokalitou

	Šířka	Délka	Hloubka
průměr	44	46	36
max	90	111	77
min	16	16	12
Středová odchylka	18	20	16
počet	99	99	99

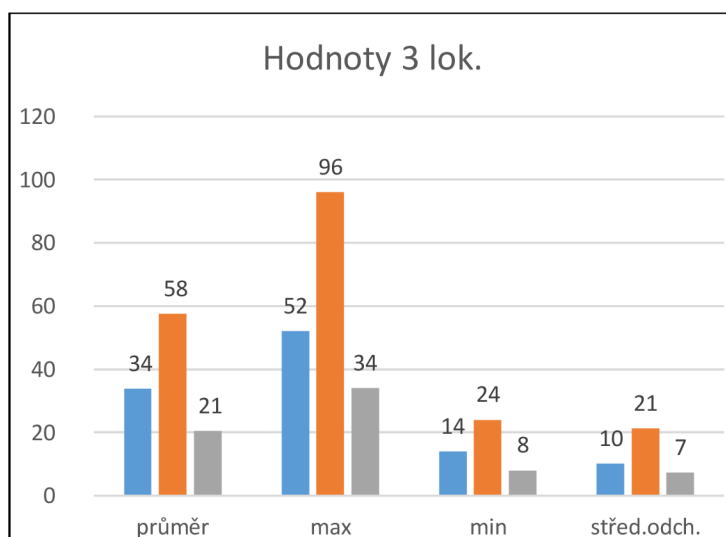
Graf 10 - průměrné hodnoty parametrů voštin lok. č.2, modrá barva-šířka, oranžová-délka, šedá-hloubka



Tabulka 10 - Tabulka se třetí lokalitou

	Šířka	Délka	Hloubka
průměr	34	58	21
max	52	96	34
min	14	24	8
Středová odchylka	10	21	7
počet	104	104	104

Graf 11 - průměrné hodnoty parametrů voštin lok. č.3, modrá barva-šířka, oranžová-délka, šedá-hloubka

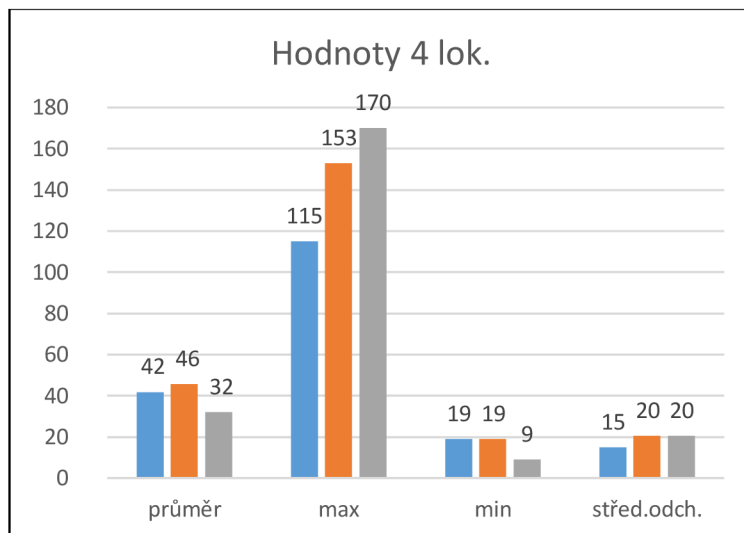


Tabulka 11 - Tabulka se čtvrtou lokalitou

	Šířka	Délka	Hloubka
průměr	42	46	32
max	115	153	170

min	19	19	9
Středová odchylka	15	20	20
počet	104	104	104

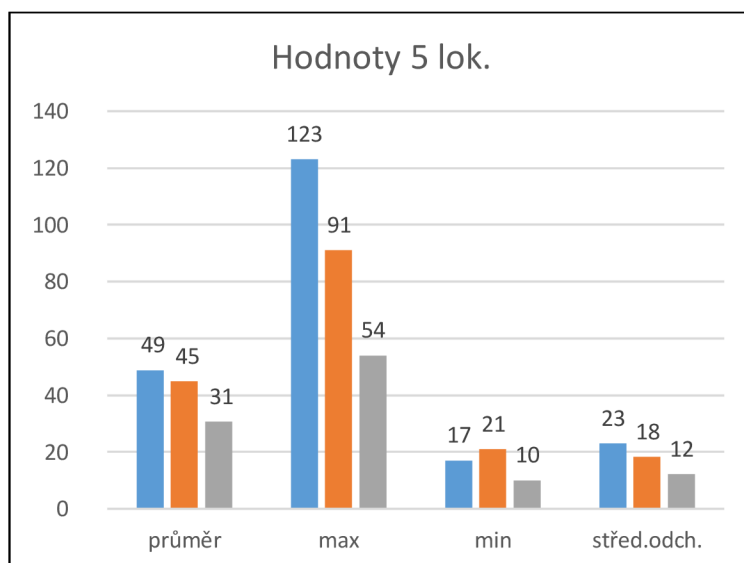
Graf 12 - průměrné hodnoty parametrů voštin lok. č.4, modrá barva-šířka, oranžová-délka, šedá-hloubka



Tabulka 12 - Tabulka s pátou lokalitou

	Šířka	Délka	Hloubka
průměr	49	45	31
max	123	91	54
min	17	21	10
Středová odchylka	23	18	12
počet	99	99	99

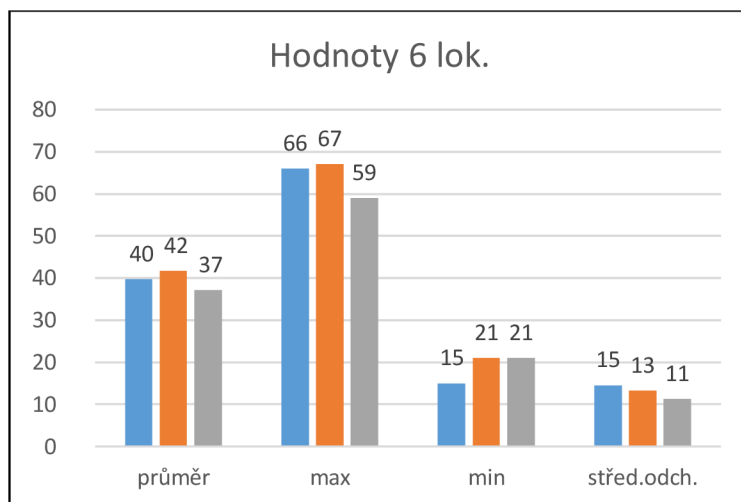
Graf 13 - průměrné hodnoty parametrů voštin lok. č.5, modrá barva-šířka, oranžová-délka, šedá-hloubka



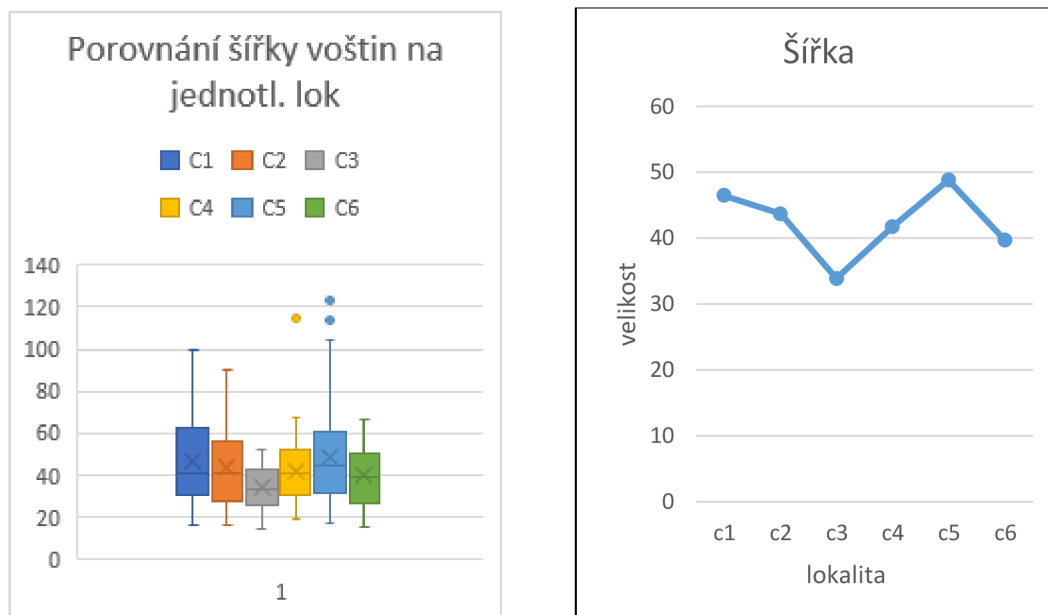
Tabulka 13 - Tabulka a graf s šestou lokalitou

	Šířka	Délka	Hloubka
průměr	40	42	37
max	66	67	59
min	15	21	21
Středová odchylka	15	13	11
počet	99	99	99

Graf 14 - průměrné hodnoty parametrů voštin lok. č.6, modrá barva-šířka, oranžová-délka, šedá-hloubka



15. Krabicový a liniový graf post-dunn's test – Tukey-Kramer - šířky



Tabulka 14 - Tabulka s komparací mezi jednotlivými šířkami voštin

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

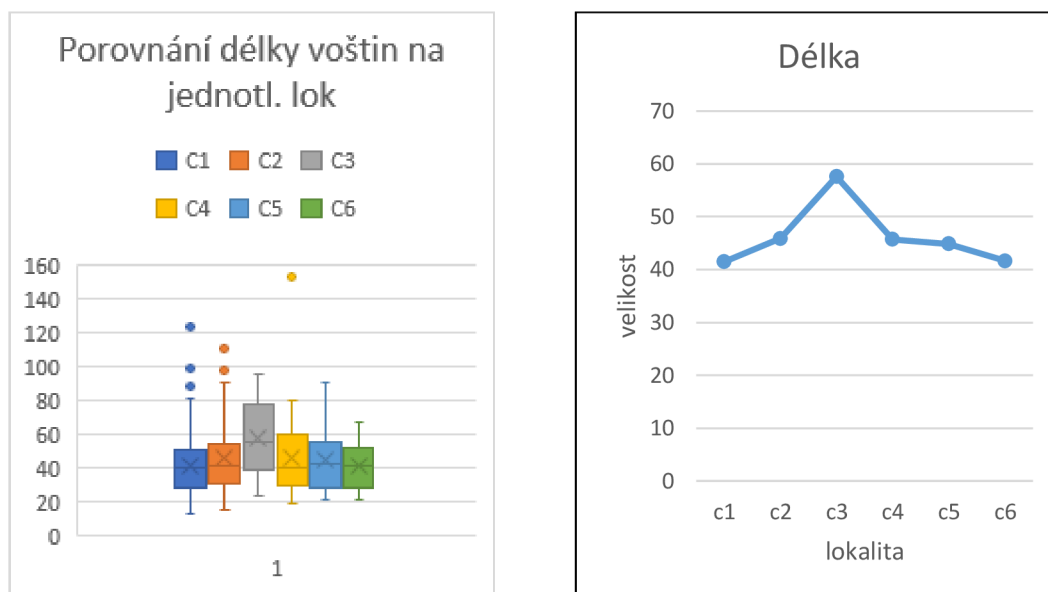
Response: C1,C2,C3,C4,C5,C6
Term A:

Alpha=0,050 Error Term=S(A) DF=598 MSE=302,0208 Critical Value=4,0484

Group	Count	Mean	Different From Groups
C1	99	46,42424	C3
C2	99	43,68687	C3
C3	104	33,88462	C1, C2, C4, C5
C4	104	41,75	C3, C5
C5	99	48,79798	C3, C4, C6
C6	99	39,69697	C5

Tukey-Kramer test se používá pro testování významných rozdílů (Tabulka 16). U šířky voštin se ukázalo, že hodnota lok. č.3 se odlišuje markantně od zbylých pěti. Konkrétně měla hodnotu 33,88 a je odlišná. U lokality 6 hodnota klesá pod 40 a liší se od voštin na č.5. Zároveň u 5 lokality je nejvyšší hodnota šířky 48,79. Lokalita č.4 se odlišuje od č.3, č.5. Podobnost má lok. č.2,4,6 v rozmezí 39,69-43,68. Další podobnost je u 1 a 5, kde se to pohybuje 46,42-48,79 (Graf 15).

16. Grafy post-dunn's test – Tukey-Kramer – porovnání délky voštin



Tabulka 15 - Tabulka s komparací mezi jednotlivými délkami voštin

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

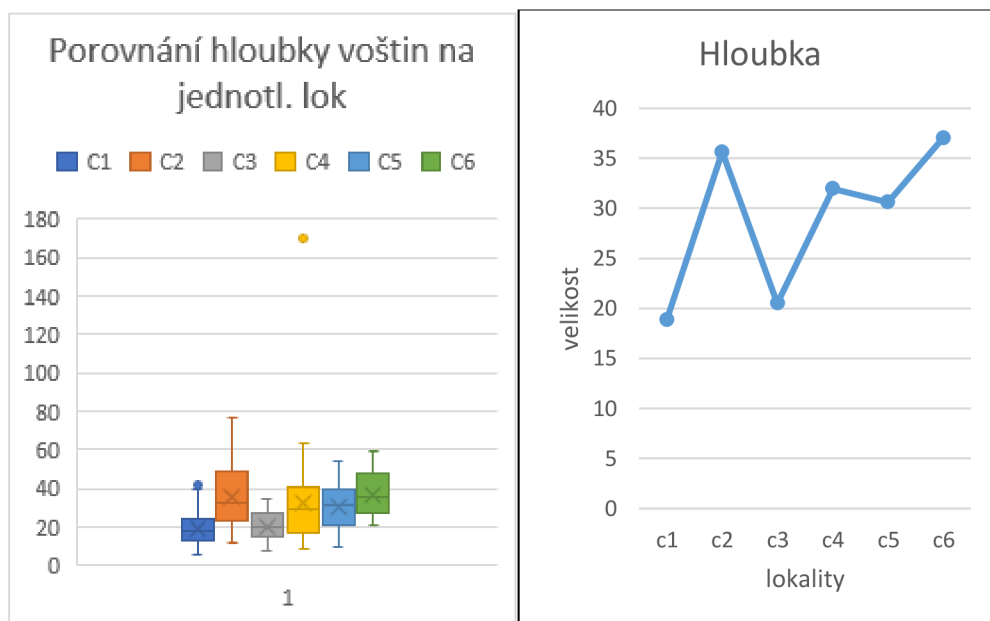
Response: C1,C2,C3,C4,C5,C6
Term A:

Alpha=0,050 Error Term=S(A) DF=598 MSE=357,4968 Critical Value=4,0484

Group	Count	Mean	Different From Groups
C1	99	41,48485	C3
C2	99	45,91919	C3
C3	104	57,60577	C1, C2, C4, C5, C6
C4	104	45,74038	C3
C5	99	44,87879	C3
C6	99	41,67677	C3

U délky voštin je odlišná lokalita č. 3, u které je hodnota 57,60 (Tabulka 17). U ostatních se pohybuje v rozmezí 41,67-45,91. Nejvíce jsou si podobné 1 a 6 kde je to okolo 41. Dále pak 2,4,5. Nejnižší hodnota je 41,48 (Graf 16).

17. Grafy Post-dunn's test – Tukey-Kramer – porovnání hloubky voštin



Tabulka 16 - Tabulka s komparací mezi jednotlivými hloubkami voštin

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Response: C1,C2,C3,C4,C5,C6
Term A:

Alpha=0,050 Error Term=S(A) DF=598 MSE=178,8676 Critical Value=4,0484

Group	Count	Mean	Different From Groups
C1	99	18,86869	C2, C4, C5, C6
C2	99	35,64647	C1, C3
C3	104	20,5	C2, C4, C5, C6
C4	104	31,96154	C1, C3
C5	99	30,61616	C1, C3, C6
C6	99	37,06061	C1, C3, C5

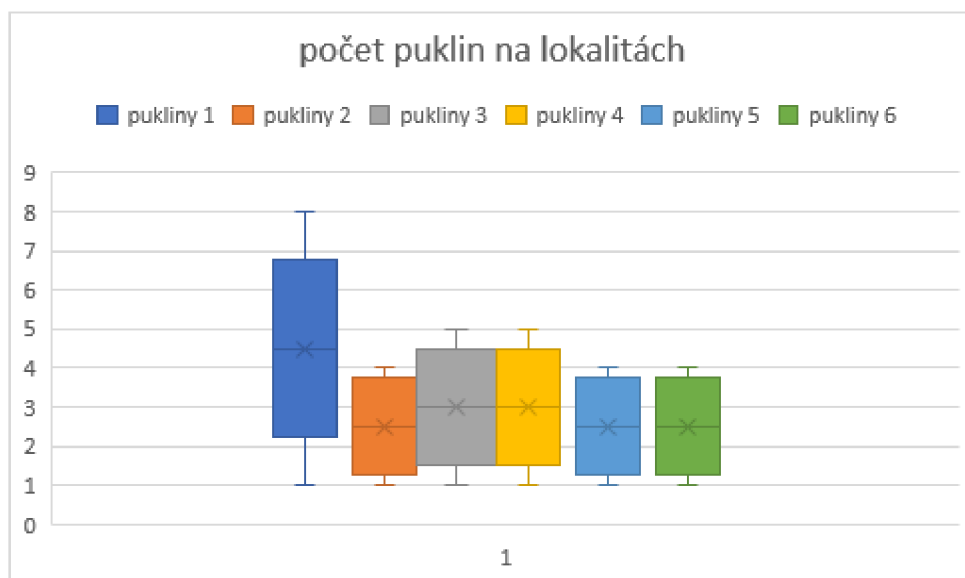
V tabulce i grafu je dobře vidět, že u lok. č.1 a č.3 jsou voštiny nejmělejší (Tabulka 18) (Graf 17). Zároveň už nefiguruje jenom lok. č.3 ale č. 1, kde je hodnota 18,23. Naopak nejvyšší hodnota 37,06 se nachází u č.6. Rozdíl mezi největším a nejmenším číslem je 18,2. Nejpodobnější jsou tyto dvojice. C1-C3, C2-C6, C4-C5.

4.2.Pukliny

Tabulka 17 - Tabulka s naměřenými hodnotami puklin k jednotlivým stěnám

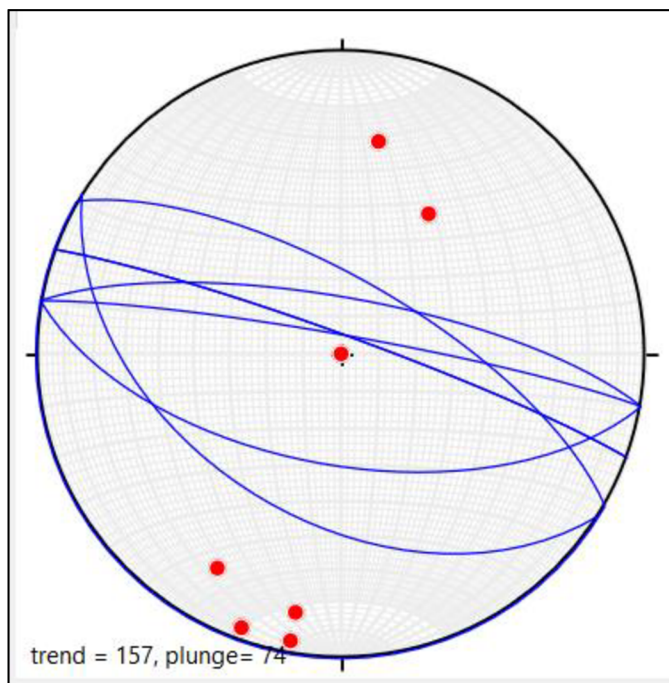
pukliny 1	pukliny 2	pukliny 3	pukliny 4	pukliny 5	pukliny 6
290°/85°	111°/65°	220°/65°	138°/85°	100°/30°	260°/55°
280°/75°	280°/55°	212°/15°	353°/50°	260°/65°	270°/65°
290°/85°	110°/20°	39°/45°	329°/80°	260°/40°	108°/35°
100°/60°	40°/85°	102°/20°	294°/15°	260°/75°	102°/5°
280°/85°		108°/65°	110°/35°	80°/60°	103°/15°
120°/0°		290°/51°	72°/10°		
122°/45°					
300°/70°					

Graf 18 - počty puklin na jednotlivých lokalitách



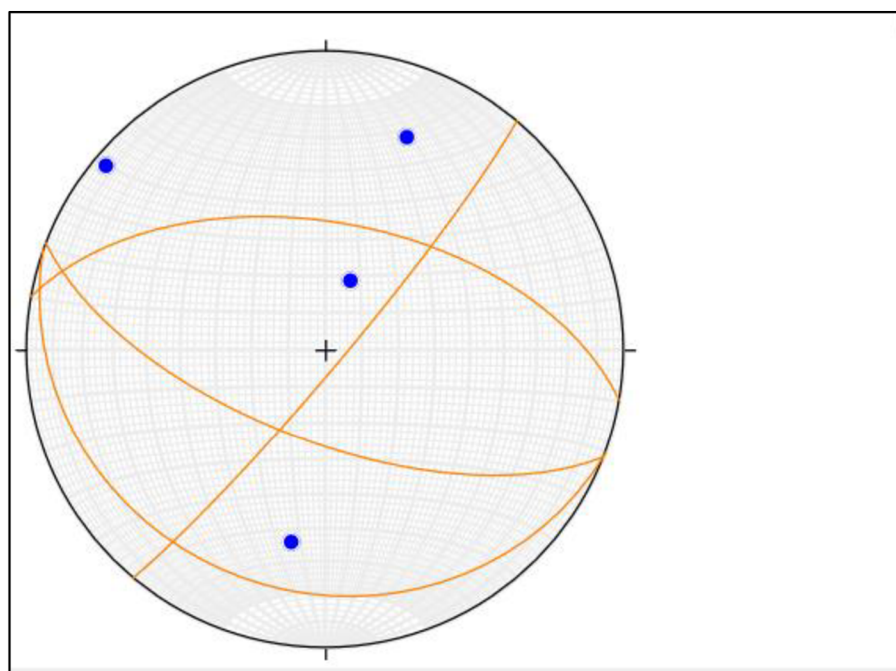
Naměřené hodnoty jsem vložil do tabulky (Tabulka 19). Celkově jsem naměřil 34 puklin, nejpočetnější byla lokalita č. 1, kde jsem jich získal 8, nejméně početná lokalita č. 2, kde pouze 4 (Graf 18). V průměru je to 5 puklin na 1 m²/lok. Dle mých výpočtů na plochu celé lokality se pohybuje hustota od 8-27,5/m². Počítal jsem s odhadnutými hodnotami celkové výšky a šířky jednotlivých lokalit.

U první lokality převažoval směr puklin VSV ve 5 případech, 3 případy zahrnovaly ZJZ z celkově 8 možných puklin. Co se týče sklonu na první lokalitě bylo 3x 85°, potom 1x 75°, 1x 60°, 1x 70°, 1x 0° (Obrázek 20).



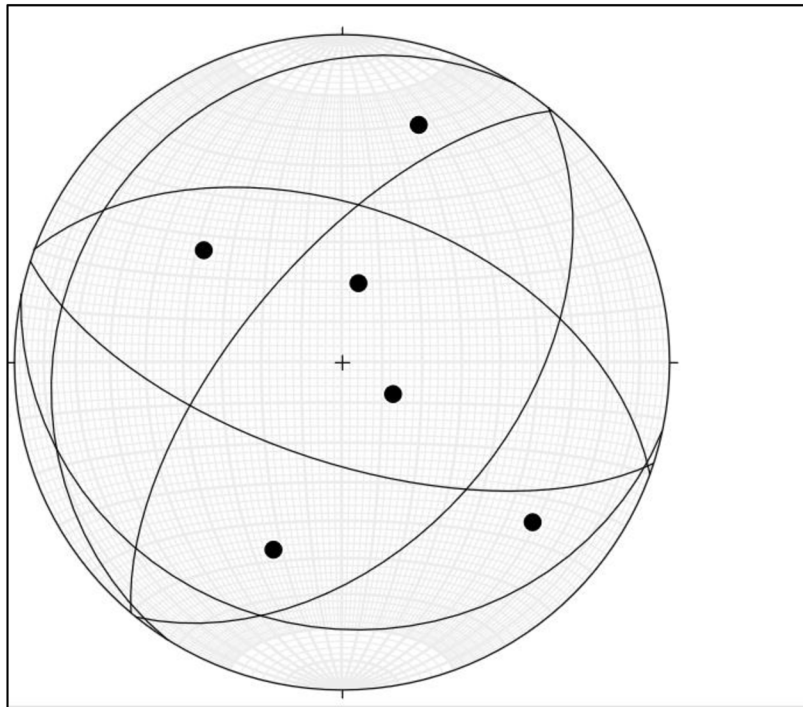
Obrázek 20 - Tektonogram puklin u první lokality (Stereonet)

U druhé lokality byly k měření pouze 4 pukliny, ve 2 případech byl směr ZJZ, v jednom případě VSV a naposled SZ. Pukliny vždy po jedné hodnotě 20°, 55°, 65°, 85° (Obrázek 21).



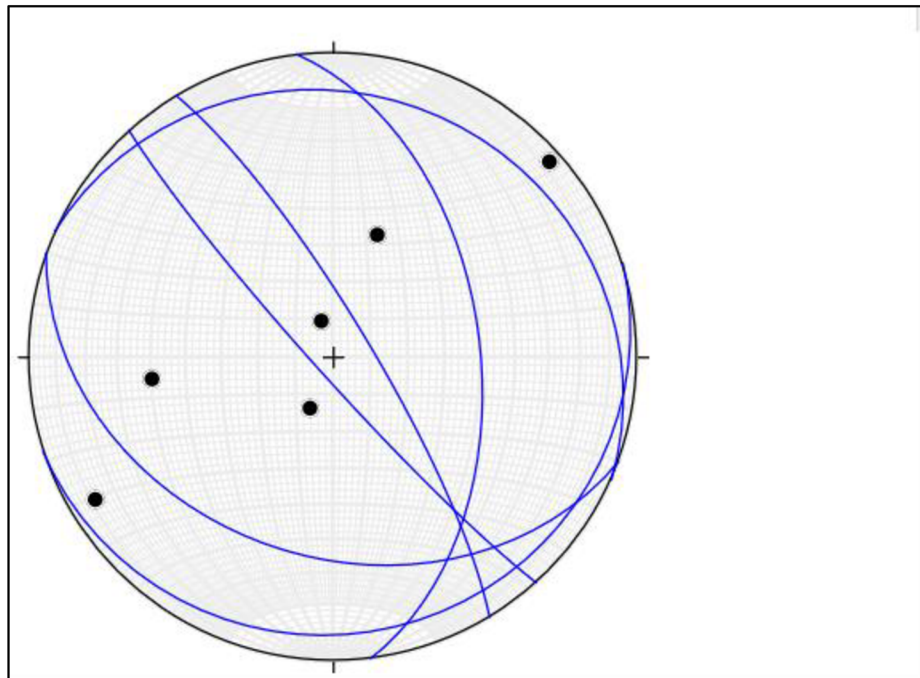
Obrázek 21 - Tektonogram u lokality č. 2

U třetí lokality ve dvou případech ZJZ a JJV, po jednom SZ a VSV. U třetí lokality 2x 65°, poté po jednom 15°, 20°, 45°, 51° (Obrázek 22).



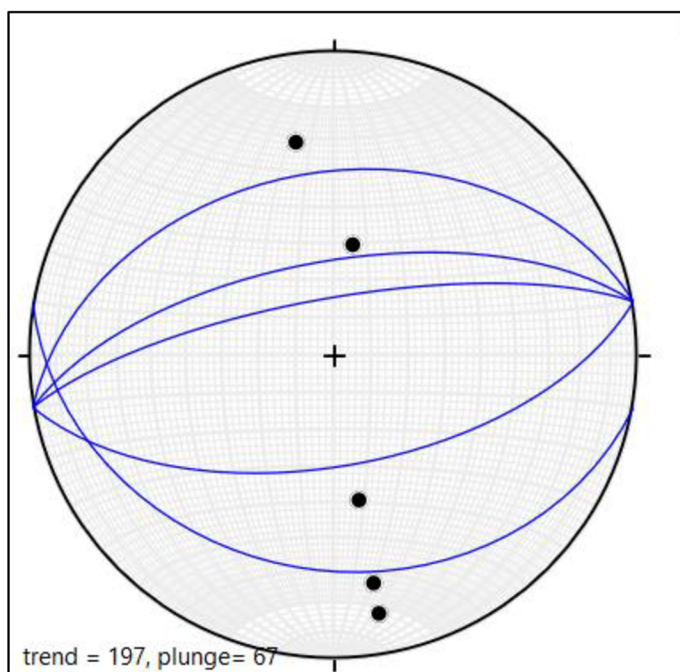
Obrázek 22 - Diagram u lokality č. 3

U čtvrté lokality dva případy zahrnovaly SSV, a jeden případ JZ, VSV, ZJZ, ZSZ (Obrázek 23).



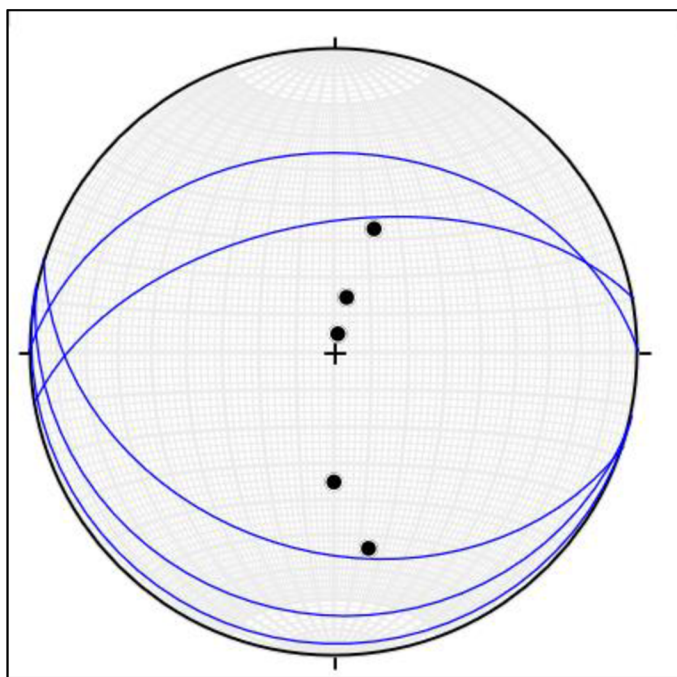
Obrázek 23 - Diagram u lokality č. 4

Pátá lokalita měla 3x směr VJV a po jednom ZSZ a ZJZ (Obrázek 24).



Obrázek 24 - Diagram lokality č. 5

Poslední lokalita 3x ZJZ, po jednom VJV a V (Obrázek 25).



Obrázek 25 - Diagram lokality č. 6.

Celkově převažoval směr ZJZ (12x), VSV (8x), VJV (4x). Po dvou a méně byly SZ (2x), JJV (2x), SSV (2x), ZSZ (2x), JZ (1x), V (1x) (Tabulka 20).

Tabulka 18 - Tabulka s jednotlivými směry puklin 0-360°

1	2	3	4	5	6
VSV	ZJZ	JJV	JZ	ZJZ	VJV
VSV	VSV	JJV	SSV	VJV	V
VSV	ZJZ	SZ	SSV	VJV	ZJZ
ZJZ	SZ	ZJZ	VSV	VJV	ZJZ
VSV		ZJZ	ZJZ	ZSZ	ZJZ
ZJZ		VSV	ZSZ		
ZJZ					
VSV					

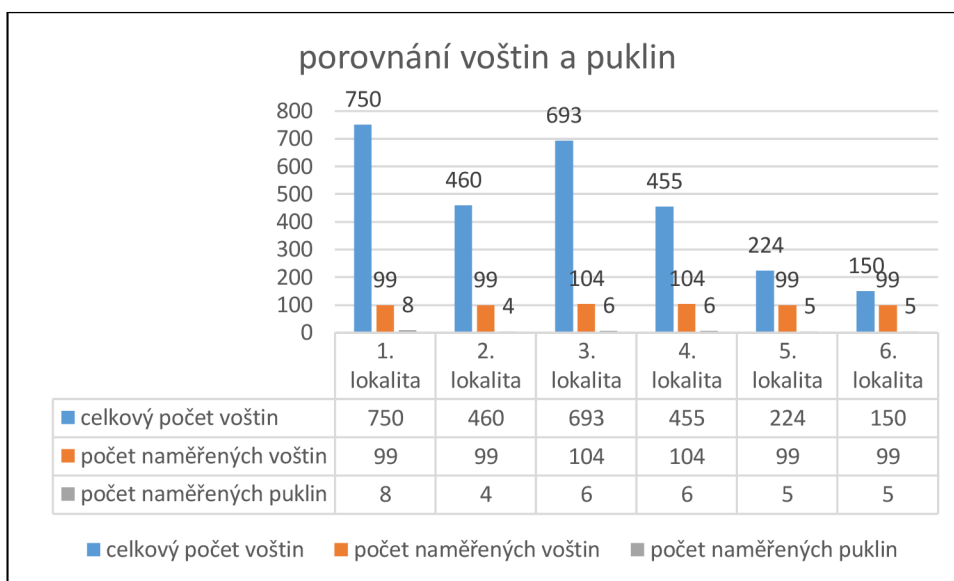
Jednotlivé směry, kterými jsou pukliny orientovány jsem označil různými barvami. Jak můžete vidět, směr ZJZ je obsažen jako jediný alespoň 1x na každé lokalitě. Zatímco druhý nejvíce početný směr VSV je obsažen pouze na 4 lokalitách ze 6 zkoumaných.

Tabulka 19 - Tabulka s jednotlivými sklony puklin 0-90°

1	2	3	4	5	6
85	65	65	85	30	55
75	55	15	50	65	65
85	20	45	80	40	35
60	85	20	15	75	5
85		65	35	60	15
0		51	10		
45					
70					

Barevně jsou označeny sklony, které jsou na všech šesti lokalitách. Nejvíce je obsazena hodnota 85° a 65°, které jsem naměřil na 5 rozdílných puklinách. Po 3 kusech je 15°. 14 puklin se shoduje do dvojice a sice 75°, 60°, 45°, 55°, 20°, 50°, 35°. Poté jsou pukliny, u kterých se sklon neshoduje. Jedná se o 0°, 70°, 80°, 10°, 30°, 40°, 5° (Tabulka 21).

Tabulka 20 a Graf 20 – Tabulka Graf s porovnáním voštin a puklin



Přehledná tabulka s grafem, která znázorňuje celkový počet voštin, počet změřených voštin na 1 m² a počet jednotlivých puklin na jednotlivých lokalitách (Tabulka 22) (Graf 20).

5 Diskuze

Voštiny jsou přítomné prakticky ve všech v pískovcových skalách, záleží však na četnosti. Nejmenší množství se vyskytuje v Prachovských skalách, Adršpachu, Ostaši. Zatímco v Českém ráji je četnost nejvyšší (Adamovič, 2010). Ze své zkušenosti a pozorování vím, že Hruboskalsko je na tom nejlépe z hlediska voštin. Např. na Suchých, Besedických skalách není četnost tak vysoká. Klokočské skály jsou na tom o něco lépe i z hlediska dalších pískovcových zajímavostí jako jsou např. jeskyně nebo škrapy.

Sledování pozice orientování voštin na skalních útvarech (např. skalní výchozy na Kokořínsku nebo Havraní skála v Hradčanských stěnách či Mužský vede k závěru, že některé voštiny nejsou orientovány dle gravitace přímo, ale nepřímo podle orientovaného horninového tlaku. Určité voštiny jsou potom z hlediska morfologie analogické se skalními bránami.

5.1 Porovnání naměřených parametrů

5.1.1 Voštiny

Co se týče počtu voštin na 1m², nejvyšší hodnotu měla první (750) a třetí lokalita (693), střední podobné hodnoty byly zaznamenány u druhé (460) a čtvrté lokality (455). Nejnižší hodnoty měla pátá (224) a šestá lokalita (150).

U každé lokality proběhlo měření šířky, délky a hloubky voštin.

U první lokality průměrná šířka 46 mm převažuje nad délkou 41 mm a hloubkou 19 mm. U druhé lokality jsou průměrná šířka a délka podobné (44 a 46 mm), hloubka je nižší (36 mm). U třetí lokality délka výrazně převyšuje šířku (58 mm a 34 mm) a hloubkou 21 mm. U čtvrté lokality délka (46 mm) opět převažuje nad šířkou a hloubkou (42 mm a 32 mm). U páté lokality šířka (49 mm) převažuje délku (45 mm) a hloubku (31 mm). Šestá lokalita má všechny hodnoty podobné (šířka 40 mm, délka 42 mm a hloubka 37 mm).

Porovnání parametrů voštin podle Tukey-Kramerova testu u šířky na všech šesti lokalitách dopadl následovně. Nejvíce rozdílná je lokalita č. 3, která se odlišuje od všech lokalit kromě lokality č. 6 (C6). Druhá nejvíce rozdílná je lokalita č. 5 (C5), která se liší od lokalit č. 3, 4 a 6 (C3, C4, C6). Hodnotou délky je nejvíce rozdílná lokalita č. 3 (C3), která má hodnotu 57,6 mm a odlišuje se od všech 5 lokalit. U hloubky vyšly celkově největší rozdíly, absolutně největší rozdíl byl mezi lokalitou č. 1 a 3 (C1 a C3), které se zároveň liší od zbývajících lokalit, přičemž lokalita č. 1 (C1) má nejmenší průměrnou hodnotu hloubky voštin. Dále se lišily lokality č. 5 a 6 (C5 a C6), a to od tří dalších lokalit. Lokality č. 2 a 4 (C2 a C4) se odlišují od dvou dalších lokalit.

5.1.2 Pukliny

Převažující směr byl ZJZ, což je 110-130° na geologickém kompasu. VSV směr se vyskytoval v pěti případech na první lokalitě, což je 280-310°. Na tektonogramech ze Stereonetu můžeme vidět podobnost oblouků. Nejvíce převažoval směr 100-122° ve 12 případech z celkových 34.

5.1.3 Porovnání rozdílnosti voštin a puklin

Mezi rozdílností parametrů voštin a puklin nebyla zaznamenána signifikantní souvislost. Bylo by potřeba většího množství dat, zejména v případě puklin, které byly na lokalitách těžko k nalezení.

5.2 Vliv puklin na vývoj voštin

Pukliny činí horninu náchylnější k erozi redistribucí gravitačního stresu (Bruthans et al., 2014; Filippi et al., 2018; Ostanin et al., 2017; Řihošek et al., 2016) a je zřejmé, že mají vliv přinejmenším na vývoj větších forem reliéfu. Autoři v souvislosti s puklinami zmiňují např. větší dutiny a jeskyně, skalních pokličky, brány a okna, pseudokrasové závrtky, skalní převisy, římsy a lišty (Balatka et Sládek, 1980; Kůrková et Bruthans, 2012; Suchý et Filip, 2016; Šťastný, 2003). Experimentálně podložené práce naznačují puklinovou predispozici také u mikroreliéfu, konkrétně u arkád (skalních hodin), které Mikuláš (2007) dokonce označil za pokročilé vývojové stádium voštin. Podobně Balatka et Sládek (1980) popisují vznik skalních oken pokračující erozí voštin. Solné zvětrávání voštin v přímořských oblastech je přímo podmíněno puklinami (Doe, 2011). tato teorie je dále podporována zmínkami ostatních autorů: „jamkovité prohlubně prohlubně podél puklin“ (Vítek, 2000) nebo „tektonické mikroformy“ (Zatorski, 2014).

Solná eroze je nejčastěji zmiňovaným faktorem vzniku voštin i mimo mořské prostředí a je doprovázena dalšími faktory: teplotní změny, vodní režim, biogenní a skalní krusty (Bruthans et al., 2018; Filippi et al., 2018; Mustoe, 2010; Rodriguez-Navarro et al., 1999). Následující faktory nejspíš nemají žádný (nebo minimální) vliv na vznik voštin: větrná abraze (pouze v aridních oblastech) a dále např. změna vlhkosti v jílovitých horninách nebo eroze velkých úlomků (Dragovich, 1969; Mikuláš, 2001b; Schattner, 1961).

Bruthans et al. (2018) objasňovali princip voštinového zvětrávání pomocí dvou teorií. Hydraulická hypotéza hovoří o řízení solné akumulace a zvětrávání prostřednictvím úrovně proudění vody ze skalní masy, jejího odpařování a časových změn těchto dvou faktorů (Or et al., 2013). Hypotéza vytvrzování povrchu (case hardening) předpokládá růst absolutní tvrdosti povrchu v čase, zatímco uvnitř skalní masy se tvrdost nemění nebo klesá (Conca et Rossman, 1982) nebo naopak celkový pokles tvrdosti, jenž je na povrchu nižší než uvnitř (Conca et Rossman, 1985). Potvrzena byla hydraulická hypotéza, vodní pole navíc spolu s gravitačním stresem prokazatelně řídí charakter eroze (Bruthans et al. (2018).

5.3 Další výzkumy

Navzdory pečlivé rešerši se nepodařilo najít práci, která by alespoň v podobném duchu srovnávala rozdíly voštin a puklina v rámci jejich distribuce nebo jiných parametrů. Níže jsou uvedeny práce, které se této podobaly nejvíce, a dále některé poznatky s potenciálním využitím pro srovnání nebo diskuzi v oblasti této problematiky.

Krbcová (2011) ve své práci o kokořínských pískovcích zmiňuje vyšší pokryvnost voštin ve vrchních partiích skalních stěn oproti úpatím, přičemž hodnoty pokryvnosti stoupají také s celkovou výškou stěn.

Na rozdíl od Mgr. Krbcové, která ve své práci pozorovala voštiny ve vrchních partiích skalních stěn, tak já nacházel voštiny i ve spodních částech výchozů. Ale způsobeno to bylo velikostí skalního výchozu, protože čím menší skála, tím méně místa pro vznik voštin. Čtyři z nich byly dobře odkryté, pouze dvě stěny v zástinu. Co se týče pozice voštin, bylo to půl na

půl, půlka více na západ a půlka na východ. Kvůli tomu některé stěny byly na první pohled dost zvětralé. Jako příklad mohu uvést lokalitu č. 5, která byla orientována k západu.

(Šibor, 2017) se ve své práci zabývá studiem puklin v moldanubiku s popisem granitoidů, které patří do hlubinných hornin, obsahující 20 % křemene, zatímco pískovec je usazená hornina, která obsahuje až 2/3 křemene.

Nejvíce se objevovaly subhorizontální pukliny. Dále pukliny s orientací SSZ-JJV, V-Z a SSZ a JJV.

K orientacím, co jsem došel já byly nejdominantnější dva směry puklin a sice ZJZ, který se vyskytl alespoň 1x (celkem 12x) u každé lokality a VSV, který byl na 8 puklinách. 4x byl obsazen VJV a méně pak JJV, SZ, SSV, ZSZ, JZ, V.

K vyhodnocování dat použil (Šibor, 2017) na orientaci puklin program Sta-Teck a k vyhodnocení směru šíření puklin Spheristat. Já jsem používal k vyhodnocování sklonu puklin Stereonet, který dokázal kvalitně znázornit pomocí tektonogramů.

Celková puklinatost byla dle (Šibora, 2017) v rozmezí 1,79-3,96 puklin/m. Já měřil pukliny v 1 m² a hustota byla od 4-8 puklin/m². V rámci celé stěny dle mého odhadu velikosti výchozů na jednotlivých lokalitách by to bylo dle výpočtu od 8-27,5/m².

Obecně jsou skalní stěny orientovány ve směru VZ. Data puklin byla zpracována v programu Georient se zadávanými hodnotami azimutu v intervalu 0° až 359°, směr puklin byl často kolmý na směr skalních stěn, jejich zastoupení je četnější na skalních stěnách orientovány na sever. Minoritně byly skalní stěny orientované k jihu, sekundární směr puklin byl rovnoběžný se směrem skalních stěn (Bořek, 2016).

Výzkumy Matsukury a Tanaky (2000) na granitu v Koreji a Mola (2013) na pískovcích v jižní Africe naznačují vyšší vlhkost prohlubní tafoni oproti okolnímu materiálu. Bruthans et al. (2018) zase dokázali vyšší vlhkost v jamkách voštin oproti mezistěnám, a to na pískovcích české křídové pánve.

6 Závěr

Cílem této práce bylo odhalení potencionálního vlivu drobné tektoniky na výskyt a morfometrické parametry voštin v rámci studovaného území. Přičemž bylo popsáno 6 jednotlivých lokalit v kapitole 3.2. Na základě naměřených hodnot na těchto lokalitách jsem zpracoval několik jednotlivých grafů a tabulek zabývajícími se morfometrickými parametry voštin, které jsou podrobně zpracovány v kapitole 4. Dle mých hypotéz se domnívám, že na tyto parametry mají určitý vliv klimatické podmínky a taktéž orientace lokality.

Z výše popsaných fakt a pozorování zjištěných různými autory vyplývá souvislost vzniku mikroforem s puklinami, v několika případech je potvrzen jejich přímý vliv konkrétně na voštiny. Je pravděpodobné, že měření provedené v rámci této práce nemuselo postihnout zdaleka všechny pukliny z důvodu jejich často nepatrné velikosti, pouhým okem nepostřehnutelné. Identifikace těchto puklin v terénu je tedy značně obtížná.

První lokalita byla nejvíce zastoupená jak z pohledu voštin, tak puklin. A nejvíce rozdílná byla lokalita č. 3. Lokalita č. 1 měla nejvyšší odhadovaný celkový počet voštin na metr čtverečný a zároveň měla nejmenší hloubku voštin. Třetí lokalita byla extrémní v průměrných hodnotách voštin.

Uplatnil jsem Tukey-Kramerův test na odhalení konkrétních odlišností u voštin z čehož vyplynulo to, že první a třetí lokalita byly v mnoha parametrech odlišné oproti ostatním lokalitám.

Na základě všech měření, kterým jsem voštiny podrobil, jsem nebyl schopen dojít k odhalení vlivu drobné tektoniky na jejich výskyt, protože jsem neměl dostatek lokalit a dat. Další rozsáhlejší výzkum by mohl ukázat větší pravděpodobnost k úspěchu. Ale muselo by se vzít více vzorků na různých lokalitách v rozptylu alespoň 20 kilometrů. Spočítat veškeré voštiny a pukliny.

Domnívám se že voštiny a pukliny jsou také z velké části výsledkem působení mikroklimatu v jednotlivých mikrooblastech. Některé stěny byly přinejmenším podobné jak parametry, tak i vzhledem. To samé mohu říci o puklinách u kterých převládal směr ZJZ a VSV.

Ačkoliv jsem se mi nepodařilo naplnit cíl mojí práce, má pro mě práce přínos v tom, že tato oblast je velmi málo probádaná, ikdyž se nachází ve velmi významné oblasti. Naučil jsem se měřit geologickým kompasem a posuvným měřidlem. Vzájemným porovnáváním voštin jsem uplatnil jednoduchou statistiku z čehož jsou výstupem rozdílnost parametrické hodnoty voštin.

7. Seznam použité literatury

Adamovič, J. et al. (2010): Atlas pískovcových skalních měst České a Slovenské republiky: geologie a geomorfologie. Praha: Academia, 468 p.

Adamovič J. (2002): Sedimentary rocks. In: Cílek V. (ed.), Encyclopedia of life support systems (EOLSS), Earth system: History and natural variability, Oxford University Press, Oxford, UK. [online], dostupné z www: [http://www.eolss.net].

Adamovič J. et al. (2006): Hruboskalsko. Průvodce naučnou stezkou. ČSOP Sedmihorky a Křižánky, Gentiana, Jilemnice, 36 p.

Adamovič J. et al. (2006 b): Sandstone districts of the Bohemian Paradise: emergence of a romantic landscape. – Geolines, Papers in Earth sciences, vol. 21. Institute of Geology, Academy of Sciences of the Czech Republic, Praha, 100 p.

Adamovič J. et al. (2011): Porosity changes induced by salt weathering of sandstones, Bohemian cretaceous basin, Czech Republic. Acta Geodyn. Geomater. 8 (161), 29-45 p.

Adamovič J. et Cílek V. (2002): Katalog vybraných významných geologických lokalit pískovcových oblastí. Železovce české křídové pánve. Česká speleologická společnost. Knihovna České speleologické společnosti, svazek 38, Praha, 168 p.

Amoroso, G. et al. (1983): Stone decay and conservation: Material Science Monograph 11: New York, Elsevier, 453 p.

Balatka B. (1976): Hlavatá skála. Památky Přírody. Praha, 1: 442 p.

Balatka B. and SLÁDEK J. (1984): Geomorfologie Chráněné krajinné oblasti Kokořínsko a přilehlého území. – Bohemia centralis, Praha, 10: 7-53 p.

Balatka B. and SLÁDEK J. (1984): Typizace reliéfu kvádrových pískovců české křídové pánve. The typology of the relief on block sandstones in the Bohemian Cretaceous Basin. Rozpr. Českosl. Akad. Věd, Ř. mat. - přír. Věd, 94, 6: 1-80 p.

Bruthans, J. et al. (2014): Sandstone landforms shaped by negative feedback between stress and erosion. Nat. Geosci. 7: 597–601 p.

Bruthans J. et al. (2012): Zpevněné povrchy puklin v kvádrovém pískovci a jejich role při vzniku skalních měst. – Zprávy o geologických výzkumech v roce 2012/B – Kvartér, Inženýrská geologie. Česká geologická služba, Praha, 109-115 p.

Bruthans et al. (2018): Origin of honeycombs: testing the hydraulic and case hardening hypotheses. Geomorphology 303: 68-83 p.

Bruthans J. et Řihošek J. (2017): Tlakově stabilizované písky v České republice a jejich zvláštní geomechanické vlastnosti. – Zprávy o geologických výzkumech, vol 50 (2): 247-253 p.

Cílek V. (1995): Opálové intuskrustace skalních povrchů. Zpr. geol. Výzk. v Roce 1994: 21-22 p.

Conca, J. L., et Rossman, G. R. (1982): Case hardening of sandstone. Geology 10: 520–523 p.

Conca, J. L., et Rossman, G. R., (1985): Core softening in cavernously weathered tonalite: Journal of Geology 93: 59–73 p.

- Darwin, C. R., (1839): Journal of researches into the natural history and geology of the countries visited during the voyage of HMS Beagle round the world: New York, D. Appleton, 450 p.
- Dorn, R. I., (1995): Digital processing of back-scatter electron imagery: A microscopic approach to quantifying chemical weathering: Geological Society of America Bulletin, v. 107: 725–741 p.
- Dragovich, D., (1978): Building stone and its use in rock weathering studies: Journal of Geological Education, v. 27: 21–25 p.
- Evans, I. S., (1970): Salt crystallization and rock weathering: A review: Revue Géomorphologie Dynamique, v. 19: 153–177 p.
- Filippi, M. et al. (2018): Arcades: products of stress-controlled and discontinuity-related weathering. Earth-Sci. Rev. 180: 159–184 p.
- Goudie A. S. (2013): Arid and semi-arid geomorphology. Cambridge university press, 454 p.
- Grisez, L., (1960): Alvéolisation littorale de schistes métamorphiques: Revue Géomorphologie Dynamique, v. 11: 164–167p.
- Kettner R. (1955): Všeobecná geologie 2. Přírodovědecké nakladatelství, 368 p.
- Klein V. et Tajovský P. (1986): Zpráva o výsledcích prací na ložisku Střeleč (s výpočtem prognózních zásob sklářské a slévárenské suroviny). – MS Archiv Čes. Geol. Služba, Praha.
- Kukal, Z. et al. (2005): Geologická paměť krajiny. Praha: Česká geologická služba. 232 p.
- Krbcová K. (2011): Mikroformy pískovcového reliéfu a jejich využití pro relativní datování. – Ms. [Diplomová práce, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta].
- Kůrková I. et Bruthans J. (2013): Otázka vzniku závrtů, jeskyní a vydatných pramenů v hruboskalském pískovci a implikace pro hydrogeologický konceptuální model kvádrového pískovce. – Zprávy o geologických výzkumech v roce 2012, H – Hydrogeologie, Česká geologická služba, Praha: 287-290 p.
- Lewin, S. Z., (1982): The mechanism of masonry decay through crystallization, in Barkin, S. M., ed., Conservation of historic stone buildings and monuments: Washington, D.C., National Academy Press. 120–144 p.
- Ložek V., (1995): Biogeografický význam Labských pískovců. Sbor. Čes. geograf. Spol., 100, 3: 203-209 p.
- Matsukura Y. et Tanaka Y. (2000): Effect of rock hardness and moisture content on tafoni weathering in the Granite of Mount Doeg-Sung, Korea. Geografiska Annaler 82 A: 59-67 p.
- Mentlík P. (2001): Zarovnané povrchy ve vrcholových partiích Špičáku a Rozvodí (Královský hvozd). – Silva Gabreta, vol. 6: 7-18 p.
- Mertlík J. (2002): Železité inkrustace v pískovcích Českého ráje. – In: Adamovič J. et Cílek V. (eds.): Pseudokrasový sborník 2 – Železivec. – Knih. Čes. Speleol. Spol., Praha, 37: 49-51 p.
- Mikuláš R. (1998): Pískovcový fenomén Skalské tabule. – Ochrana přírody, 53, 4: 107-111 p. Praha.
- Mikuláš R. (2001a): Gravity and orientated pressure as factors controlling "honeycomb weathering" of the Cretaceous castellated sandstones (northern Bohemia, Czech Republic). Bull. Czech Geol. Surv., 76, 4: 217-226 p.

Mikuláš R., (2000 b): Poznámky ke vzniku některých prvků mikroreliefu pískovcových skal. *Ochr. Přír.*, 56, 1: 19-21 p.

Mikuláš, R. (2002): Sandstone modellation across climatic zones and lithofacies: The concept of porokarst. In: KOPŘIVOVÁ L. (ed.): *Abstract Book. Sandstone Landscapes: Diversity, Ecology and Conservation*, 12–20 p, Doubice in Saxonian-Bohemian Switzerland, Czech Republic, 24 p.

Mikuláš, R. (2007): The concept of porokarst: sandstone sculpturing across climatic zones and lithofacies. In: HARTEL, H., CILEK, V., HERBEN, T., JACKSON, A., WILLIAMS, R. (eds): *Sandstone Landscapes*, 66–75 p. Academia, Praha.

Mikuláš R. (2009): Pojem epigenetických voštin – příspěvek k poznání vzniku a vývoje pískovcového mikroreliefu (výchozy svrchnokřídových pískovců v severních a východních Čechách). *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2008. Česká geologická služba, Praha*, 2 p.

Mikuláš, R. et. al. (1998): Terrestrial insect bioerosion and the possibilities of its fossilization (Holocene to Recent, Czech Republic). – *Ichnos*, 5: 325–333 p.

Mol L. (2013): Investigations in to the relationship between changes in internal moisture regimes and rock surface deterioration in cavernous sandstone features. *Earth Surface processes and landforms* 39: 914–927 p.

Mossotti, V. G., et. al. (1990): The measurement of water transport in Salem limestone by X-ray computer aided tomography, in Marinis, P. G., and Koukis, G. C., eds., *The engineering geology of ancient works, monuments and historical sites; preservation and protection*: Rotterdam, Balkema, 2079–2082 p.

Mustoe, G. E., (1982): The origin of honeycomb weathering: *Geological Society of America Bulletin*, v. 93: 108–115 p.

Mustoe, G. E. (2010): Biogenic origin of coastal honeycomb weathering. *Earth Surf. Process. Landf.* 35: 424-434 p.

Nedomlel A. (1990): Závěrečná zpráva úkolu Střeleč V. geologie. – MS, Geoindustria GMS Praha, Archiv Geofond Praha, Liberec.

Or, D., Lehmann, P. et. al. (2013): Advances in soil evaporation physics a review. *Vadose Zone J.* 12 (4), 0. <https://doi.org/10.2136/vzj2012.0163>.

Ostanin I. et al. (2017): Natural erosion of sandstone as shape optimisation. – *Sci. Rep.* 7 (1): 17-301 p.

Paradise T. R. (2013): Tafoni and other rock basins. In: Pope G. A. (ed.): *Treatise on geomorphology 4. weathering and soils geomorphology*. Academic press, San Diego, 111-126 p.

Pásková M. et Řídkošil T. (2006): Český ráj první geopark UNESCO v nových zemích EU. – *Ochrana přírody*, 61 (1): 11-13 p.

Pauly, J. P., (1976): Maladie alveolaire conditions de formation et d'évolution, in Rossi-Manaresi, R., ed., *The conservation of stone: I. Bologna, Italy, Centro per la Conservazione delle Sculture all'aperto, Proceedings of the international symposium, Bologna, June 19–21 p, 1975, 55–80 p.*

Prachař I. (1987): Sklářské písky, jejich petrologie, mineralogie a chemismus. – *Kand. dis. práce, Českosl. Akad. Věd, Praha*: 164 p.

- Rodriguez-Navarro, C., (1998): Evidence of honeycomb weathering on Mars: Geophysical Research Letters, v. 25: 3249–3252 p.
- Rodriguez-Navarro, C. et al. (1999): Origins of honeycomb weathering: The role of salts and wind. - GSA Bulletin, vol. 111, no. 8: 1250–1255 p.
- Sádlo J., 2000. Mohutná pískovcová symfonie s málo notami. Vesmír, 79, 8: 455-462 p.
- RUBÍN J. et al. (1986): Atlas skalních, zemních a půdních tvarů. 1. vyd. Praha: Academia. 385 p.
- Řihošek J. et al. (2016): Gravity-induced stress as a factor reducing decay of sandstone monuments in Petra, Jordan. J. Cult. Herit. 19: 415-425 p.
- Safonov A. et al. (2020): Numerical modeling of the evolution of arcades and rock pillars. Geomorphology 365, 107260: 14 p.
- Schattner, I., (1961): Weathering phenomena in the crystalline of the Sinai in the light of current notions: Research Council of Israel Bulletin, v. 10, p. 247–266 p.
- Sedláček M. (2002): Chráněná území ČR III. Liberecko. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR (AOPK ČR), 331 p.
- Smolová, I. et al. (2007): Základy geomorfologie: vybrané tvary reliéfů. Univerzita Palackého v Olomouci, Diplomová práce.
- Správa CHKO Český ráj [online]. AOPK ČR. Dostupné z: <https://ceskyraj.ochranaprirody.cz/charakteristika-oblasti/klimaticke-pomery/>
- Sýkorová J. et al. (2015): Maloplošná chráněná území Libereckého kraje. 3. vyd., Geoprint, 144 p.
- Suchý V. et Filip J. (2016): Úvahy o původu konkávních tvarů na některých lokalitách karbonských arkóz ve středních a v západních Čechách. – Geoscience Research Reports, Czech geological survey, Prague, vol. 49: 61-67 p.
- Šibor J. (2017): Puklinové porušení vybraných hornin centrálního moldanubického masivu, Masyrykova univerzita, Brno, Diplomová práce.
- Šťastný V. (2003): Vliv struktury na reliéf vrchu Žďár (Strašická vrchovina). – Geomorfologický sborník, ČAG, ZČU v Plzni, Geomorfologické mapování a inventarizace tvarů (2): 189-194 p.
- Torraca, G., (1988): Porous building materials (third edition): Rome, ICROM (International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property), 149 p.
- Turkington A. V. et Phillips J. D. (2004): Cavernous weathering, dynamical instability and self-organization. Earth surf. Process. Landf. 29: 665-675 p.
- Twidale C. R. (1982): Caves and tafoni. In: Twidale C. R. (ed.): Granite landforms. Elsevier, Amsterdam, 280-300 p.
- Vítek J. (2000): Geomorfologické poměry přírodního parku Údolí Krounky a Novohradky. – Vč. sb. příř. - Práce a studie, 8: 31-49 p.
- Vítek J. (2013): Škrapy ve vápencích Pavlovských vrchů. – Acta Mus. Moraviae, Sci. geol., 98 (1): 91–109 p.
- Weyl, P. K., (1959): Pressure solution and the force of crystallization: A phenomenological theory: Journal of Geophysical Research, v. 64: 2001–2025 p.

Zatorski M. (2014): The structural control of the Mroczna Cave development on the slopes of Mt Kornuty (the Flysch Carpathians, Beskid Niski Mts). – Landform Analysis, Vol. 27: 55–65 p.

Ziegler V. (2010): Hruboskalské skalní město. – Geologie pro zvědavé. Vycházky. [online] Dostupné z: <http://www.geology.cz/svet-geologie/vylety/vylety>

Seznam obrázků:

Obrázek 1 – detail voštiny (foto J. Chlupáč, 2021).....	10
Obrázek 2 - typická stěna s voštinami + detail voštin v Českém ráji (foto J. Chlupáč, 2021)	11
Obrázek 3 - Mapa CHKO Český ráj, vyznačená PR Hruboskalsko (https://www.cesky-raj.cz/priroda/chko/chko-cesky-raj/).....	12
Obrázek 4 - Vyhlídka na kapelu – PR Hruboskalsko (foto J. Chlupáč, 2020).....	13
Obrázek 5 - Skalní útvar – skalní okno a vedle skalní dutina cca 50x50 cm (foto J. Chlupáč, 2021).....	14
Obrázek 6 - lokalita v rámci okresu souřadnice bodu 50.5190300N, 15.2018864E (mapy.cz)	14
Obrázek 7 - Mapa studovaného území s jednotlivými druhy hornin označených čísly 1-6 (https://mapy.geology.cz/geocr50/).....	15
Obrázek 8 - Pukliny tektonického původu (http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?puklina).....	20
Obrázek 9 - lokality v detailu 50.5190300N, 15.2018864E (mapy.cz).....	22
Obrázek 10 – první měřená stěna s voštinami 50.5189892N, 15.2011675E (foto J. Chlupáč, 2019).....	23
Obrázek 11 – druhá měřená stěna s voštinami 50.5190300N, 15.2018864E (foto J. Chlupáč, 2019).....	24
Obrázek 12 – třetí měřená stěna + detail voštin 50.5200344N 15.2007411E (foto J. Chlupáč, 2019).....	25
Obrázek 13 – čtvrtá lokalita s voštinami 50.5218281N, 15.1997753E (foto J. Chlupáč, 2019)	26
Obrázek 14 – pátá stěna + detail na voštiny 50.5222989N, 15.1996144E (foto J. Chlupáč, 2019).....	27
Obrázek 15 – šestá stěna s voštinami 50.5181925N, 15.2022592E (foto J. Chlupáč, 2021)	28
Obrázek 16 - Dřevěný čtverec 1 m ² na měření voštin (foto J. Chlupáč, 2019).....	29
Obrázek 17 - Geologický kompas, boční strana geol. Kompasů s výklopnou deskou s velikostí sklonu (foto J. Chlupáč, 2021).....	29
Obrázek 18 - Popis geologického kompasu (http://geologie.vsb.cz/PraktikaGeologie/KAPITOLY/6_M%C4%9A%C5%98_KOMPASEM/Geologick%C3%BD_kompas.htm).....	30
Obrázek 19 – program Stereonet podle kterého jsem vytvářel tektogramy s daty puklin. 31	
Obrázek 20 - Tektonogram puklin u první lokality (Stereonet).....	44
Obrázek 21 - Tektonogram u lokality č. 2.....	44
Obrázek 22 - Diagram u lokality č. 3.....	45
Obrázek 23 - Diagram u lokality č. 4.....	45
Obrázek 24 - Diagram lokality č. 5.....	46
Obrázek 25 - Diagram lokality č. 6.....	46

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Tabulka s většinovým územím č.1 označené jako 288 -> pokrčování na další straně.....	15
Tabulka 2 - Tabulka s územím č.2 označeným jako 130.	16
Tabulka 3 - Lokalita č.3.....	16
Tabulka 4 - Lokalita č.4.....	16
Tabulka 5 - Lokalita č. 5.....	17
Tabulka 6 - Lokalita č. 6.....	17
Tabulka 9 a Graf 8 - Výsledek porovnání všech vytvořených anov (šířky, délky, hloubky)	35
Tabulka 10 - Tabulka s první lokalitou.....	36
Tabulka 11 - Tabulka s druhou lokalitou.....	36
Tabulka 12 - Tabulka se třetí lokalitou.....	37
Tabulka 13 - Tabulka se čtvrtou lokalitou	37
Tabulka 14 - Tabulka s pátou lokalitou.....	38
Tabulka 15 - Tabulka a graf s šestou lokalitou	39
Tabulka 16 - Tabulka s komparací mezi jednotlivými šířkami voštin.....	40
Tabulka 17 - Tabulka s komparací mezi jednotlivými délkami voštin.....	41
Tabulka 18 - Tabulka s komparací mezi jednotlivými hloubkami voštin.....	42
Tabulka 19 - Tabulka s naměřenými hodnotami puklin k jednotlivým stěnám	43
Tabulka 20 - Tabulka s jednotlivými směry puklin 0-360°	47
Tabulka 21 - Tabulka s jednotlivými sklony puklin 0-90°.....	47
Tabulka 22 a Graf 20 – Tabulka Graf s porovnáním voštin a puklin	48