

VEKTOROVÁ ANALÝZA ÚDOLNÍCH OS VE VTAHU KE GEOLOGICKÝM STRUKTURÁM V POVODÍ BRTEVSKÉHO POTOKA U DOBRUŠKY (ČESKO)

**Vector analysis of valley axes in relation to geological structures
in the area of Brtevský potok Brook catchment area
at the town Dobruška (Czechia)**

Jan JURÁČEK

Muzeum východních Čech v Hradci Králové, Eliščíno nábřeží 465,
500 01 Hradec Králové 1; e-mail: j.juracek@muzeumhk.cz

The aim of paper is to evaluate relation between valley progress and geological structures in the area of the Brtevský potok Brook catchment area situated in the Orlické hory Mts. Piedmont. This area is formed by the rocks of Crystalline Complex and Cretaceous rocks. Valley axes were processed by vector analysis of valley axes based on the slope azimuths. The strikes and dip azimuths of planar geological structures (bedding planes, foliations, joints, fold limbs) as well as the trends of linear geological structures (fold axes, quartz veins) were worked mostly by the stereoplots. Both valley axes and geological structures were statistically compared by the trends/strikes and the dip/slope azimuths by Pearson's (χ^2) test. Valley progress was predisposed by planar geological structures (the strikes of foliations and joints and the dip azimuths of joints in the Crystalline Complex, the strikes and dip azimuths of bedding planes and joints in the Cretaceous rocks) in regard to selective erosion resistivity of the rocks.

Klíčová slova: vektor, údolí, geologická struktura, Pearsonův test, Brtevský potok
Key words: vector, valley, geological structure, Pearson's test, Brtevský potok Brook

1. Úvod

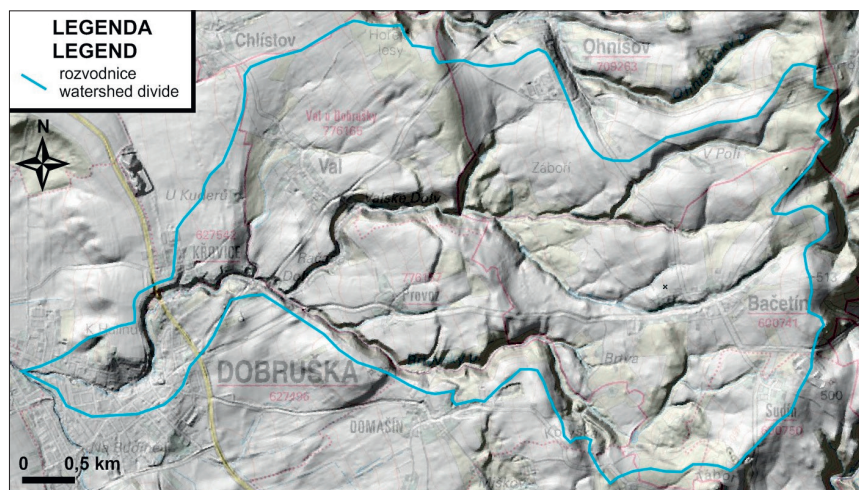
Geologické faktory patří mezi základní faktory pro utváření morfologie krajiny. Geologické struktury odrážející úložné a strukturní poměry a vlastnosti hornin (minerální složení, velikost krystalů či klastů, propustnost pro fluida, odolnost vůči zvětvávání atd.) podmiňují vývoj tvarů reliéfu. Nejvýznamnějšími tvary reliéfu vzniklé fluvialní činností (tekoucí vodou) jsou údolí. Mnoho autorů řešilo vztah geologických struktur a morfostrukturních dat např. pomocí vizuálního porovnávání směrových piků v růžicových diagramech, statisticky či manuálně nebo automatizovanou extrakcí topolinií na podkladu digitálního modelu reliéfu v prostředí GIS (např. ROŠTÍNSKÝ et al., 2013, JURÁČEK 2014, JURÁČEK et MELICHAR 2015, FLORES-PRIETO 2015, RADAIDEH et al. 2016, ARGYRIOU et al. 2017, FIGUEIREDO 2019).

Cílem příspěvku je vyhodnotit vztah údolí a geologických strukturních prvků v povodí Brtevského potoka u Dobrušky. Zatímco západní část zkoumaného území budují křídové sedimenty, východní partii povodí tvoří horniny krystalinika. Jakým způsobem oba základní typy hornin – zpevněné sedimenty a metamorfity reflektují význam eroze při formování údolních tvarů vzhledem k jejich vlastnostem a strukturnímu porušení je zásadním tématem této studie.

Povodí Brtevského potoka se rozkládá v sz. podhůří Orlických hor v. od města Dobrušky (obr. 1). Brtevský potok o délce 8,7 km pramení přibližně ve 480 m n. m. v okolí Sudína a vlévá se jako pravostranný přítok do říčky Dědiny na v. okraji Dobrušky ve 265 m n. m.

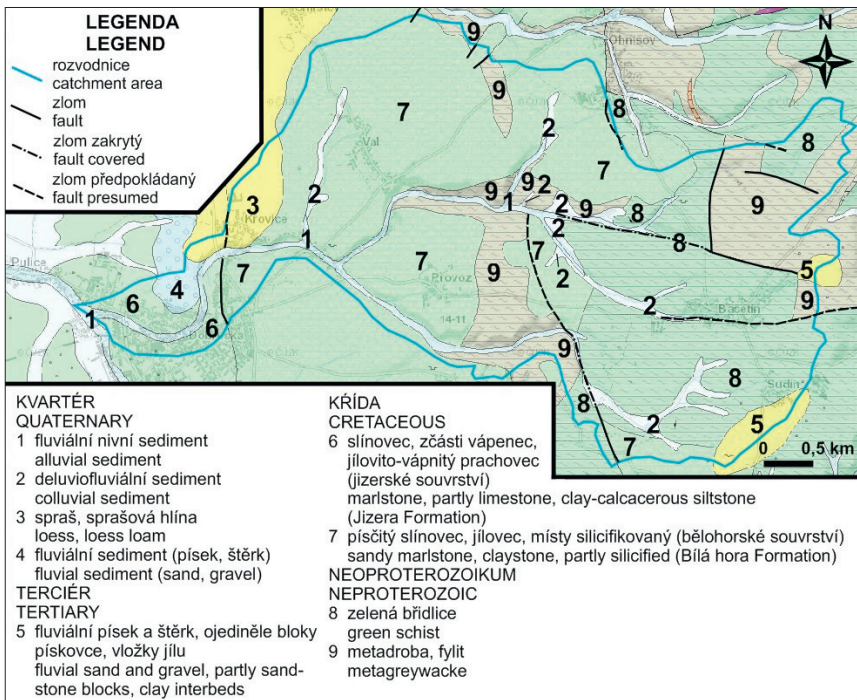
Celková plocha povodí Brtevského potoka činí 17,412 km² (ZÍTEK 1965), nejvyšším vrcholem je Tyršův kopec (545 m n. m.). Z geologického hlediska (obr. 2) je vybrané povodí budováno dvěma jednotkami – českou křídovou pánví a novoměstským krystalinikem. Západní části povodí Brtevského potoka budují převážně mírně ukloněné křídové píščito-prachovité slínovce, místy spongilitické až spongility (opuky) spodnoturonského bělohorského souvrství české křídové pánve, které formovaly výrazně pokřídově erodované z. křídlo orlickohorské antiklinály (MÜLLER et al. 1998, MAPY.GEOLOGY 2021). Česká křídová pánve se formovala během globální transgrese a subsidence v cenomanu-coniaku, přibližně 96–86 Ma v souvislosti s tektonickou rejuvenací labské zóny ve směru SZ–JV v důsledku alpské orogeneze (např. ULIČNÝ et al. 2009, WILMSEN et al. 2014). Východní partii povodí Brtevského potoka tvoří neoproterozoické zvrásněné metamorfity novoměstského krystalinika – metadrobry až fylity a zelené břidlice, původně horniny zaobloukové pánve finálně metamorfované během variského vrásnění (OPLETAL et al. 1980, MATTE et al. 1990, ALEKSANDROWSKI et MAZUR 2002, MAZUR et al. 2005, GRAD et al. 2008, CHOPIN et al. 2012, ILNICKI et al. 2020, MAPY.GEOLOGY. 2021). Křídové sedimenty spočinuly na horninách krystalinika diskordantně (např. OPLETAL et ČECH 2015). Pokryvné útvary představují především terciární fluvialní písčité šterky a písky a kvartérní fluvialní a deluviofluvialní písky, šterky a hlíny, spraše a sprašové hlíny (MÜLLER et al. 1998, MAPY.GEOLOGY 2021).

Geologická stavba vybraného území se odráží v geomorfologických poměrech. Západní část povodí tvoří Rychnovský úval (část Třebechovické tabule, resp. České tabule) se strukturálně denudačními plošinami a svědeckými vrchy a hřbety, zatímco ve v. části se rozkládá Ohnišovská pahorkatina (část Náchodské vrchoviny, resp. Orlického podhůří) charakterizovaná silně rozčleněným erozně denudačním reliéfem kerné stavby s výraznými strukturálními hřbety a suký, strukturálně denudačními plošinami, kuestovými hřbety a hluboce zaříznutými údolními (DEMEK et MACKOVČIN 2006).



Obr. 1: Poloha zkoumaného území. Podklad podle CZUK, 2021.

Fig. 1: Location of study area. Reference from CZUK, 2021.



Obř. 2: Geologická mapa zkoumaného území. Podklad podle MAPY.GEOLOGY, 2021.

Fig. 2: Geological map of study area. Reference from MAPY.GEOLOGY, 2021.

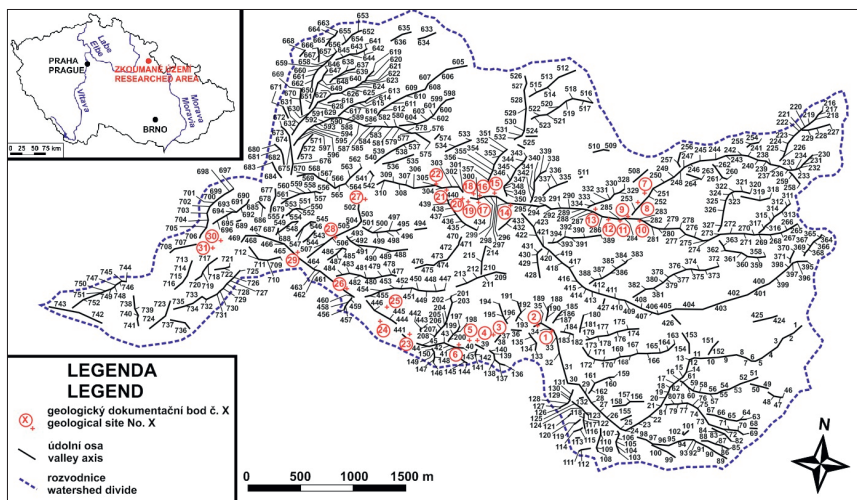
2. Metodika

Údolní osy byly analyzovány metodou vektorové analýzy (JURACEK 2014). Na topografickém podkladě v měřítku 1 : 10 000 (CUZK 2021) byly zkonstruovány údolní osy v programu CorelDraw (obr. 3), tj. spojnice ohybů vrstevnic v údolích. Ke každé údolní ose byl stanoven azimut spádu pomocí programu AutoCAD, obdoba azimutu sklonu geologických struktur. Velikost spádu údolních os byla určena rovnicí pro výpočet středního sklonu svahu podle DEMKA et al. (1972):

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta v}{l} \quad (1)$$

kde Δv je interval vrstevnic 10 m a l značí délku údolní osy v m. Údolní osy byly vyhodnoceny pomocí konturového diagramu v programu StaTECT (ELTEKTO 2021), který umožňuje znázornit azimuty i velikosti spádu, separátně pro křídovou a krystalinickou část vybraného povodí. Zdrojová data orientace údolních os pro horniny krystalinika (celkem 440 měření) a pro křídové sedimenty (312 měření) jsou na vyžádání dostupná u autora příspěvku.

Na 31 geologických dokumentačních bodech bylo v roce 2014 a 2016 v zájmovém území realizováno měření orientace geologických strukturních prvků (vrstevnatosti, pukliny, foliace, vrásových os a ramen a křemenných žil) spádnicovým způsobem pomocí geologického kompasu Freiberg. Data orientace geologických struktur (celkem 461 měření, data na



Obr. 3: Geologické dokumentační body a údolní osy ve zkoumaném území. Podklad podle Cuzk, 2021.

Fig. 3: Geological sites and valley axes in study area. Reference from Cuzk, 2021.

vyžádání dostupná u autora příspěvku) byla statisticky zpracována v programu Excel a StaTECT (ELTEKTO 2021) většinou prostřednictvím pólových stereoplátů v azimutální Lambertově projekci na spodní polokouli. Vrásová ramena byla analyzována pomocí oblouků ploch a vrásové osy formou růžicového diagramu z důvodu nízkého počtu naměřených dat.

Ve finální části byla data orientace geologických strukturálních prvků a orientace údolních os konfrontována. Pro statistickou komparaci obou kategorií dat byl použit statistický test nezávislosti – χ^2 -test (PEARSON 1900), a to aplikací funkce CHITEST v programu Excel.

Byly testovány azimuty spádu údolních os s azimuty směru a sklonu planárních struktur (vrstevnatost, pukliny, foliace, vrásová ramena) a s azimuty sklonu lineárních strukturálních elementů (vrásových os, křemenných žil). Statistické třídy četností byly stanoveny podle světových stran. Očekávané (teoretické) četnosti <1 byly eliminovány. PEARSONŮV (1900) test porovnává soubory dat, o kterých uvažujeme, že jsou nezávislá. Nulová hypotéza předikuje nezávislost náhodných veličin X a Y, tj. za předpokladu, že určitá varianta náhodné veličiny X nevyvolá vznik určité hodnoty náhodné veličiny Y. Funkce CHITEST počítá distribuční hodnoty χ^2 podle daného testovacího kritéria a počtu stupňů volnosti (7). Výsledkem je výpočet parametru p (resp. chyba I. typu), což je pravděpodobnost, že za předpokladu nezávislosti mohla náhodně nastat hodnota testového kritéria χ^2 nejméně tak vysoká, jako hodnota vypočítaná podle vztahu:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(A_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad (2)$$

kde A_{ij} je zjištěná četnost v i-tém řádku a j-tém sloupci, E_{ij} je očekávaná četnost v i-tém řádku a j-tém sloupci, r je počet řádků, c je počet sloupců, Jestliže je parametr $p \geq 0,05$, můžeme přijmout nulovou hypotézu, v opačném případě zamítnout. Statisticky významná závislost nastane při $p < 0,05$, statisticky velmi významná závislost v případě $p < 0,01$ a statisticky extrémně významná závislost znamená $p < 0,001$.

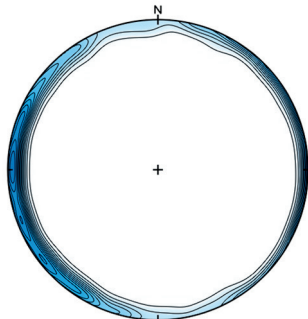
3. Výsledky

3. 1. Orientace údolních os a geologických strukturních prvků

Osy údolí v krystalinické části zájmového území (celkem 440 měření) mají směr většinou Z–V až ZJZ–VSV o převážně mírně ukloněném spádu v kategorii 2–5° (obr. 4), v křídové části povodí Brtevskeho potoka mají údolní osy (312 měření) směr zpravidla SV–JZ a mírný spád 2–5° (obr. 5).

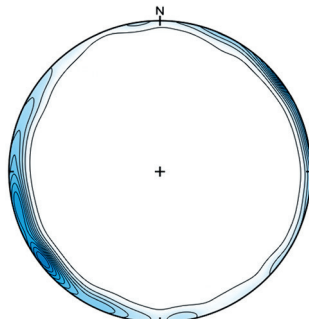
Foliace (119 měření) jsou orientovány převážně ve směru SSZ–JJV až SSV–JJZ a sklonu 10–30° k ZSZ–ZJZ (obr. 6). Pukliny v krystalinické části zájmového území (64 měření) mají většinou směr S–J až SSV–JJZ se sklonem ve třídě 31–40° a 71–80° k Z–ZSZ (obr. 7). Plochy vrásových ramen (22 měření) zaujímají mírně dominantní směr SSV–JJZ až SV–JZ pod úhly 51–60° k ZSZ a JV. Vrásové osy v metamorfitech (12 měření) jsou většinou ukloněny pod úhly 10–25° k S (obr. 9). Křemenné žíly (63 měření) mají výrazně zastoupený sklon 10–30° k Z–ZSZ (obr. 10).

Vrstevnatost v křídových sedimentech (130 měření) má dominantní směr SV–JZ až SSV–JJZ se sklonem 1–10° k SZ–ZSZ (obr. 11). Pukliny v křídové části zájmového území (50 měření) mají směr převážně SSZ–JJV a sklon 60–90° k VSV (obr. 12).



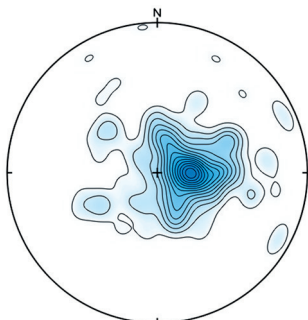
Obr. 4: Spádnice údolních os (440 měření) v horninách krystalinika.

Fig. 4: Slope lines of valley axes (440 measurements) in Crystalline rocks.



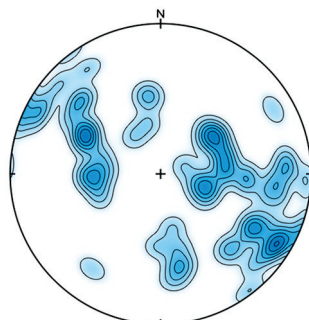
Obr. 5: Spádnice údolních os (312 měření) v křídových sedimentech.

Fig. 5: Slope lines of valley axes (312 measurements) in Cretaceous sediments.



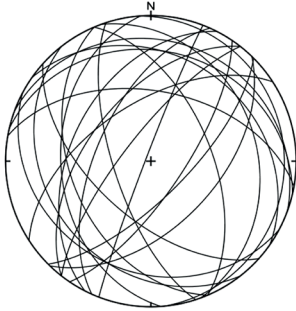
Obr. 6: Póly foliací (119 měření).

Fig. 6: Poles of foliations (119 measurements).



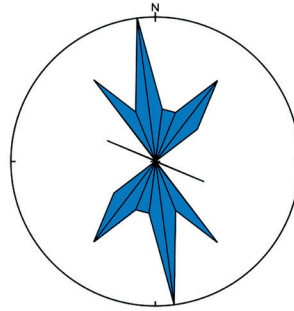
Obr. 7: Póly puklin v horninách krystalinika (64 měření).

Fig. 7: Poles of joints in Crystalline rocks (64 measurements).



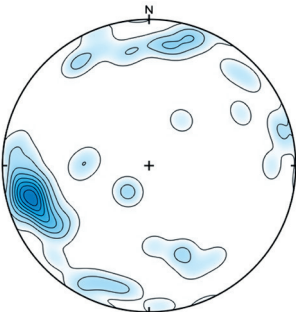
Obr. 8: Póly ploch vrásových ramen (22 měření).

Fig. 8: Poles of fold limbs (22 measurements).



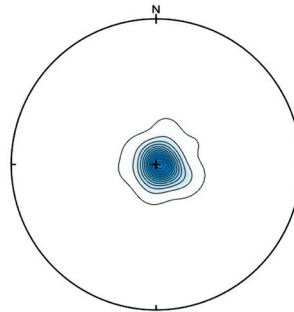
Obr. 9: Spádnice vrásových os (12 měření).

Fig. 9: Trend lines of fold axes (12 measurements).



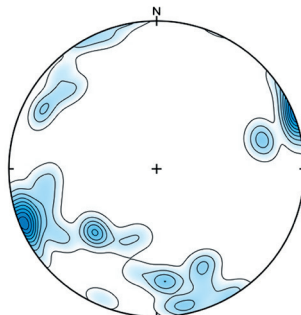
Obr. 10: Spádnice křemenných žil (63 měření).

Fig. 10: Trend lines of quartz veins (63 measurements).



Obr. 11: Póly vrstevnatosti (130 měření).

Fig. 11: Poles of bedding planes (130 measurements).



Obr. 12: Póly puklin v křídových sedimentech (50 měření).

Fig. 12: Poles of joints in Cretaceous sediments (50 measurements).

3. 2. Komparace údolních os a geologických strukturních prvků

Statistickým porovnáním azimutů spádu údolních os s azimuty směru foliace (tab. 1) byla zjištěna vzhledem k hodnotě parametru p statisticky extrémně významná závislost. V případě vztahu údolních os a azimutů sklonu foliace (tab. 2) byla zjištěna statisticky nevýznamná závislost. Azimuty spádu údolních os vykazaly statisticky extrémně významnou závislost s azimuty směru puklin v horninách krystalinika (tab. 3), méně těsněji s azimuty sklonu puklin v krystaliniku (tab. 4). Vrásová ramena jsou pro údolní osy statisticky nevýznamná jak v případě azimutů směru (tab. 5), tak i azimutů sklonu (tab. 6). Statisticky nevýznamná závislost byla determinována rovněž v případě vztahu údolních os a vrásových os (tab. 7). Mezi azimuty spádu údolních os a azimuty sklonu křemenných žil byla vypočítána statisticky extrémně významná závislost (tab. 8).

V křídové části povodí Brtevského potoka byla nalezena statisticky extrémně významná závislost mezi azimuty spádu údolních os a všemi sledovanými parametry geologických strukturních prvků – azimuty směru vrstevnatosti (tab. 9), o několik řádů těsněji s azimuty sklonu vrstevnatosti (tab. 10), azimuty směru puklin (tab. 11) a azimuty sklonu puklin (tab. 12).

Tab. 1: Statistické porovnání azimutů spádu údolních os a azimutů směru foliace.

Tab. 1: Statistical comparison of the slope azimuths of valley axes and the strikes of foliation.

| Směr | Zjištěné četnosti | | | X2-test | |
|----------|------------------------------|--------------------------|----------|------------------------|--------|
| | Azimut spádu údolních os [°] | Azimut směru foliace [°] | Σ | Očekávané četnosti | |
| S–J | 25 | 28 | 53 | 41,717 | 11,283 |
| SSV–JJZ | 48 | 15 | 63 | 49,589 | 13,411 |
| SV–JZ | 73 | 15 | 88 | 69,267 | 18,733 |
| VSV–ZJZ | 74 | 10 | 84 | 66,118 | 17,882 |
| V–Z | 88 | 8 | 96 | 75,564 | 20,436 |
| VJV–ZSZ | 61 | 12 | 73 | 57,460 | 15,540 |
| JV–SZ | 44 | 7 | 51 | 40,143 | 10,857 |
| JJV–SSZ | 27 | 24 | 51 | 40,143 | 10,857 |
| Σ | 440 | 119 | 559 | $p = 0,00000000000173$ | |

Tab. 2: Statistické porovnání azimutů spádu údolních os a azimutů sklonu foliace.

Tab. 2: Statistical comparison of the slope azimuths of valley axes and the dip azimuths of foliation.

| Směr | Zjištěné četnosti | | | X2-test | |
|----------|------------------------------|---------------------------|----------|------------------------|--------|
| | Azimut spádu údolních os [°] | Azimut sklonu foliace [°] | Σ | Očekávané četnosti | |
| S–J | 25 | 8 | 33 | 25,975 | 7,025 |
| SSV–JJZ | 48 | 12 | 60 | 47,227 | 12,773 |
| SV–JZ | 73 | 7 | 80 | 62,970 | 17,030 |
| VSV–ZJZ | 74 | 24 | 98 | 77,138 | 20,862 |
| V–Z | 88 | 28 | 116 | 91,306 | 24,694 |
| VJV–ZSZ | 61 | 15 | 76 | 59,821 | 16,179 |
| JV–SZ | 44 | 15 | 59 | 46,440 | 12,560 |
| JJV–SSZ | 27 | 10 | 37 | 29,123 | 7,877 |
| Σ | 440 | 119 | 559 | $p = 0,17025840958924$ | |

Tab. 3: Statistické porovnání azimutů spádu údolních os a azimutů směru puklin v horninách krystalinika.

Tab. 3: Statistical comparison of the slope azimuths of valley axes and the strikes of joints in Crystalline rocks.

| Směr | Zjištěné četnosti | | Σ | X2-test | |
|---------|------------------------------|--|-----|---------------------|--------|
| | Azimut spádu údolních os [°] | Azimut směru puklin v krystaliniku [°] | | Očekávané četnosti | |
| S–J | 25 | 15 | 40 | 34,921 | 5,079 |
| SSV–JJZ | 48 | 20 | 68 | 59,365 | 8,635 |
| SV–JZ | 73 | 10 | 83 | 72,460 | 10,540 |
| VSV–ZJZ | 74 | 4 | 78 | 68,095 | 9,905 |
| V–Z | 88 | 5 | 93 | 81,190 | 11,810 |
| VJV–ZSZ | 61 | 0 | 61 | 53,254 | 7,746 |
| JV–SZ | 44 | 5 | 49 | 42,778 | 6,222 |
| JJV–SSZ | 27 | 5 | 32 | 27,937 | 4,063 |
| Σ | 440 | 64 | 504 | p = 0,0000000052460 | |

Tab. 4: Statistické porovnání azimutů spádu údolních os a azimutů sklonu puklin v horninách krystalinika.

Tab. 4: Statistical comparison of the slope azimuths of valley axes and the dip azimuths of joints in Crystalline rocks.

| Směr | Zjištěné četnosti | | Σ | X2-test | |
|---------|------------------------------|---|-----|----------------------|--------|
| | Azimut spádu údolních os [°] | Azimut sklonu puklin v krystaliniku [°] | | Očekávané četnosti | |
| S–J | 25 | 5 | 30 | 26,190 | 3,810 |
| SSV–JJZ | 48 | 0 | 48 | 41,905 | 6,095 |
| SV–JZ | 73 | 5 | 78 | 68,095 | 9,905 |
| VSV–ZJZ | 74 | 5 | 79 | 68,968 | 10,032 |
| V–Z | 88 | 15 | 103 | 89,921 | 13,079 |
| VJV–ZSZ | 61 | 20 | 81 | 70,714 | 10,286 |
| JV–SZ | 44 | 10 | 54 | 47,143 | 6,857 |
| JJV–SSZ | 27 | 4 | 31 | 27,063 | 3,937 |
| Σ | 440 | 64 | 504 | p = 0,00060237190897 | |

Tab. 5: Statistické porovnání azimutů spádu údolních os a azimutů směru vrásových ramen.

Tab. 5: Statistical comparison of the slope azimuths of valley axes and the strikes of fold limbs.

| Směr | Zjištěné četnosti | | Σ | X2-test | |
|---------|------------------------------|----------------------------------|----|--------------------|-------|
| | Azimut spádu údolních os [°] | Azimut směru vrásových ramen [°] | | Očekávané četnosti | |
| S–J | 25 | 2 | 27 | 25,714 | 1,286 |
| SSV–JJZ | 48 | 3 | 51 | 48,571 | 2,429 |

| Směr | Zjištěné četnosti | | | X2-test | |
|---------|------------------------------|----------------------------------|-----|--------------------|-------|
| | Azimut spádu údolních os [°] | Azimut směru vrásových ramen [°] | Σ | Očekávané četnosti | |
| SV–JZ | 73 | 5 | 78 | 74,286 | 3,714 |
| VSV–ZJZ | 74 | 1 | 75 | 71,429 | 3,571 |
| V–Z | 88 | 1 | 89 | 84,762 | 4,238 |
| VJV–ZSZ | 61 | 3 | 64 | 60,952 | 3,048 |
| JV–SZ | 44 | 3 | 47 | 44,762 | 2,238 |
| JJV–SSZ | 27 | 4 | 31 | 29,524 | 1,476 |
| Σ | 440 | 22 | 462 | p = 0,168523 | |

Tab. 6: Statistické porovnání azimutů spádu údolních os a azimutů sklonu vrásových ramen.

Tab. 6: Statistical comparison of the slope azimuths of valley axes and the dip azimuths of fold limbs.

| Směr | Zjištěné četnosti | | | X2-test | |
|---------|------------------------------|-----------------------------------|-----|--------------------|-------|
| | Azimut spádu údolních os [°] | Azimut sklonu vrásových ramen [°] | Σ | Očekávané četnosti | |
| S–J | 25 | 1 | 26 | 24,762 | 1,238 |
| SSV–JJZ | 48 | 3 | 51 | 48,571 | 2,429 |
| SV–JZ | 73 | 3 | 76 | 72,381 | 3,619 |
| VSV–ZJZ | 74 | 4 | 78 | 74,286 | 3,714 |
| V–Z | 88 | 2 | 90 | 85,714 | 4,286 |
| VJV–ZSZ | 61 | 3 | 64 | 60,952 | 3,048 |
| JV–SZ | 44 | 5 | 49 | 46,667 | 2,333 |
| JJV–SSZ | 27 | 1 | 28 | 26,667 | 1,333 |
| Σ | 440 | 22 | 462 | p = 0,673166 | |

Tab. 7: Statistické porovnání azimutů spádu údolních os a azimutů sklonu vrásových os.

Tab. 7: Statistical comparison of the slope azimuths of valley axes and the trends of fold axes.

| Směr | Zjištěné četnosti | | | X2-test | |
|---------|------------------------------|--------------------------------|-----|--------------------|-------|
| | Azimut spádu údolních os [°] | Azimut sklonu vrásových os [°] | Σ | Očekávané četnosti | |
| S–J | 25 | 4 | 29 | | |
| SSV–JJZ | 48 | 1 | 49 | 47,699 | 1,301 |
| SV–JZ | 73 | 3 | 76 | 73,982 | 2,018 |
| VSV–ZJZ | 74 | 0 | 74 | 72,035 | 1,965 |
| V–Z | 88 | 0 | 88 | 85,664 | 2,336 |
| VJV–ZSZ | 61 | 1 | 62 | 60,354 | 1,646 |
| JV–SZ | 44 | 2 | 46 | 44,779 | 1,221 |
| JJV–SSZ | 27 | 1 | 28 | | |
| Σ | 440 | 12 | 452 | p = 0,569041 | |

Tab. 8: Statistické porovnání azimutů spádu údolních os a azimutů sklonu křemenných žil.**Tab. 8:** Statistical comparison of the slope azimuths of valley axes and the trends of quartz veins.

| Směr | Zjištěné četnosti | | Σ | X2-test | |
|---------|----------------------------|----------------------------------|-----|----------------------|--------|
| | Azimut spádu údolní os [°] | Azimut sklonu křemenných žil [°] | | Očekávané četnosti | |
| S–J | 25 | 6 | 31 | 27,117 | 3,883 |
| SSV–JJZ | 48 | 8 | 56 | 48,986 | 7,014 |
| SV–JZ | 73 | 7 | 80 | 69,980 | 10,020 |
| VSV–ZJZ | 74 | 22 | 96 | 83,976 | 12,024 |
| V–Z | 88 | 11 | 99 | 86,600 | 12,400 |
| VJV–ZSZ | 61 | 0 | 61 | 53,360 | 7,640 |
| JV–SZ | 44 | 2 | 46 | 40,239 | 5,761 |
| JJV–SSZ | 27 | 7 | 34 | 29,742 | 4,258 |
| Σ | 440 | 63 | 503 | p = 0,00056489016799 | |

Tab. 9: Statistické porovnání azimutů spádu údolních os a azimutů směru vrstevnatosti.**Tab. 9:** Statistical comparison of the slope azimuths of valley axes and the strikes of bedding planes.

| Směr | Zjištěné četnosti | | Σ | X2-test | |
|---------|------------------------------|--------------------------------|-----|--------------------|--------|
| | Azimut spádu údolních os [°] | Azimut směru vrstevnatosti [°] | | Očekávané četnosti | |
| S–J | 18 | 14 | 32 | 22,588 | 9,412 |
| SSV–JJZ | 35 | 31 | 66 | 46,588 | 19,412 |
| SV–JZ | 81 | 16 | 97 | 68,471 | 28,529 |
| VSV–ZJZ | 70 | 12 | 82 | 57,882 | 24,118 |
| V–Z | 50 | 20 | 70 | 49,412 | 20,588 |
| VJV–ZSZ | 30 | 20 | 50 | 35,294 | 14,706 |
| JV–SZ | 19 | 9 | 28 | 19,765 | 8,235 |
| JJV–SSZ | 9 | 8 | 17 | 12,000 | 5,000 |
| Σ | 312 | 130 | 442 | p = 0,00001239 | |

Tab. 10: Statistické porovnání azimutů spádu údolních os a azimutů sklonu vrstevnatosti.**Tab. 10:** Statistical comparison of the slope azimuths of valley axes and the dip azimuths of bedding planes.

| Směr | Zjištěné četnosti | | Σ | X2-test | |
|---------|------------------------------|---------------------------------|-----|----------------------|--------|
| | Azimut spádu údolních os [°] | Azimut sklonu vrstevnatosti [°] | | Očekávané četnosti | |
| S–J | 18 | 20 | 38 | 26,824 | 11,176 |
| SSV–JJZ | 35 | 20 | 55 | 38,824 | 16,176 |
| SV–JZ | 81 | 9 | 90 | 63,529 | 26,471 |
| VSV–ZJZ | 70 | 8 | 78 | 55,059 | 22,941 |
| V–Z | 50 | 14 | 64 | 45,176 | 18,824 |
| VJV–ZSZ | 30 | 31 | 61 | 43,059 | 17,941 |
| JV–SZ | 19 | 16 | 35 | 24,706 | 10,294 |
| JJV–SSZ | 9 | 12 | 21 | 14,824 | 6,176 |
| Σ | 312 | 130 | 442 | p = 0000000000264842 | |

Tab. 11: Statistické porovnání azimutů spádu údolních os a azimutů směru puklin v křídových sedimentech.

Tab. 11: Statistical comparison of the slope azimuths of valley axes and the strikes of joints in the area of Cretaceous sediments.

| Směr | Zjištěné četnosti | | Σ | X2-test | |
|---------|------------------------------|---------------------------------|-----|-------------------------|--------|
| | Azimut spádu údolních os [°] | Azimut směru puklin v křídě [°] | | Očekávané četnosti | |
| S–J | 18 | 2 | 20 | 17,238 | 3,205 |
| SSV–JJZ | 35 | 2 | 37 | 31,890 | 5,929 |
| SV–JZ | 81 | 3 | 84 | 72,398 | 13,462 |
| VSV–ZJZ | 70 | 9 | 79 | 68,088 | 12,660 |
| V–Z | 50 | 5 | 55 | 47,403 | 8,814 |
| VJV–ZSZ | 30 | 3 | 33 | 28,442 | 5,288 |
| JV–SZ | 19 | 6 | 25 | 21,547 | 4,006 |
| JJV–SSZ | 9 | 20 | 29 | 24,994 | 4,647 |
| Σ | 312 | 50 | 362 | p = 0,00000000000002452 | |

Tab. 12: Statistické porovnání azimutů spádu údolních os a azimutů sklonu puklin v křídových sedimentech.

Tab. 12: Statistical comparison of the slope azimuths of valley axes and the dip azimuths of joints in the Cretaceous sediments.

| Směr | Zjištěné četnosti | | Σ | X2-test | |
|---------|------------------------------|----------------------------------|-----|----------------------|--------|
| | Azimut spádu údolních os [°] | Azimut sklonu puklin v křídě [°] | | Očekávané četnosti | |
| S–J | 18 | 5 | 20 | 19,823 | 3,177 |
| SSV–JJZ | 35 | 3 | 37 | 32,751 | 5,249 |
| SV–JZ | 81 | 6 | 84 | 74,983 | 12,017 |
| VSV–ZJZ | 70 | 20 | 79 | 77,569 | 12,431 |
| V–Z | 50 | 2 | 55 | 44,818 | 7,182 |
| VJV–ZSZ | 30 | 2 | 33 | 27,580 | 4,420 |
| JV–SZ | 19 | 3 | 25 | 18,961 | 3,039 |
| JJV–SSZ | 9 | 9 | 29 | 15,514 | 2,486 |
| Σ | 312 | 50 | 362 | p = 0,00000500400724 | |

4. Diskuze

Na progresi údolních os se v krystalinické části povodí Brtevskeho potoka podílely foliace (azimuty směru), pukliny (azimuty směru, méně těsněji azimuty sklonu) i křemenné žíly. Význam azimutů směru foliací a puklin patrně reflektoval vliv laterální eroze vodních toků v souvislosti s nižší erozní odolností metamorfovaných hornin. Nižší význam azimutů sklonu puklin, byť ve statisticky extrémně významné závislosti s údolními osami, mohl souviset se strmějším sklonem částí puklin (především v intervalu 71–80°), které patrně působily jako příhodný faktor vertikální eroze ve spojitosti s vyšší kinetickou energií vodního proudění v horních částech toků. Význam křemenných žil pro vývoj údolí zřejmě souvisel s jejich vazbou na pukliny v krystaliniku, protože vykazaly výraznější shodu zjištěných četností jak s azimuty sklonu puklin ve směru generálně V–Z, tak i podle mírných až středních velikostí sklonu. Vrásové osy i ramena, většinou struktury malých rozměrů, neměly na vývoj údolí vliv, výsledky by však mohly být zkráceny malým souborem zjištěných četností.

V křídové části povodí Brtevskeho potoka se ukázala statisticky extrémní závislost azimutů spádu údolních os na všech sledovaných strukturních prvcích. V případě predispozice azimutů směru vrstevnatosti i puklin na vývoj údolí patrně sehrála roli laterální vodní eroze podmíněná nižší erozní odolností křídových sedimentů. Vliv azimutů sklonu vrstevnatosti na vývoj většinou mírně ukloněných údolních os se zřejmě projevil prostřednictvím převážně mírné velikosti sklonu vrstevnatosti křídových sedimentů. Vertikální vodní eroze ve spojitosti s nižší selektivní odolností křídových sedimentů se mohla evidentně projevit v případě azimutů sklonu puklin, které jsou v naprosté převaze subvertikální.

Při zařezávání údolí v povodí Brtevskeho potoka do horninového podkladu se mohly dominantně predispozičně uplatnit planární strukturní prvky, obdobně jako v jiných územích (např. JURACEK 2014, JURÁČEK 2015a, 2015b, 2018).

5. Závěr

Osy údolí o spádu 2–5° v povodí Brtevskeho potoka u Dobrušky mají v krystalinické části zájmového území většinou směr Z–V až ZJZ–VSV, v křídové části směr zpravidla SV–JZ. Pro vývoj údolí měly význam foliace, pukliny a vrstevnatosti. Mírně ukloněné foliace jsou orientovány ve směru SSZ–JJV až SSV–JJZ se sklonem k ZSZ–ZJZ. Pukliny v krystalinické části zájmového území mají většinou směr S–J až SSV–JJZ se středními nebo strmými sklony k Z–ZSZ. Převážně mírně ukloněná vrstevnatost v křídových sedimentech má dominantní směr SV–JZ až SSV–JJZ o sklonu k SZ–ZSZ. Zpravidla subvertikální pukliny v křídové části zájmového území zaujaly směr především SSZ–JJV se sklonem k VSV.

Azimuty směru foliací a puklin v krystalinické části povodí Brtevskeho potoka a azimuty směru vrstevnatosti a puklin v křídové části zájmového území měly význam pro laterální erozi vodních toků podmíněné nižší erozní odolností hornin. Strmě až subvertikálně ukloněné pukliny v krystalinické i křídové části zájmového území predisponovaly vertikální erozi především v souvislosti s vyšší kinetickou energií vodního proudění za přispění selektivní odolnosti hornin. Azimuty sklonu vrstevnatosti se ve vývoji údolí uplatnily v křídové části povodí ve spojitosti s mírnou velikostí sklonu vrstevnatosti. Statisticky extrémně významná závislost údolních os byla zjištěna rovněž na mírně až středně ukloněných křemenných žilách směru převážně Z–ZSZ vzhledem k jejich vazbě na azimuty sklonu puklin.

Vývoj údolí v povodí Brtevskeho potoka predisponovaly především planární geologické strukturní prvky – pukliny, foliace a vrstevnatost.

Summary

Paper determines a relation between valley axes and geological structures in the Brtevský potok Brook catchment area situated in the E of the town Dobruška in the Orlické hory Mts. Piedmont. This area is mostly formed by the rocks of the Crystalline Complex and clastic sediments of the Bohemian Cretaceous Basin. Valley axes were processed by the stereoplots due to vector analysis based on the slope azimuth and the slope determination. The dip azimuths and the dips of the foliations, joints, bedding planes, fold axes, fold limbs and quartz veins were analysed by the stereoplots. Valley axes and geological structures were statistically compared by application of Pearson's (χ^2) test. Mostly gently inclined valley axes were oriented in the trend W–E to WSW–ENE in the Crystalline rocks whereas in the trend NE–SW in the Cretaceous rocks. Valley progress was directed by the orientation of the planar geological structures (the strikes of foliations and joints and the dip azimuths of joints in the Crystalline Complex, the strikes and dip azimuths of bedding planes and joints in the Cretaceous rocks) in regard to selective erosion resistivity of the rocks.

Poděkování

Príspevek vznikl za podpory projektu Elektrárny Opatovice, a. s. EOP99160005 „Výzkum vztahu geologických struktur a údolní sítě“ a interního projektu Muzea východních Čech v Hradci Králové č. 140022.

Literatura

- ALEKSANDROWSKI P. et MAZUR S., 2002: Collage tectonics in the northeasternmost part of the Variscan Belt: the Sudetes, Bohemian Massif. In: *Winchester J. et al. (eds.): Palaeozoic Amalgamation of Central Europe. Geol. Soc., London, Spec. Publ., 201: 237–277.*
- ARGYRIOU A. V., TEEUW R. M., SOUPIOU P. et SARRIS A., 2017: Neotectonics control on drainage systems: GIS-based geomorphometric and morphotectonic assessment for Crete, Greece. *J. Struct. Geol., 104: 93–111.*
- CUZK, 2021: Katastr nemovitostí [online, cit: 27. 1. 2021]. Dostupné z: [www: https://nahli-zenidokn.cuzk.cz/VyberKatastrMapa.aspx](http://www.nahli-zenidokn.cuzk.cz/VyberKatastrMapa.aspx).
- DEMEK J., EMBLETON C., GELLERT J. F. et VERSTAPEN H. T. (eds.), 1972: *Manual of detailed geomorphological mapping.* Academia, Praha.
- DEMEK J. et MACKOVČIN P. (eds.), 2006: *Zeměpisný lexikon ČR, Hory a nížiny.* Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, Brno.
- ELTEKTO 2021: EL Tekto [online, cit: 27. 1. 2021]. Dostupné z: <http://www.eltekto.cz/>.
- FIGUEIREDO P. M., ROCKWELL T. K., CABRAL J. et PONTE L. C., 2019: Morphotectonics in a low tectonic rate area: Analysis of the southern Portuguese Atlantic coastal region. *Geomorphology, 326: 132–151.*
- FLORES-PRieto E., QUÉNÉHERVÉ G., BACHOFER F., FAISAL S. et MAERKER M., 2015: Morphotectonic interpretation of the Makuyuni catchment in Northern Tanzania using DEM and SAR data. *Geomorphology, 248: 427–439.*
- GRAD M., GUTERCH A., MAZUR S., KELLER G. R., ŠPIČÁK A., HRUBCOVÁ P. et GEISSLER W. H., 2008: Lithospheric structure of the Bohemian Massif and adjacent Variscan belt in central Europe based on profile S01 from the SUDETES 2003 experiment. *J. Geophys. Res., 113: 1–25.*
- FRANCIS Ch., SCHULMANN K., SKRZYPEK E., LEHMANN J., DUJARDIN J. R., MARTELAT J. E., LEXA O., CORSINI M., EDEL J. B., ŠTÍPSKÁ P. et PITRA P., 2012: Crustal influx, indentation, ductile thinning and gravity redistribution in a continental wedge: Building a Moldanubian mantled gneiss dome with underthrust Saxothuringian material (European Variscan belt). *Tectonics, 31/1: 1–27.*
- ILNICKI S., SZCZEPAŃSKI J. et PIN C., 2020: Tholeiitic- and boninite-series metabasites of the Nové Město Unit and northern part of the Zábřeh Unit (Orlica – Śnieżnik Dome, Bohemian Massif): petrogenesis and tectonic significance. *Int. J. Earth Sci., 109: 1247–1271.*
- JURACEK J., 2014: The evaluation of geological structure by the vector analysis of valley axes. *Z. Geomorphol., 58/2: 201–215.*
- JURÁČEK J., 2015a: Deformační vývoj hornin a vztah geologických struktur k údolním osám na Kunětické hoře u Pardubic. *Vč. sb. přír. – Práce a studie, 22: 1–18.*
- JURÁČEK J., 2015b: Tektonika křídových hornin ve vztahu k údolní síti v okolí Výravu u Hradce Králové. *Acta Musei reginaehradecensis, s. A., 35/1: 5–10.*
- JURÁČEK J., 2018: Vektorová analýza údolních os ve vztahu ke geologickým strukturám v povodí Honkova potoka u Semil. *Sb. Severočeského muzea, Přír. vědy, 36: 3–14.*
- JURÁČEK J. et MELICHAR R., 2015: Directions of valley axes in relationship to geological structure-element orientation in the Stříbrné Hory area in the Bohemian-Moravian Uplands (Czech Republic). *J. Geodesy Geomat. Eng., 2/2: 82–86.*
- MAPY.GEOLOGY, 2021: Geologické mapy [online, cit: 27. 1. 2021]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/>.
- MATTE P., MALUSKI H., RAJLICH P. et FRANKE W., 1990: Terrane boundaries in the Bohemian Massif: Results of large scale Variscan shearing. *Tectonophysics, 177: 151–170.*
- MAZUR S., ALEKSANDROWSKI P. et SZCZEPAŃSKI J., 2005: The presumed Teplá-Barrandian/Moldanubian terrane boundary in the Orlica Mountains (Sudetes, Bohemian Massif): structural and petrological characteristics. *Lithos, 82: 85–112.*

- MÜLLER V. (ed.), BURDA J., ČECH S., DUBEC O., GÜRTLEROVÁ P., JINCHOVÁ J., MANOVÁ M., OPLETAL M., RUDOLSKÝ J., SEKÝRA J., SKALICKÝ J. et ŠALANSKÝ K., 1998: *Výsvětlivky k souboru geologických a ekologických účelových map přírodních zdrojů v měřítku 1: 50 000, List 14-11 Nové Město nad Metují*. Český geologický ústav, Praha.
- OPLETAL M. et ČECH S., 2015: Zajímavé odkryvy s transgresí křídý na fylitech v okolí Nového Města nad Metují. *Acta Musei reginaehradecensis s. A.*, 35/2: 11–15.
- OPLETAL M. (ed.), DOMEČKA K., ČECH S., ČUTA M., FAJST M., HOLUB V., KAČURA G., LÍBALOVÁ J., POŠMOURNÝ K., SEKÝRA J., STŘÍDA M., ŠALANSKÝ K., ŠULCEK Z., TÁSLER R. et VALEČKA J., 1980: *Geologie Orlických hor*: Ústřední ústav geologický v Akademii, Praha.
- PEARSON K., 1900: On the criterion that a given system of deviations from the probable in the case of a correlated system of variables is such that it can be reasonably supposed to have arisen from random sampling. *Philos. Mag., Series 5*, 50/302: 157–175.
- RADAIDEH O. M. A., GRASEMANN B., MELICHAR R. et MOSAR J., 2016: Detection and analysis of morphotectonic features utilizing satellite remote sensing and GIS: An example in SW Jordan. *Geomorphology*, 275: 58–79.
- ROŠTÍNSKÝ P., POSPÍŠIL L. et ŠVÁBENSKÝ O., 2013: Recent geodynamic and geomorphological analyses of the Diendorf–Čebín Tectonic Zone, Czech Republic. *Tectonophysics*, 599: 45–66.
- ULIČNÝ D., LAURIN J. et ČECH S., 2009: Controls on clastic sequence geometries in a shallow-marine, transtensional basin: the Bohemian Cretaceous Basin, Czech Republic. *Sedimentology*, 56/4: 1077–1114.
- WILMSEN M., ULIČNÝ D. et KOŠŤÁK M., 2014: Cretaceous basins of Central Europe: deciphering effects of global and regional processes – a short introduction. *Z. Dtsch. Ges. Geowiss.*, 165/4: 495–499.
- ZÍTEK J. (ed.), 1965: *Hydrologické poměry Československé socialistické republiky. Díl I. Text*. Hydrometeorologický ústav, Praha.

Došlo: 8. 2. 2021