

## Vektorová analýza údolních os ve vztahu ke geologickým strukturám v povodí Honkova potoka u Semil

### Vector analysis of valley axes in relation to geological structures in the catchment area of the Honkův potok Brook near Semily

Jan JURÁČEK

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

**Abstract.** The paper evaluates a relation between valley axes and geological structure elements in the catchment area of the Honkův potok Brook situated east of the Semily town in northern Bohemia. Valley axes were determined by a calculation of the slope azimuth and the slope. The dip azimuths and the dips of the bedding planes and joints were measured by geological compass in the field. Both the valley axes and geological structures were statistically and visually compared concerning their trend/strike and dip/slope azimuth using the  $\chi^2$ -test and rose diagrams. Statistically, the slope azimuth of valley axes was in direct relation to the strike of the bedding plane and the dip azimuth of the joint. The progress of valley axes was primarily influenced by planar geological structures.

**Key words:** valley axis, bedding plane, joint, azimuth, vector, Honkův potok Brook

## ÚVOD

Cílem příspěvku je vyhodnotit závislost údolních os vzhledem ke geologickým strukturním prvkům v povodí Honkova potoka východně od Semil (Obr. 1). Relativně dobrá dostupnost a četnost skalních výchozů a nevelká plocha povodí vedla k výběru modelového území povodí Honkova potoka ke statistickému testování vztahu geologických struktur a vývoje údolí. V dosavadních pracích byla problematika vlivu geologických struktur na vývoj údolí řešena spíše kvalitativně, vizuálním porovnáváním různě vyhodnocených souborů dat (např. piků v růžicových diagramech), nebo byly obě kategorie analyzovány izolovaně (Bulíček 2014; Juráček & Melichar 2015; Šafránek 2008; Šilhavý et al. 2016). Zavedené klasifikační systémy údolní sítě (např. Hugget 2003) jsou obvykle vztaheny k typu reliéfu (údolí konsekventní, subsekventní atd.), ve vztahu ke struktuře (údolí směrné, sklonové, protiklonné) nebo na základě kombinace systému odvodňování, spádu a struktur (údolí dendritické, paralelní, radiální atd.). Klimaszewski (1981) rozlišil údolní systémy ve vztahu ke specifické geologické struktuře – vrásám, grabenům, zlomům, puklinám a nakloněným morfostrukturám. Statistické vyhodnocení vztahu geologických struktur a údolí řešil Juracek (2014) v povodí Cihlářského potoka u Havlíčkova Brodu, a to použitím Pearsonova ( $\chi^2$ ) testu nezávislosti. Obdobně se závislost vývoje údolí na geologických strukturách v okolí Výravu u Hradce Králové a na Kunětické hoře u Pardubic zabýval Juráček (2015a, b).

Honkův potok (číslo hydrologického pořadí 1–05–01–032) je pravostranný přítok Jizeiry o celkové délce 4,7 km a ploše povodí 5,181 km<sup>2</sup> (Zítek 1965). Zájmové území povodí Honkova potoka spadá do geomorfologického okrsku Lomnická vrchovina v rámci podcel-

ku Podkrkonošská pahorkatina a celku Krkonošské podhůří (Demek & Mackovčín 2006). Reliéf z větší části charakterizují erozní svahy Honkova potoka a jeho poboček. Rozvodí tvoří strukturálně-denudační hřbety se zbytky zarovnaného povrchu, v jižní části se vyskytují kuestové morfostruktury (Šebesta 2011).

Povodí Honkova potoka u Semil je rozděleno linií škodějovského zlomu ve směru Z–V, který má charakter přesmyku (Pivec 1959; Prouza et al. 2013a), na dvě poloviny. Podle Prouzy et al. (2013b) je severní část povodí budovaná chlorit-sericitickými fylity, zelenými břidlicemi (metabazity) a dolomitickými mramory krkonošsko-jizerského krystalinika, zatímco v jižní části se vyskytují permské jílovce, prachovce, pískovce a slepence vrchlabského souvrství a karbonské petromiktin slepence a brekcie semilského souvrství podkrkonošské pánve. Malou část budují permské olivinické bazalty až bazaltické andezity. Podle Šebesty (2011) a Prouzy et al. (2013a) tvoří kvartérní pokryv holocenní fluvialní jíly, písky a šterky a splachové jílovité až písčité sedimenty v údolích, ve vyšších polohách pleistocén-holocenní svahové hlinité, písčité a jílovité sedimenty, ve vyšších partiích kamenitohlinité až hlinitokamenité, kamenité až blokové sedimenty.

## METODIKA

V roce 2016 jsem na 11 geologických dokumentačních bodech (Obr. 1) v povodí Honkova potoka u Semil realizoval měření orientace geologických strukturálních prvků (vrstevnatosti, puklin) spádnicovým způsobem pomocí geologického kompasu Freiberg. Rozlišil jsem tahové pukliny (zpravidla středně ukloněné až subvertikální) a smykové pukliny (subhorizontální až mírně ukloněné). Data orientace vrstevnatosti a puklin jsem statisticky zpracoval v programech Excel a StaTect. Vyhotovil jsem směrové růžice azimutů směřů a sklonů vrstevnatosti, tahových puklin a smykových puklin ve statistických standardizovaných třídách podle velikosti sklonu  $<10^\circ$ ,  $10,1^\circ\text{--}30^\circ$ ,  $30,1^\circ\text{--}60^\circ$ ,  $>60^\circ$  a  $>45^\circ$ . Celkem jsem pořídil měření orientace 43 vrstevnatostí a 126 puklin (81 smykových puklin, 45 tahových puklin). Údolní osy jsem vyhodnotil metodou vektorové analýzy (Juracek 2014). Na topografickém podkladě v měřítku 1:10 000 (<http://www.cuzk.cz>, 13.VII.2016) jsem zkonstruoval údolní osy v programu CorelDraw (Obr. 1), tj. spojnice ohybů vrstevnic v údolích. Ke každé údolní ose jsem vypočítal azimut spádu pomocí programu AutoCAD, období azimutu sklonu geologických struktur. Velikost spádu údolních os jsem určil podle rovnice (1) pro výpočet středního sklonu svahu podle Buzka (1979):

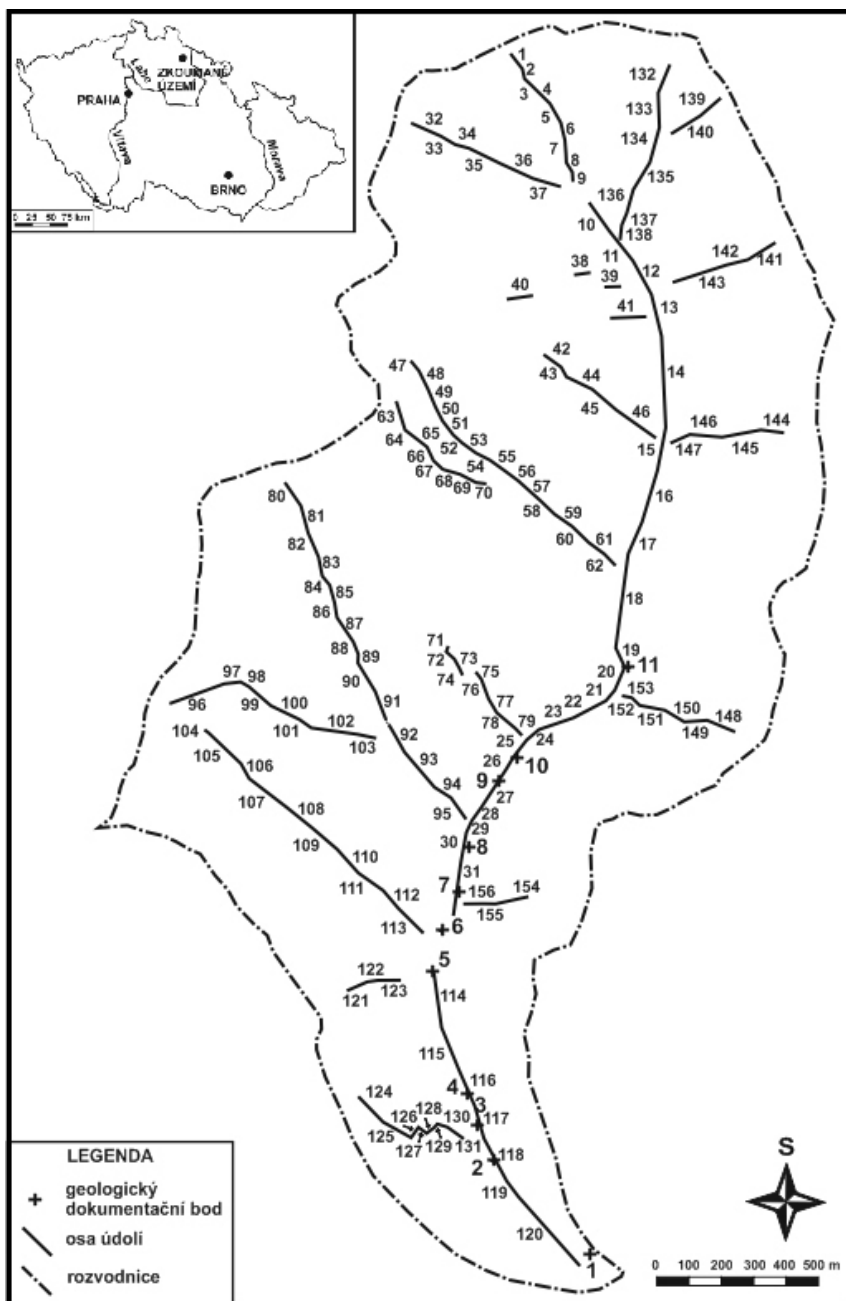
$$\operatorname{tg} \alpha = \Delta v / l \quad (1)$$

kde  $\Delta v$  je interval vrstevnic 10 m a značí délku údolní osy v m. Azimuty spádu údolních os jsem vyhodnotil metodou směrových růžic ve standardizovaných třídách  $<2^\circ$ ,  $2,1^\circ\text{--}5^\circ$ ,  $5,1^\circ\text{--}15^\circ$  a  $>15^\circ$  podle velikosti spádu. Determinoval jsem celkem 156 údolních os.

Ve finální části jsem data orientace údolních os a geologických strukturálních prvků statisticky a vizuálně porovnal. Pro statistickou komparaci jsem použil statistický test nezávislosti – Pearsonův ( $\chi^2$ ) test, a to použitím funkce CHITEST v programu Excel. Pearsonův test umožňuje porovnávat soubory dat, o kterých předpokládáme, že jsou nezávislá. Nullová hypotéza je v tomto případě tvrzení, že náhodné veličiny X a Y jsou nezávislé, tj. pravděpodobnost, že nastane určitá varianta náhodné veličiny X neovlivní vznik určité varianty náhodné veličiny Y. Statisticky jsem testoval azimuty spádu údolních os s azimuty směřů a sklonu vrstevnatosti a puklin. Statistické třídy pro test nezávislosti jsem stanovil podle světových stran. Vizuálně jsem porovnal píky směrových růžic azimutů spádu údolních os s azimuty směřů a sklonu vrstevnatosti a puklin, a to podle statistických tříd velikosti spádu údolních os a velikosti sklonu geologických struktur.

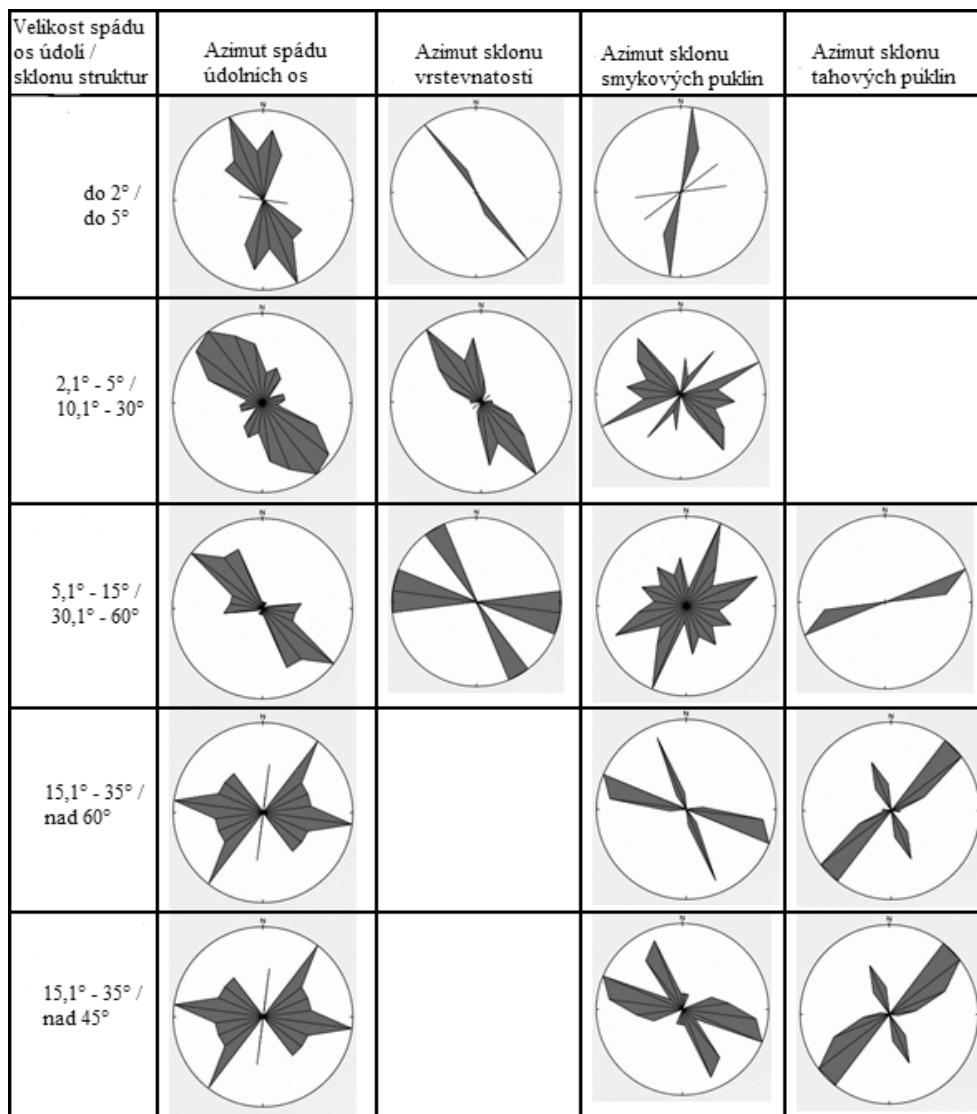
## VÝSLEDKY

Statistickým porovnáním jsem dokázal statisticky extrémně významnou závislost (parametr  $p < 0,001$ ) azimutů spádu údolních os na azimutech směřů vrstevnatosti (Tab. 2), méně na azimutech sklonu všech puklin (Tab. 3). Z parametrů orientace puklin ve vztahu k údolním osám vyplynul velmi významný azimut směřů smykových



Obr. 1. Poloha povodí Honkova potoka.

Fig. 1. Location of the Honkův potok Brook catchment area.



Obr. 2. Vizuální porovnání azimuthů spádu údolních os s azimuthy sklonu vrstevnatosti a puklin pomocí růžicových diagramů.

Fig. 2. Visual comparison of the slope azimuths of the valley axes with the dip azimuths of the bedding planes and joints using rose diagrams.

puklin (Tab. 6) a azimut sklonu tahových puklin (Tab. 7). Azimuty spádu údolních os naopak statisticky nezávisí na azimutech sklonu vrstevnatosti (Tab. 1), azimutech směru všech puklin (Tab. 4), azimutech sklonu smykových puklin (Tab. 5) a azimutech směru tahových puklin (Tab. 8).

Podle vizuálního porovnání piků směrových růžic jsou azimuty spádu údolních os o velikosti spádu do 2° souhlasné s azimuty sklonu smykových puklin se sklonem do 10° přibližně ve směru S–J (Obr. 2). Azimut sklonu vrstevnatosti i smykových puklin o velikosti sklonu 10,1°–30° výrazně ovlivnil orientaci azimutů údolních os o spádu 2,1°–5° ve směru SZ–JV (Obr. 2). Azimuty spádu údolních os ve třídě 15,1°–35° ve směru SV–JZ koincidují s azimuty sklonu tahových puklin o velikosti sklonu nad 60° i nad 45° (Obr. 2). Z hlediska azimutů směru geologických strukturních prvků byly azimuty spádu údolních os zčásti podmíněny orientací vrstevnatosti v kategorii 10,1°–30 a smykových puklin o sklonu 10,1°–60° (Obr. 3).

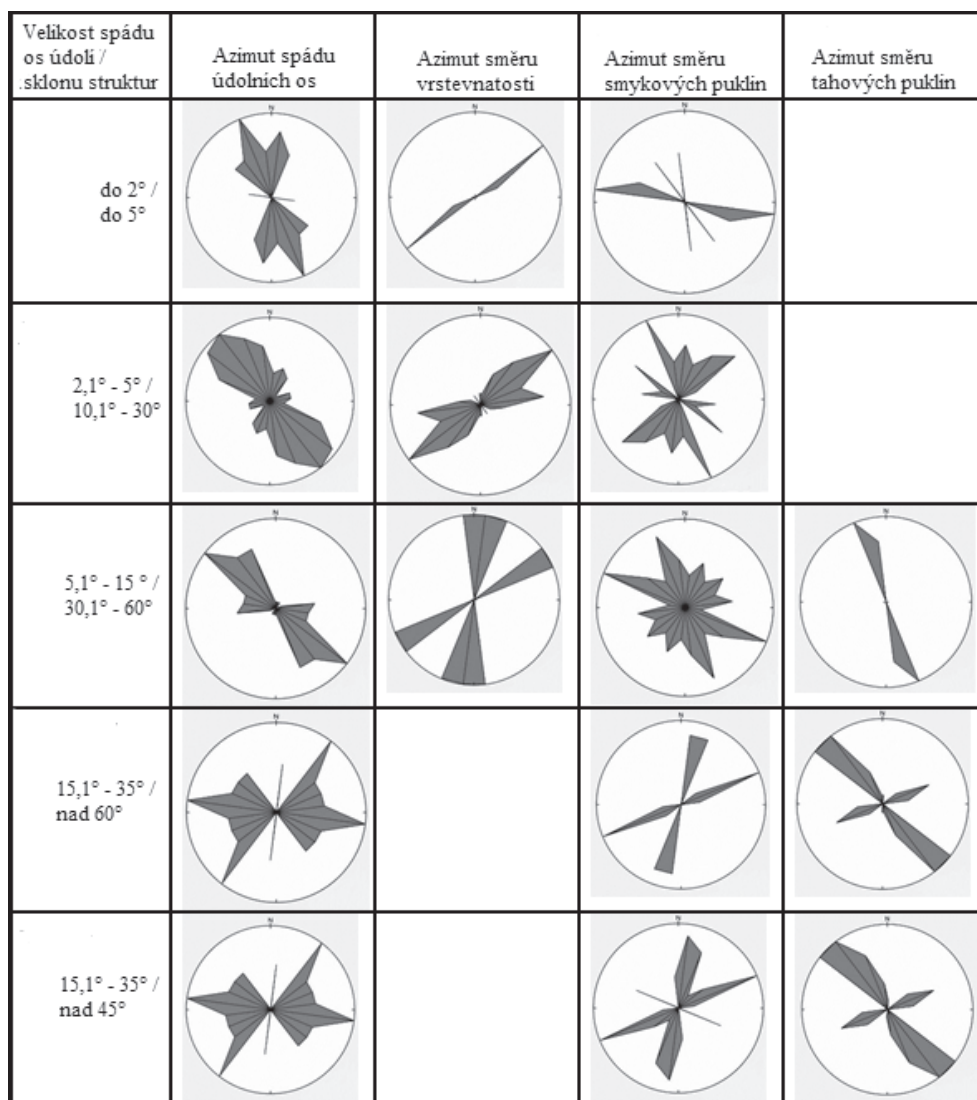
## DISKUSE

Na základě určení azimutů spádu a velikostí spádu údolních os a terénních měření orientace geologických strukturních prvků (vrstevnatosti, smykových a tahových puklin) jsem kvantitativně dokázal, že vývoj údolí v povodí Honkova potoka u Semil byl predisponován orientací azimutů směru vrstevnatosti a azimutů sklonu puklin. Z hlediska rozlišení tahových a smykových puklin měl pro zahroubení údolí význam azimut směru smykových puklin a azimut sklonu tahových puklin. Při podrobnější analýze směrových růžic podle velikosti spádu údolních os/velikosti sklonu geologických struktur byla zjištěna závislost azimutů spádu mírně ukloněných údolních os a azimutů sklonu smykových puklin ve směru S–J. Údolní osy o spádu v kategorii 2,1°–5° vykazaly závislost na azimutu sklonu mírně ukloněné vrstevnatosti a smykových puklin ve směru SZ–JV až SSZ–JJV. Azimuty sklonu strmě ukloněných tahových puklin podmínily vývoj údolních os o spádu 15,1°–35° ve směru SV–JZ až VSV–ZJZ.

Mírněji ukloněné diskontinuity v horninách – vrstevnatost a smykové pukliny – podmínily vývoj mírně ukloněných údolí. S rostoucí velikostí sklonu struktur se projevuje význam strmějších strukturních prvků – tahových puklin. Význam smykových puklin a vrstevnatosti na vývoj údolí se generálně projevuje v jižní (dolní) části povodí, kdežto tahové pukliny mají výraznější význam v severní (horní) části povodí. Význam strměji ukloněných geologických strukturních prvků v horní části povodí patrně souvisí s výraznějším projevem hloubkové eroze, zatímco vývoj údolí v dolní části povodí mohla více ovlivnit i boční eroze. Pro vývoj údolí v povodí Honkova potoka u Semil mají význam planární geologické struktury, obdobně jako na Kunětické hoře u Pardubic (Juráček 2015a), v okolí Výravky u Hradce Králové (Juráček 2015b) nebo v povodí Cihlářského potoka u Havlíčkova Brodu (Juráček 2014).

## ZÁVĚR

Vývoj údolí v povodí Honkova potoka u Semil byl podmíněn existencí planárních diskontinuit v horninové mase – vrstevnatosti a puklin. Statisticky jsem dokázal, že orientace údolních os souvisí s azimuty směru vrstevnatosti a azimuty sklonu puklin. Mírně ukloněné pukliny a vrstevnatost měly vliv na vývoj údolí v dolní části povodí, kdežto strmější strukturní prvky se projevují v horní části povodí Honkova potoka u Semil. Při výzkumu vztahu geologických struktur a údolních os v povodí Honkova potoka u Semil byl potvrzen význam vektorové analýzy údolních os pro kvantitativní vyhodnocení vývoje údolí ve vztahu k planárním geologickým strukturám.



Obr. 3. Vizuální porovnání azimutů spádu údolních os s azimuty směru vrstevnatosti a puklin pomocí růžicových diagramů.

Fig. 3. Visual comparison of the slope azimuths of the valley axes with the strikes of the bedding planes and joints using rose diagrams.

**Poděkování.** Příspěvek vznikl za podpory projektu Elektrárny Opatovice, a. s. EOP 99160005 „Výzkum vztahu geologických struktur a údolní sítě“.

## LITERATURA

- BULÍČEK P. 2014: *Analýza vztahu geomorfologických prvků krajiny a křehkého porušení hornin*. [The analysis of the geomorphological features of the landscape and rock jointing]. Unpublished Bachelor thesis. Deposited in: Faculty of Science, Masaryk University, Brno, 29 pp. (in Czech, English abstract).
- BUZEK L. 1979: *Metody v geomorfologii*. Pedagogická fakulta, Ostrava, 155 pp.
- DEMEK J. & MACKOVČIN P. (eds) 2006: *Zeměpisný lexikon ČR. Hory a nížiny*. Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, Brno, 582 pp.
- HUGGET J. R. 2003: *Fundamentals of geomorphology*. Routledges, London, 386 pp.
- JURACEK J. 2014: The evaluation of geological structure by the vector analysis of valley axes. *Zeitschrift für Geomorphologie* **58(2)**: 201–215.
- JURÁČEK J. 2015a: Deformační vývoj hornin a vztah geologických struktur k údolním osám na Kunětické hoře u Pardubic. (Deformation progress of the rocks and the relationship between geological structures and valley axes on the Kunětická hora Hill at Pardubice). *Východočeský sborník přírodovědný – Práce a studie* **22**: 19–37 (in Czech, English summary).
- JURÁČEK J. 2015b: Tektonika křídových hornin ve vztahu k údolní síti v okolí Výrava u Hradce Králové. (Tectonics of Cretaceous rocks in a relationship to valley net in the area of Výrava near Hradec Králové). *Acta Musei Reginaehradensis, Series A, Scientiae Naturales* **35(1)**: 5–9 (in Czech, English summary).
- JURÁČEK J. & 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). *Journal of Geodesy and Geomatics Engineering* **2(2)**: 82–86.
- KLIMASZEWSKI M. 1981: *Geomorfologija*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 1067 pp.
- PIVEC E. 1959: Zpráva o podrobném geologickém mapování ložiska měděných rud u Rybnice. (Note sur le levé géologique détaillé du gisement de minerais de cuivre près de Rybnice). *Zprávy o geologických výzkumech v roce 1957*: 191–192 (in Czech, French title).
- PROUZA V., COUBAL M. & ADAMOVIČ J. 2013a: Problematika jihovýchodního pokračování lužického zlomu v západním Podkrkonoší. (Southeastern continuation of the Lusatian Fault in the western Krkonoše Mts. Piedmont region). *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2012*: 59–63 (in Czech, English abstract).
- PROUZA V., ADAMOVIČ J., BRÍZOVÁ E., DRÁBKOVÁ J., DVOŘÁK I. J., HAVLÍČEK P., HRAZDÍRA P., KONDRŮVÁ L., KRUPÍČKA J., KYCL P., MALEC J., RAMBOUSEK P., RAPPRIK V., RÝDA K., ŘÍDKOŠIL T., SKÁCELOVÁ D., SKÁCELOVÁ Z., ŠEBESTA J., ŠIMŮNEK Z., ZAJÍC J. & ŽAČKOVÁ E. 2013b: *Výsvětlivky k Základní geologické mapě České republiky 1:25 000. 03-413 Semily*. Česká geologická služba, Praha, 128 pp.
- ŠAFRÁNEK J. 2008: *Analýza říční sítě ve vztahu k strukturálně-tektonickým poměrům v oblasti české křídové pánve*. [Stream network analysis in relation to structure-tectonic conditions in the area of Czech Cretaceous Basin]. Unpublished Bachelor thesis. Deposited in: Faculty of Mining and Geology, VSB–Technical University of Ostrava, Ostrava, 34 pp. (in Czech, English title).
- ŠEBESTA J. 2011: *Základní geologická mapa České republiky 1:25 000. Mapa tvarů a vývoje reliéfu. 03-413 Semily*. Česká geologická služba, Praha.
- ŠILHAVÝ J., MINÁŘ J., MENTLÍK P. & SLÁDEK J. 2016: A new artefact resistant method for automatic lineament extraction using Multi-Hillshade Hierarchic Clustering (MHHC). *Computers & Geosciences* **92**: 9–20.
- ZÍTEK J. (ed.) 1965: *Hydrologické poměry Československé socialistické republiky. Díl I. Text*. [Hydrological conditions of the Czechoslovak Socialist Republic. Part I. Text.]. Hydrometeorologický ústav, Praha, 414 pp. (in Czech, English introduction).

## SUMMARY

The progress of the valley network is directed by structural arrangement of the underbed in general. The aim of this paper was to compare the progress of valley axes and geological

structure elements in the catchment area of the Honkúv potok Brook situated east of the Semily town in northern Bohemia. Valley axes (156 objects) were determined by the slope azimuth and the slope. The valley axes were sorted into 4 slope categories:  $<2^\circ$ ,  $2.1^\circ\text{--}5^\circ$ ,  $5.1^\circ\text{--}15^\circ$  and  $>15^\circ$ . The dip azimuths and the dips of the bedding planes and joints from 11 geological sites were measured by geological compass in the field. Tension joints (mostly subvertical) and shear joints (mostly gently to medium inclined) were distinguished. Structural elements were classified into 5 groups based on the dip value:  $<10^\circ$ ,  $10.1^\circ\text{--}30^\circ$ ,  $30.1^\circ\text{--}60^\circ$ ,  $>60^\circ$  and  $>45^\circ$ . Both the valley axes and geological structures were statistically and visually compared concerning their trend/strike and dip/slope azimuth using the Pearson's ( $\chi^2$ ) test and rose diagrams. The slope azimuths of valley axes in a relation to the strikes and dip azimuths of the bedding planes and joints were analysed. The Pearson's test supports a comparison of substantive data. The peaks inside the rose diagrams were visually compared. Statistically highly significant relationship was found between the slope azimuth of valley axes and the strikes of the bedding plane and the dip azimuths of all the joints. Higher importance of the strikes of shear joints and the dip azimuths of tension joints on valley progress was found. The valley axes with the slope  $<2^\circ$  correspond to the shear joints dipped  $<10^\circ$  in the direction from N to S by visual comparison of the rose diagrams. The valley axes with the slope  $2.1^\circ\text{--}5^\circ$  were mostly directed by the orientation of the bedding planes and shear joints dipped  $10.1^\circ\text{--}30^\circ$  from NW to SE. The tension joints dipped  $>45^\circ$  coincide with the valley axes of the slope  $15.1^\circ\text{--}30^\circ$  in the NE–SW direction. The progress of valley axes was primarily influenced by planar geological structures.



Tabulka 1. Statistické porovnání azimutů spádu údolních os a azimutů sklonu vrstevnatosti.  
 Table 1. Statistical comparison of the slope azimuths of valley axes and the dip azimuths of bedding planes.

| směr (direction) | četnosti (frequencies)                                  |   |          | X2-test                                   |        |
|------------------|---|---|----------|---|--------|
|                  | azimut spádu údolních os (slope azimuth of valley axes) | azimut sklonu vrstevnatosti (dip azimuth of bedding planes) | $\Sigma$ | očekávané četnosti (expected frequencies) |        |
| S–J (N–S)        | 13  | 5   | 18       | 14,181                                    | 3,818  |
| SSV–JJZ          |   |   |          |   |        |
| (NNE–SSW)        | 14  | 1   | 15       | 11,818                                    | 3,181  |
| SV–JZ (NE–SW)    | 4   | 1   | 5        | 3,939                                     | 1,06   |
| VSV–ZJZ          |   |   |          |   |        |
| (ENE–WSW)        | 9   | 0   | 9        | 7,09                                      | 1,909  |
| V–Z (E–W)        | 14  | 4   | 18       | 14,181                                    | 3,818  |
| VJV–ZSZ          |   |   |          |   |        |
| (ESE–WNW)        | 21  | 6   | 27       | 21,272                                    | 5,727  |
| JV–SZ (SE–NW)    | 50  | 15  | 65       | 51,212                                    | 13,787 |
| JJV–SSZ          |   |   |          |   |        |
| (SSE–NNW)        | 31  | 10  | 41       | 32,303                                    | 8,696  |
| $\Sigma$         | 156   | 42  | 198      | p = 0,63542835764763                      |        |

Tabulka 2. Statistické porovnání azimutů spádu údolních os a azimutů směru vrstevnatosti.  
 Table 2. Statistical comparison of the slope azimuths of valley axes and the strikes of bedding planes.

| směr (direction) | četnosti (frequencies)                                  |   |          | X2-test                                   |        |
|------------------|---|---|----------|---|--------|
|                  | azimut spádu údolních os (slope azimuth of valley axes) | azimut sklonu vrstevnatosti (dip azimuth of bedding planes) | $\Sigma$ | očekávané četnosti (expected frequencies) |        |
| S–J              | 13  | 4   | 17       | 13,393                                    | 3,606  |
| SSV–JJZ          | 14  | 6   | 20       | 15,757                                    | 4,242  |
| SV–JZ            | 4   | 15  | 19       | 14,696                                    | 4,03   |
| VSV–ZJZ          | 9   | 10  | 19       | 14,969                                    | 4,03   |
| V–Z              | 14  | 5   | 19       | 14,969                                    | 4,03   |
| VJV–ZSZ          | 21  | 1   | 22       | 17,333                                    | 4,666  |
| JV–SZ            | 50  | 1   | 51       | 40,181                                    | 10,818 |
| JJV–SSZ          | 31  | 0   | 31       | 24,424                                    | 6,575  |
| $\Sigma$         | 156   | 42  | 198      | p = 0,00000000000026                      |        |

Tabulka 3. Statistické porovnání azimutů spádu údolních os a azimutů sklonu všech puklin.  
 Table 3. Statistical comparison of the slope azimuths of valley axes and the dip azimuths of joints.

| směr (direction) | četnosti (frequencies)                                  |  |          | X2-test                                   |        |
|------------------|---|--|----------|---|--------|
|                  | azimut spádu údolních os (slope azimuth of valley axes) | azimut sklonu všech puklin (dip azimuth of all joints) | $\Sigma$ | očekávané četnosti (expected frequencies) |        |
| S-J              | 13  | 6  | 19       | 10,511                                    | 8,49   |
| SSV-JJZ          | 14  | 18   | 32       | 17,702                                    | 14,298 |
| SV-JZ            | 4   | 20   | 24       | 13,277                                    | 10,723 |
| VSV-ZJZ          | 9   | 22   | 31       | 17,149                                    | 13,851 |
| V-Z              | 14  | 16   | 30       | 16,596                                    | 13,404 |
| VJV-ZSZ          | 21  | 11   | 32       | 17,702                                    | 14,298 |
| JV-SZ            | 50  | 10   | 60       | 33,192                                    | 26,809 |
| JJV-SSZ          | 31  | 23   | 54       | 29,872                                    | 24,128 |
| $\Sigma$         | 156   | 126  | 282      | p = 0,00000004158066                      |        |

Tabulka 4. Statistické porovnání azimutů spádu údolních os a azimutů směru všech puklin.  
 Table 4. Statistical comparison of the slope azimuths of valley axes and the strikes of joints.

| směr (direction) | četnosti (frequencies)                                  |  |          | X2-test                                   |        |
|------------------|---|--|----------|---|--------|
|                  | azimut spádu údolních os (slope azimuth of valley axes) | azimut sklonu všech puklin (dip azimuth of all joints) | $\Sigma$ | očekávané četnosti (expected frequencies) |        |
| S-J              | 13  | 16   | 29       | 16,043                                    | 12,958 |
| SSV-JJZ          | 14  | 11   | 25       | 13,83                                     | 11,17  |
| SV-JZ            | 4   | 10   | 14       | 7,745                                     | 6,255  |
| VSV-ZJZ          | 9   | 23   | 32       | 17,702                                    | 14,298 |
| V-Z              | 14  | 6  | 20       | 11,064                                    | 8,936  |
| VJV-ZSZ          | 21  | 18   | 39       | 21,575                                    | 17,426 |
| JV-SZ            | 50  | 20   | 70       | 38,723                                    | 31,277 |
| JJV-SSZ          | 31  | 22   | 53       | 29,319                                    | 23,681 |
| $\Sigma$         | 156   | 126  | 282      | p = 0,00102288361424                      |        |

Tabulka 5. Statistické porovnání azimutů spádu údolních os a azimutů sklonu smykových puklin.  
 Table 5. Statistical comparison of the slope azimuths of valley axes and the dip azimuths of shear joints.

| směr (direction) | četnosti (frequencies)                                  |  |          | X2-test                                   |        |
|------------------|---|--|----------|---|--------|
|                  | azimut spádu údolních os (slope azimuth of valley axes) | azimut sklonu smykových puklin (dip azimuth of shear joints) | $\Sigma$ | očekávané četnosti (expected frequencies) |        |
| S-J              | 13  | 4  | 17       | 11,189                                    | 5,810  |
| SSV-JJZ          | 14  | 13   | 27       | 17,772                                    | 9,227  |
| SV-JZ            | 4   | 5  | 9        | 5,924                                     | 3,075  |
| VSV-ZJZ          | 9   | 12   | 21       | 13,822                                    | 7,177  |
| V-Z              | 14  | 13   | 27       | 17,772                                    | 9,227  |
| VJV-ZSZ          | 21  | 11   | 32       | 21,063                                    | 10,936 |
| JV-SZ            | 50  | 9  | 59       | 38,835                                    | 20,164 |
| JJV-SSZ          | 31  | 14   | 45       | 29,620                                    | 15,379 |
| $\Sigma$         | 156   | 81   | 237      | p = 0,00267110064443                      |        |

Tabulka 6. Statistické porovnání azimutů spádu údolních os a azimutů směru smykových puklin.  
 Table 6. Statistical comparison of the slope azimuths of valley axes and the strikes of shear joints.

| směr (direction) | četnosti (frequencies)                                  |  |          | X2-test                                   |        |
|------------------|---|--|----------|---|--------|
|                  | azimut spádu údolních os (slope azimuth of valley axes) | azimut sklonu smykových puklin (dip azimuth of shear joints) | $\Sigma$ | očekávané četnosti (expected frequencies) |        |
| S-J              | 13  | 13   | 26       | 17,113                                    | 8,886  |
| SSV-JJZ          | 14  | 11   | 25       | 16,455                                    | 8,544  |
| SV-JZ            | 4   | 9  | 13       | 8,556                                     | 4,443  |
| VSV-ZJZ          | 9   | 14   | 23       | 15,139                                    | 7,860  |
| V-Z              | 14  | 4  | 18       | 11,848                                    | 6,151  |
| VJV-ZSZ          | 21  | 13   | 34       | 22,379                                    | 11,620 |
| JV-SZ            | 50  | 5  | 55       | 36,202                                    | 18,797 |
| JJV-SSZ          | 31  | 12   | 43       | 28,308                                    | 14,696 |
| $\Sigma$         | 156   | 81   | 237      | p = 0,00000763545698                      |        |

Tabulka 7. Statistické porovnání azimutů spádu údolních os a azimutů sklonu tahových puklin.  
 Table 7. Statistical comparison of the slope azimuths of valley axes and the dip azimuths of tension joints.

| směr (direction) | četnosti (frequencies)                                  |   |          | X2-test                                   |       |
|------------------|---|---|----------|---|-------|
|                  | azimut spádu údolních os (slope azimuth of valley axes) | azimut sklonu tahových puklin (dip azimuth of tension joints) | $\Sigma$ | očekávané četnosti (expected frequencies) |       |
| S-J              | 13  | 2   | 15       | 11,64                                     | 3,35  |
| SSV-JJZ          | 14  | 5   | 19       | 14,74                                     | 4,25  |
| SV-JZ            | 4   | 15  | 19       | 14,74                                     | 4,25  |
| VSV-ZJZ          | 9   | 10  | 19       | 14,74                                     | 4,25  |
| V-Z              | 14  | 3   | 17       | 13,19                                     | 3,8   |
| VJV-ZSZ          | 21  | 0   | 21       | 16,29                                     | 4,7   |
| JV-SZ            | 50  | 1   | 51       | 39,58                                     | 11,41 |
| JJV-SSZ          | 31  | 9   | 40       | 31,04                                     | 8,95  |
| $\Sigma$         | 156   | 45  | 201      | p = 0,0000000002                          |       |

Tabulka 8. Statistické porovnání azimutů spádu údolních os a azimutů směru tahových puklin.  
 Table 8. Statistical comparison of the slope azimuths of valley axes and the strikes of tension joints.

| směr (direction) | četnosti (frequencies)                                  |   |          | X2-test                                   |       |
|------------------|---|---|----------|---|-------|
|                  | azimut spádu údolních os (slope azimuth of valley axes) | azimut sklonu tahových puklin (dip azimuth of tension joints) | $\Sigma$ | očekávané četnosti (expected frequencies) |       |
| S-J              | 13  | 3   | 16       | 12,41                                     | 3,58  |
| SSV-JJZ          | 14  | 0   | 14       | 10,86                                     | 3,13  |
| SV-JZ            | 4   | 1   | 5        | 3,88                                      | 1,11  |
| VSV-ZJZ          | 9   | 9   | 18       | 13,97                                     | 4,02  |
| V-Z              | 14  | 2   | 16       | 12,41                                     | 3,58  |
| VJV-ZSZ          | 21  | 5   | 26       | 20,17                                     | 5,82  |
| JV-SZ            | 50  | 15  | 65       | 50,44                                     | 14,55 |
| JJV-SSZ          | 31  | 10  | 41       | 31,82                                     | 9,17  |
| $\Sigma$         | 156   | 45  | 201      | p = 0,0665481747                          |       |