

**Univerzita Karlova v Praze**  
**Přírodovědecká fakulta**  
Ústav petrologie a strukturní geologie

Studijní program: Geologie  
Studijní obor: Strukturní geologie



**Bc. Eva Očenášková**

**CHARAKTERISTIKA POLYFÁZOVÉHO VÝVOJE DEFORMAČNÍ  
MIKROSTRUKTURY KŘEMENE NA PŘÍKLADU KRKONOŠSKO-  
JIZERSKÉHO KRYSTALINIKA**

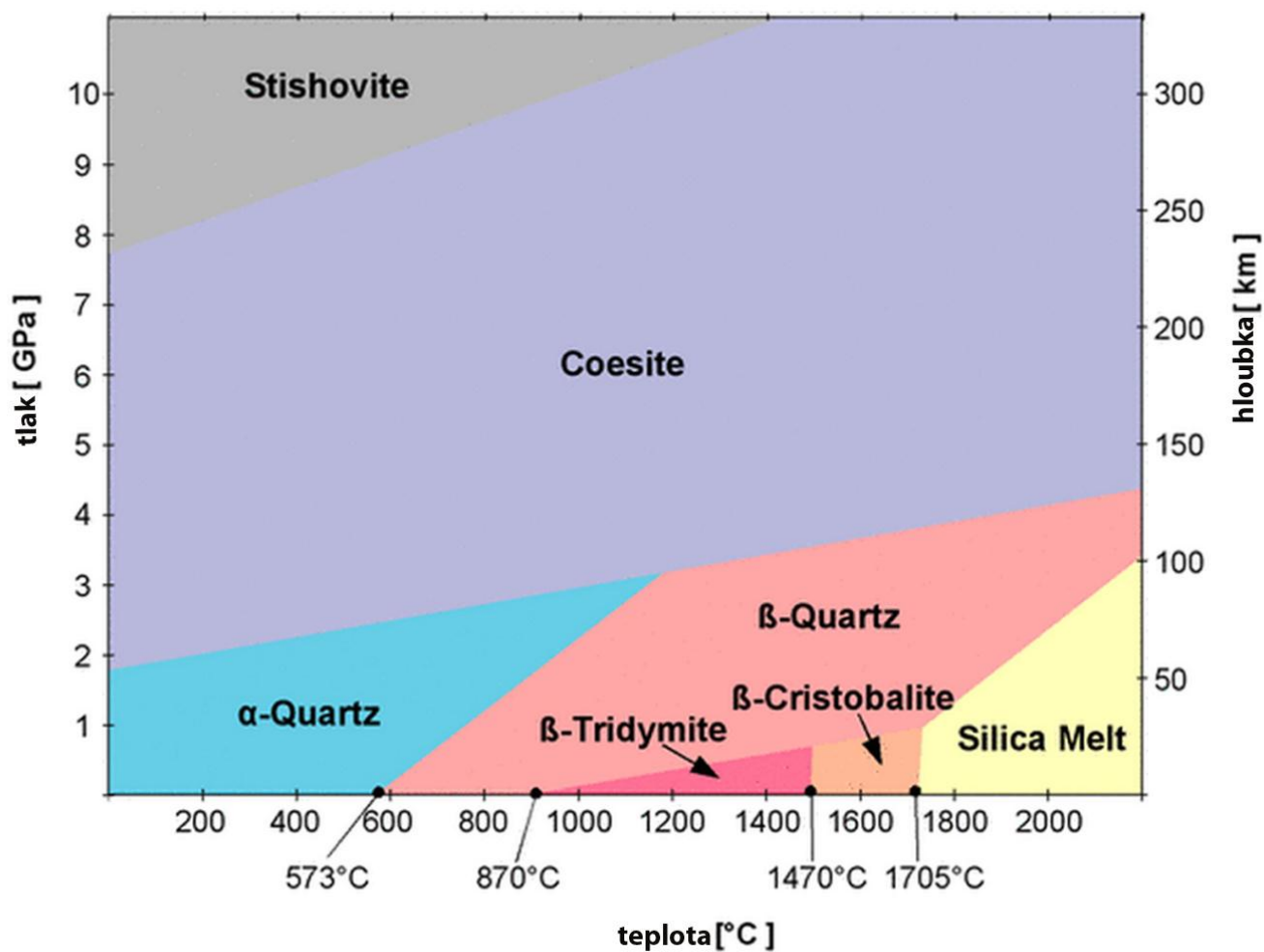
CHARACTERISTICS OF POLYPHASE DEFORMATION  
IN QUARTZ MICROSTRUCTURE:  
AN EXAMPLE FROM THE KRKONOŠE-JIZERA UNIT

Addendum Diplomové práce

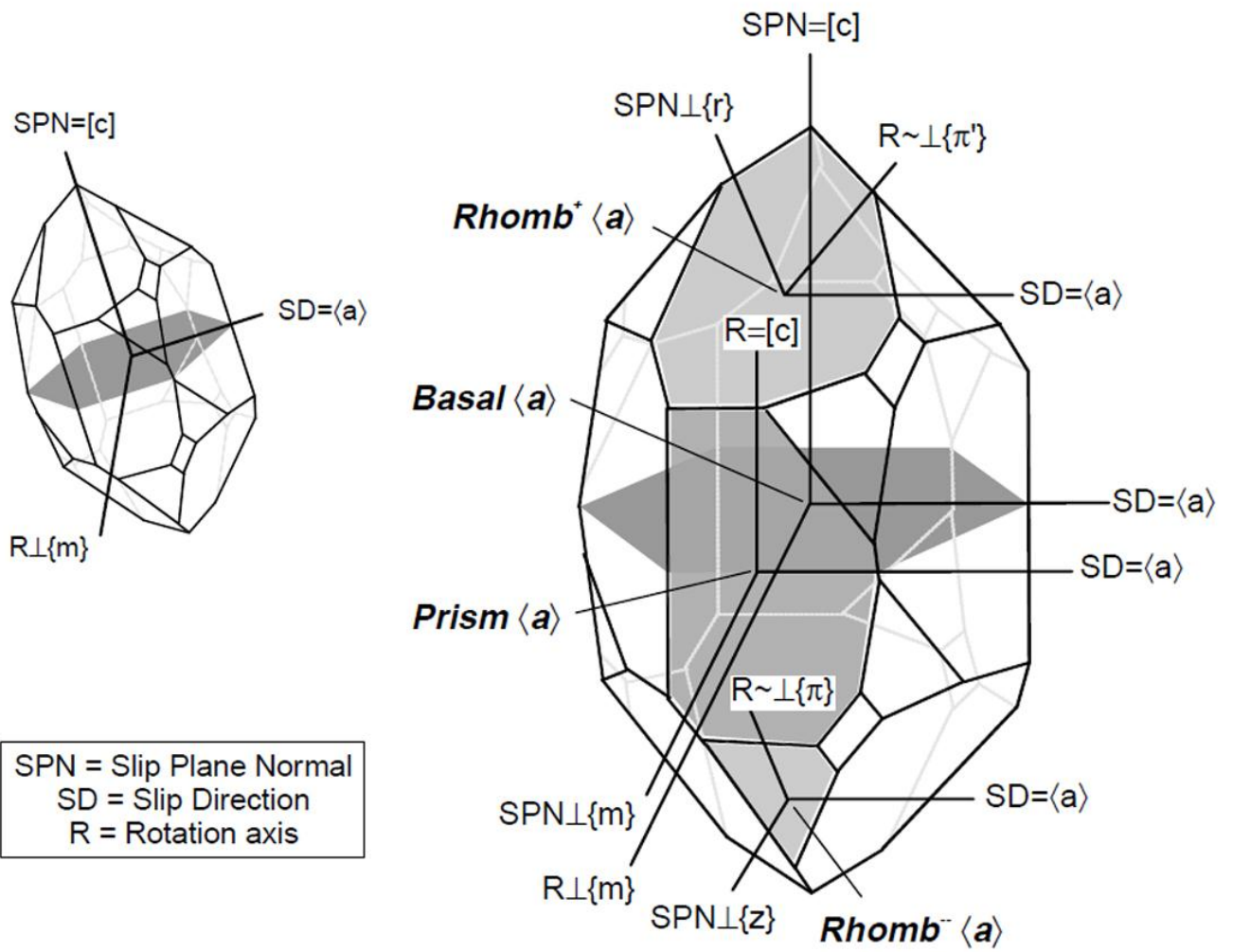
Vedoucí diplomové práce: RNDr. Petr Jeřábek Ph.D.

Praha 2014

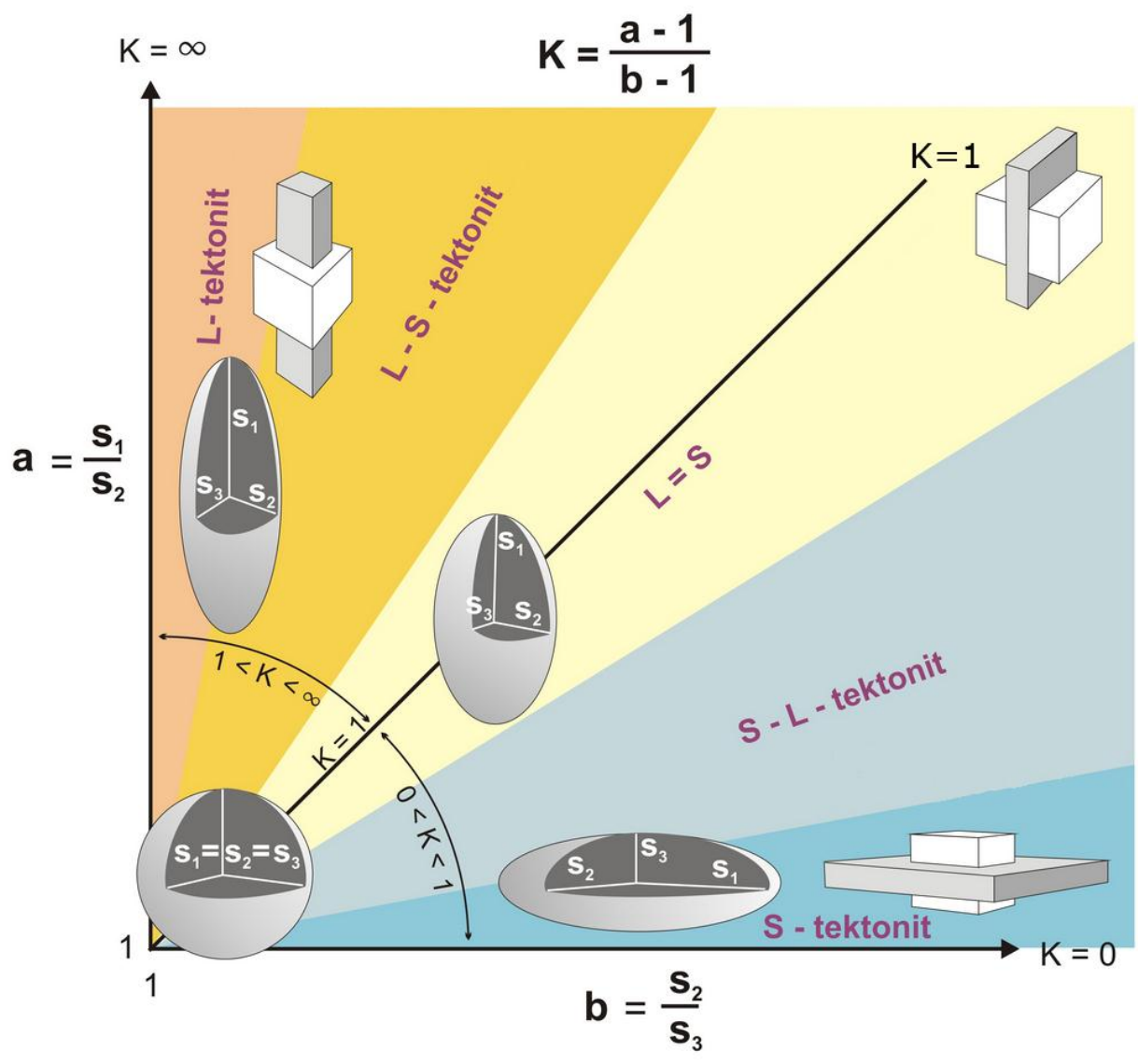
# KOMPLETNÍ OBRAZOVÁ DOKUMENTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE



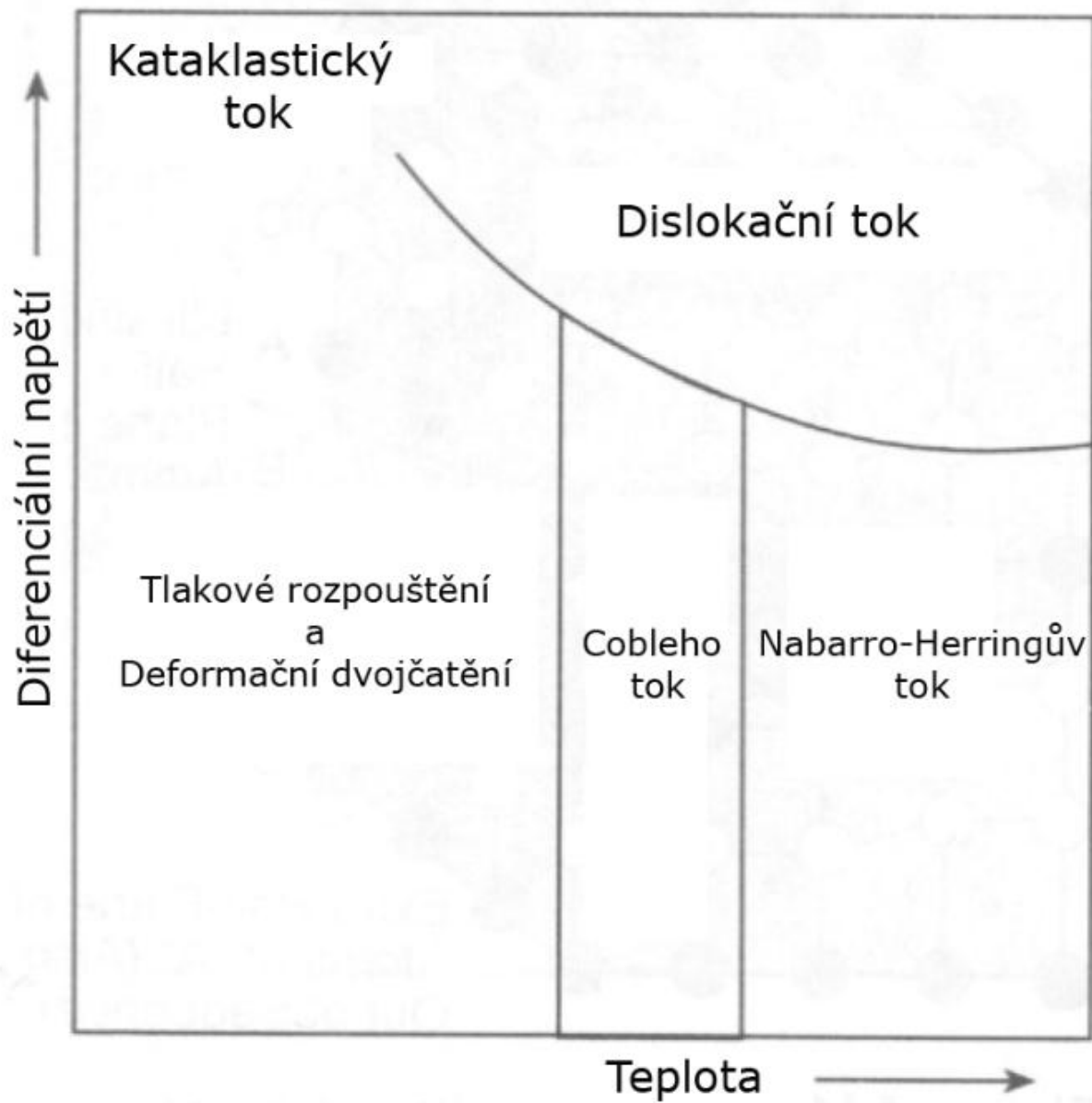
Obr. 1. Polymorfy SiO<sub>2</sub> – rozmezí p/T podmínek, převzato z: [http://www.quartzpage.de/gen\\_mod.html](http://www.quartzpage.de/gen_mod.html)



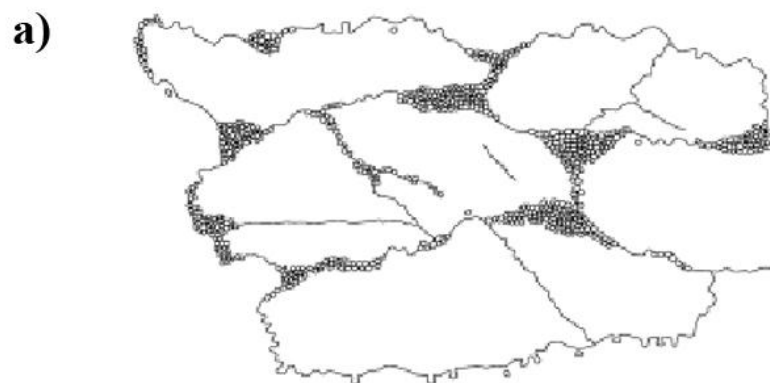
Obr. 2. Nejobvyklejší kluzné systémy v krystalu křemene, SPN – normála na kluznou plochu, SD – směr skluzu, R – rotační osa  
 převzato z: Neumann 2000, upraveno



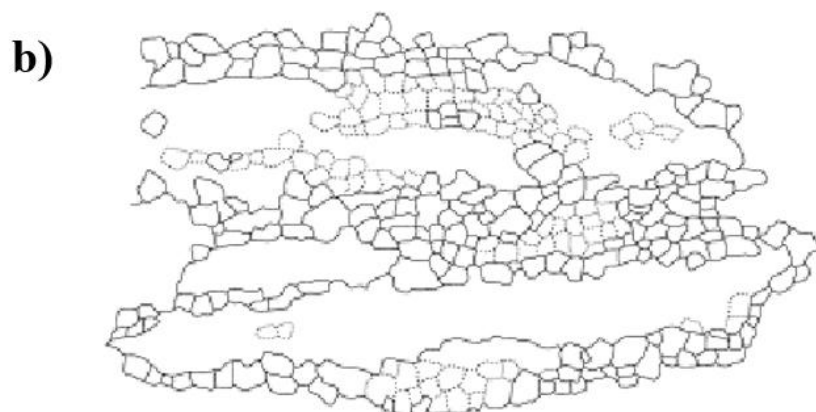
Obr. 3. Flinnův diagram s modelovými tvary zrn podle parametru K, upraveno, převzato z: <http://tamop412a.ttk.pte.hu/files/kornyezettan9/www/out/html-chunks/ch10s03.html>



Obr. 4. Deformační mechanismy v závislosti na změně teploty a diferenciálního napětí, převzato z: Petr Jeřábek, Tok a vznik staveb, Mikrotektonika, přednáška ÚPSG, upraveno



**BLG: ~ 280 - 400°C**

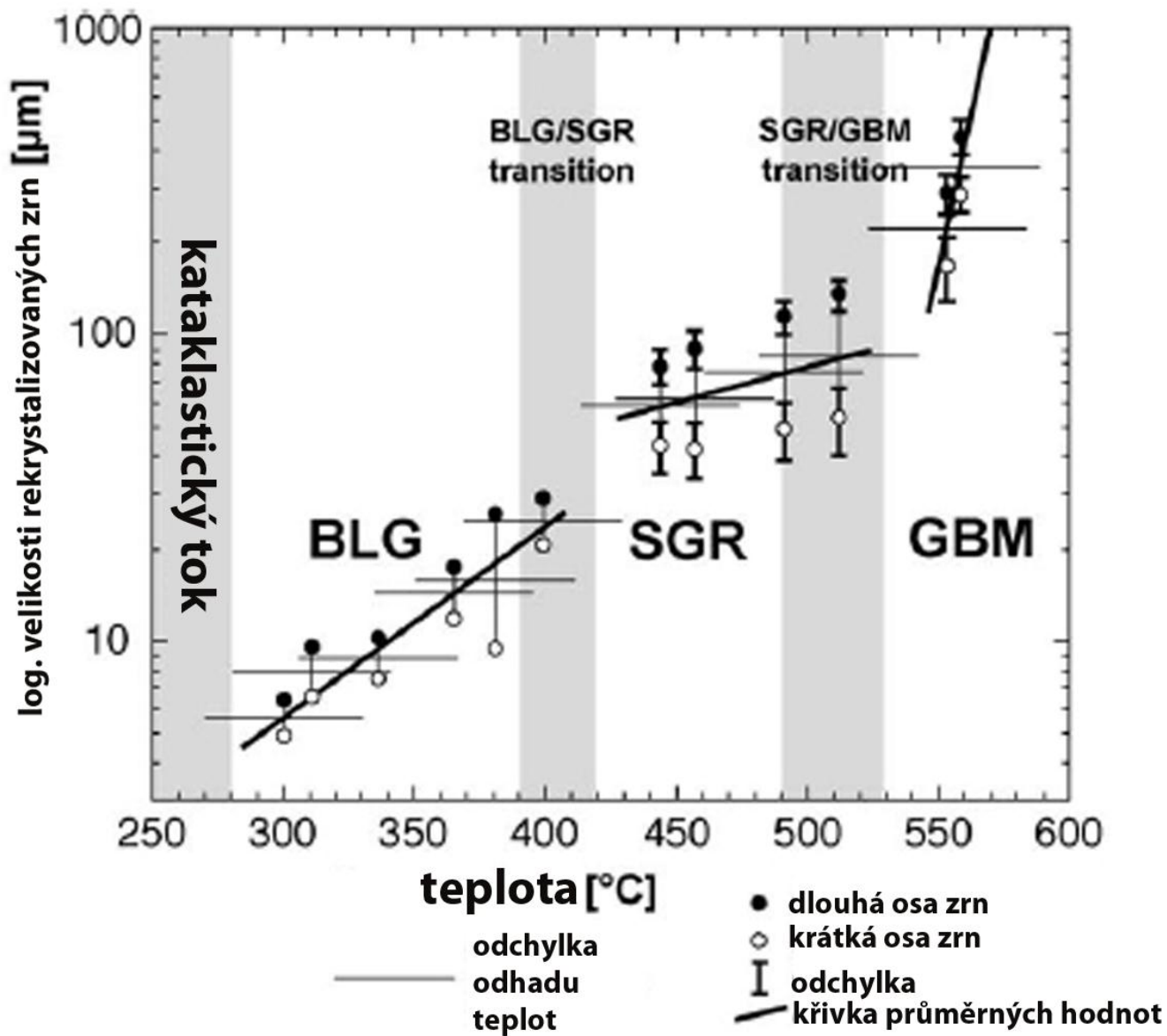


**SGR: ~ 400 - 500°C**



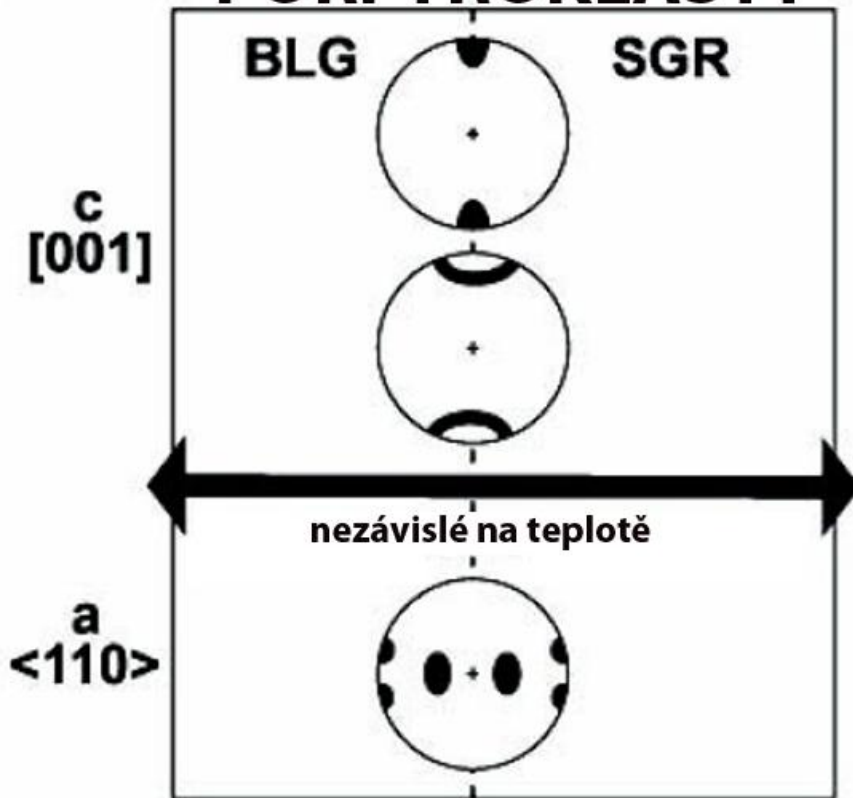
**GBM: ~ 500 - 700°C**

Obr. 5. 3 režimy dislokačního toku a rozmezí teplot jejich aktivity: a) bulging, b) subzrnová rotace, c) migrace hranic zrn, převzato z Hirth a Tullis, (1992) - upraveno podle Stipp et al. (2002)

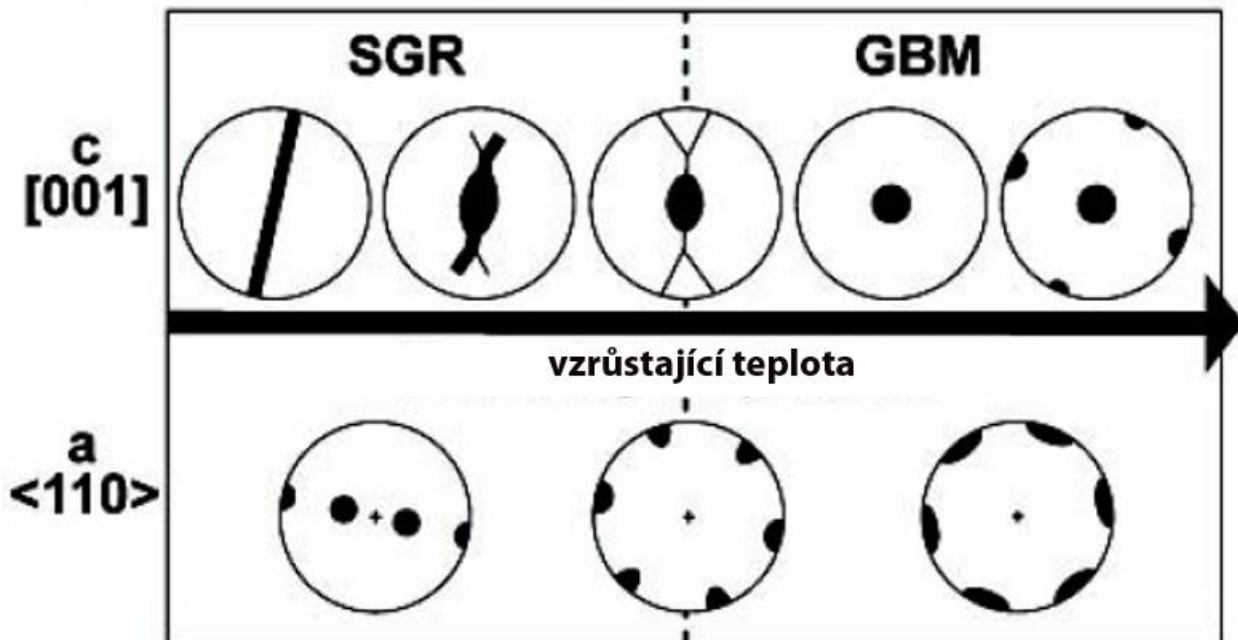


Obr. 6. Aktivita deformačních mechanismů dislokačního toku v závislosti na teplotě a velikosti rekrystalizovaných zrn, BLG – bulging, SGR – subzrnová rotace, GBM - migrace hranic zrn, převzato ze Stipp et al. (2002)

# PORFYROKLASTY

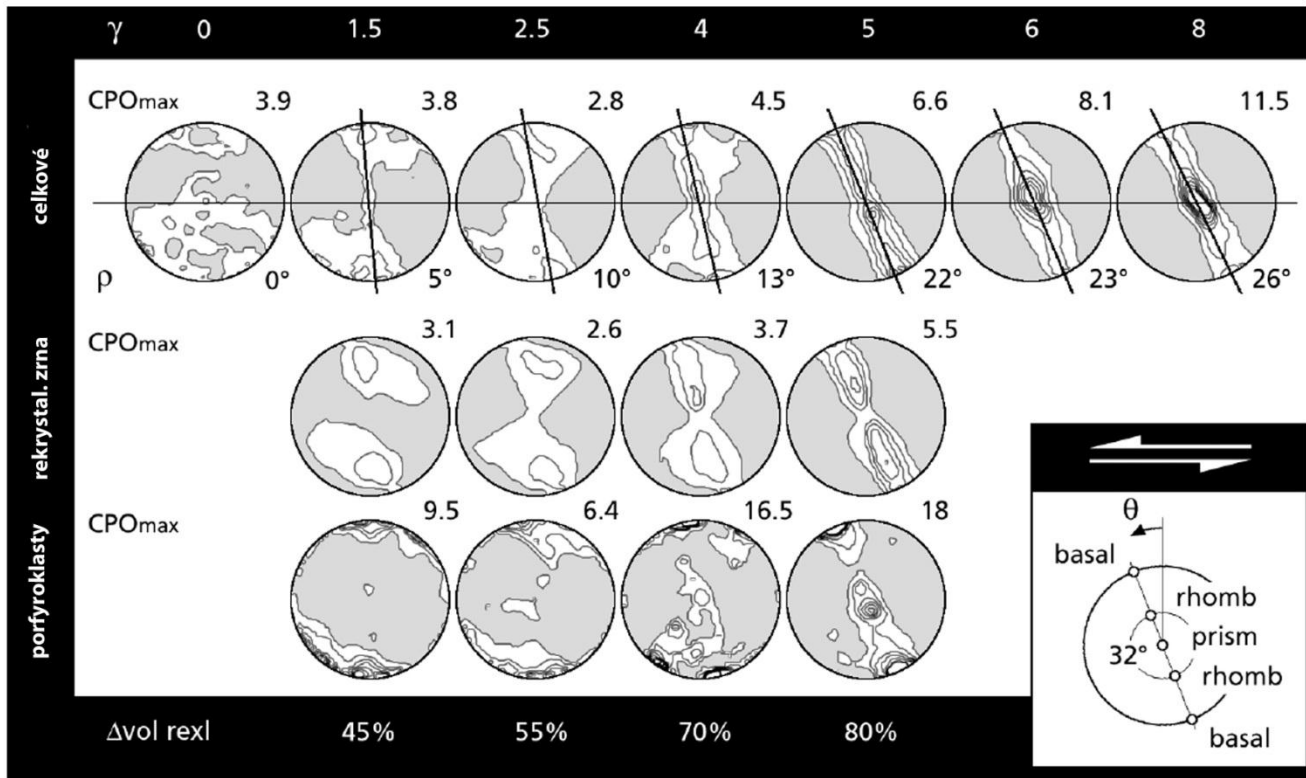


# REKRYSTALIZOVANÁ ZRNA



Obr. 7. Typické vzory krystalové přednostní orientace (CPO) v pólových diagramech pro porfyroklasty a rekrytalizovaná zrna podle typu defomačního mechanismu, BLG – bulging, SGR – subzrnová rotace, GBM - migrace hranic zrn , převzato ze Stipp et al. (2002)

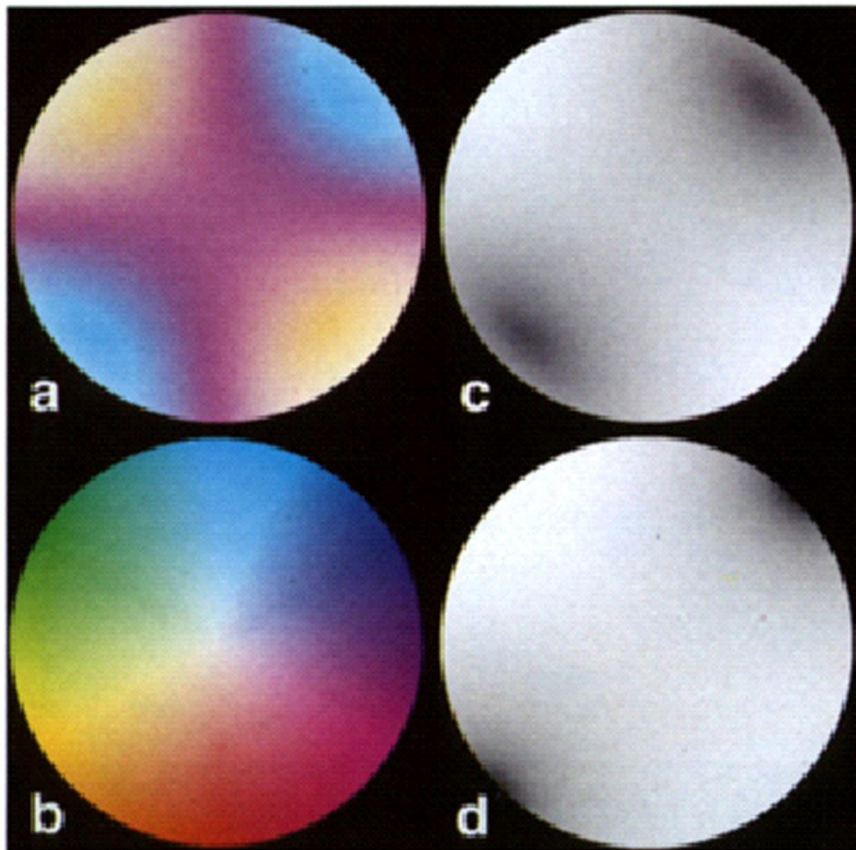




Obr. 8. Rotace krystalové přednostní orientace (CPO) vzoru se směrem stříhu v závislosti na míře deformace, menší obrázek vpravo dole: aktivita kluzných systémů podle pozice maxim v pólovém diagramu, převzato z Heilbronner a Tullis (2006)

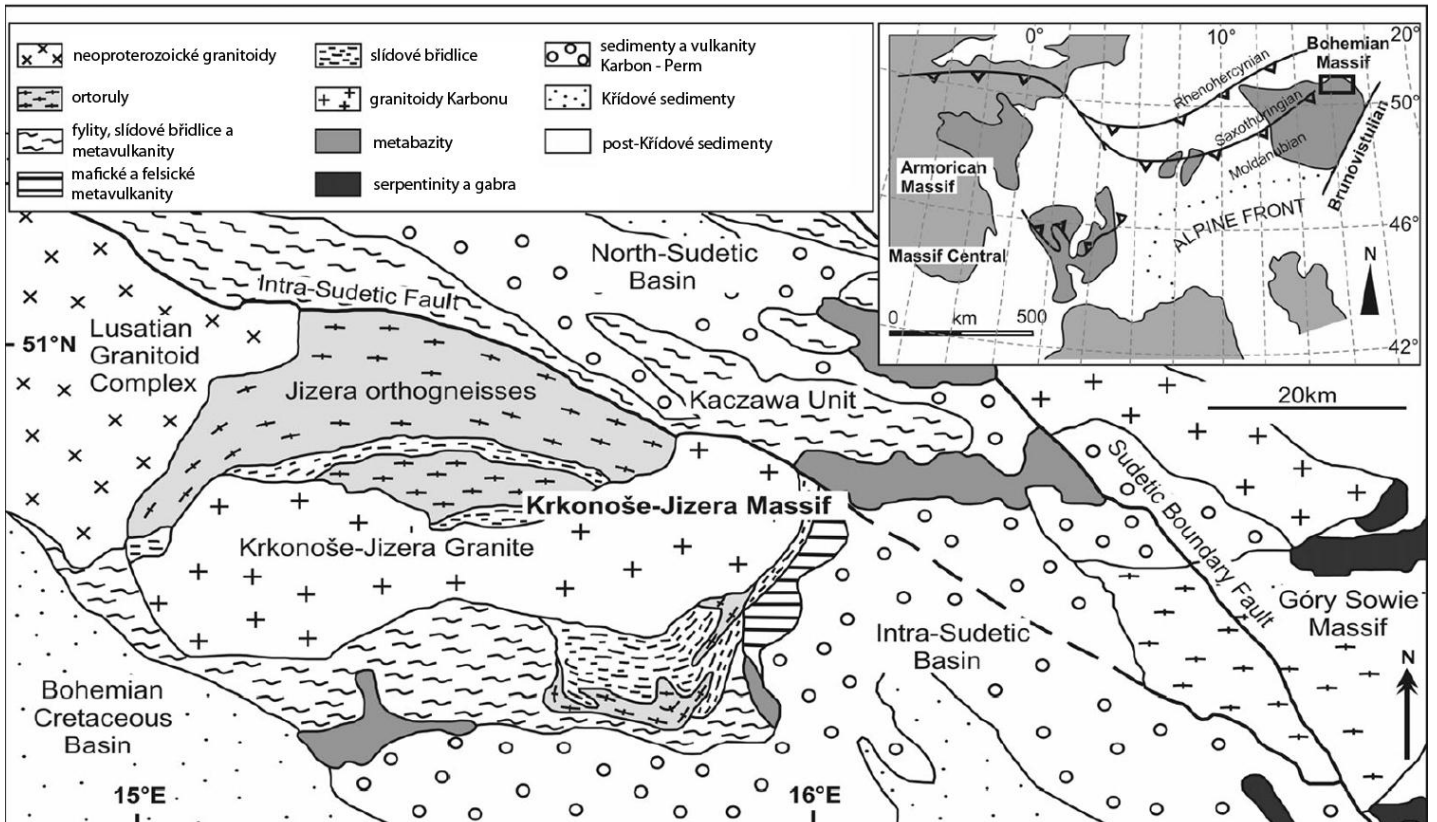
	350°C	400°C	450°C	500°C	550°C	600°C	650°C	700°C	Reference
		basal<a>				prism<c>			Takeshita (1996)
		basal<a>				prism<c>			Okudaira et al. (1995)
Type II crossed girdle						X-maxima (prism<c>)			Bahattacharya & Weber (2004)
		<a>				<c>			Mainprice et al. (1986)
			Y-maxima (prism<a>)						Schmid & Casey (1986)
			crossed girdles (basal<a>)						Kruhl (1998)
			girdles (basal<a>)				Y-maxima (prism<a>)		Kurz et al. (2002)

Obr. 9. Aktivita různých kluzných systémů v závislosti na teplotě podle různých autorů - shrnutí, převzato z Toy a Prior (2008)



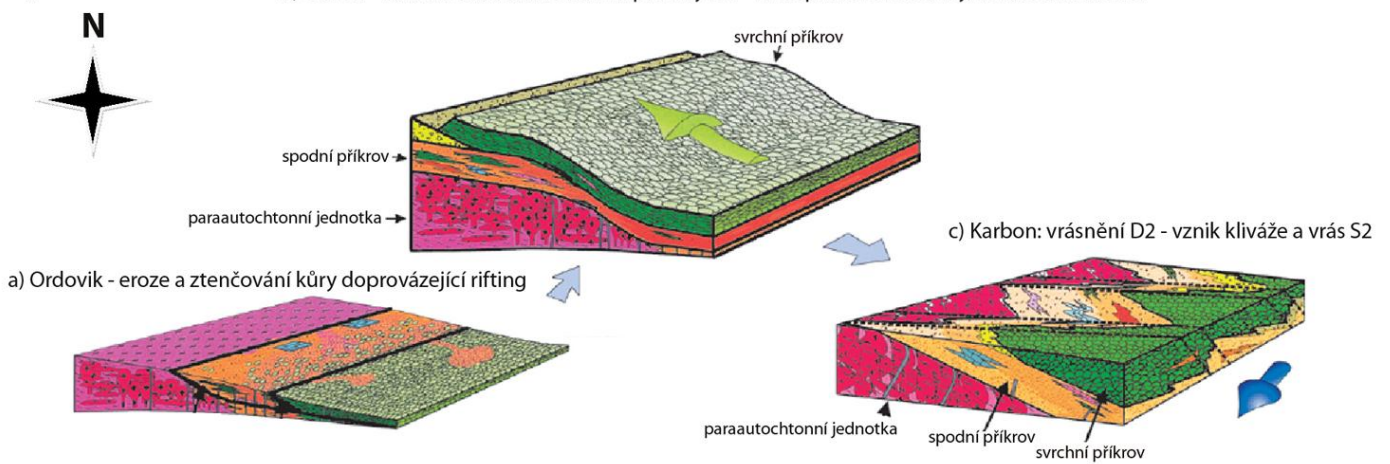
Obr. 10. a) Stereogram interferenčních barev (SIC) křemene, b) barevný kód: odstíny-azimut; sytost-inklinace, c,d) monochromatické SIC z a) s různými filtry, převzato z Heilbronner a Pauli, 1993

a)

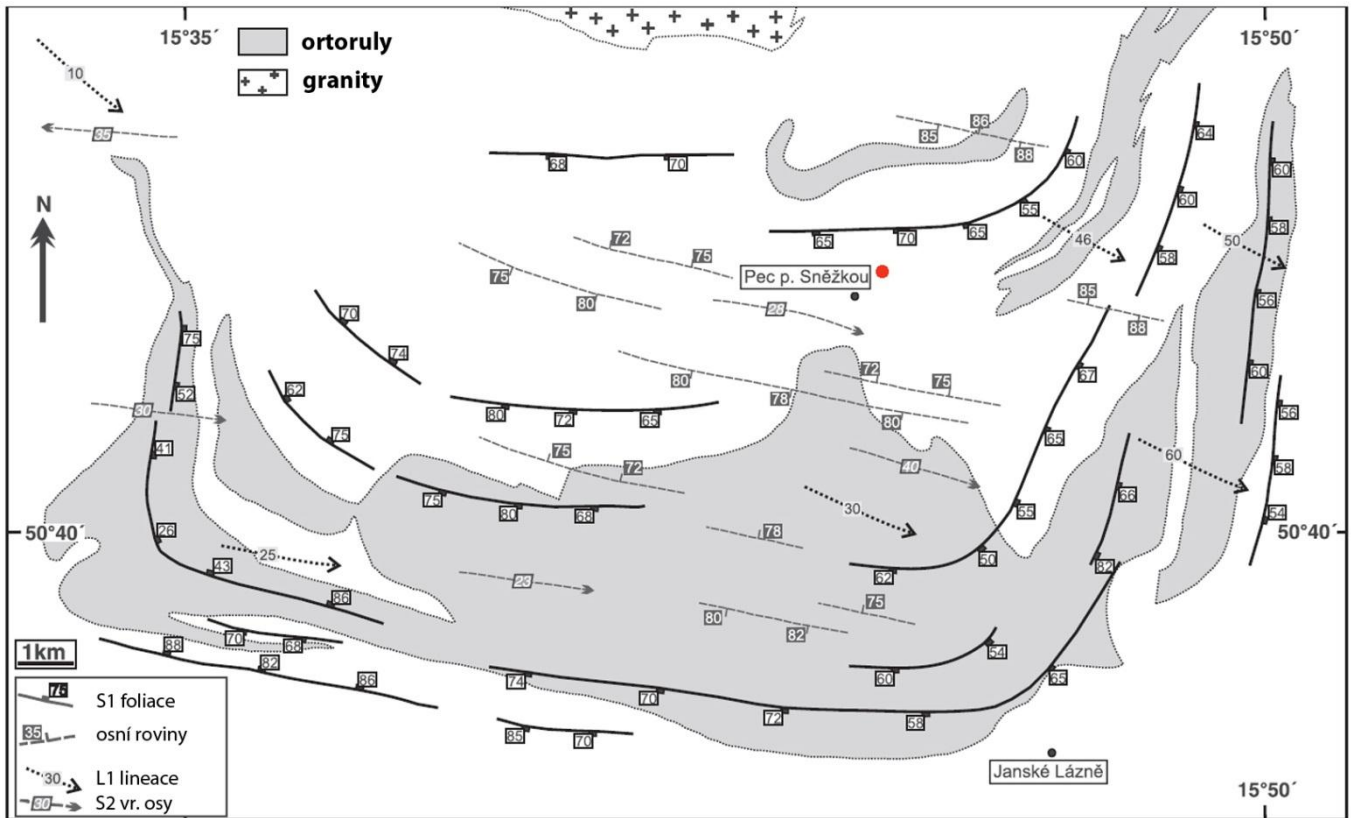


b)

b) Devon - Karbon: subdukčně-kolizní procesy D1 - vznik příkrovové stavby, foliace a lineace S1



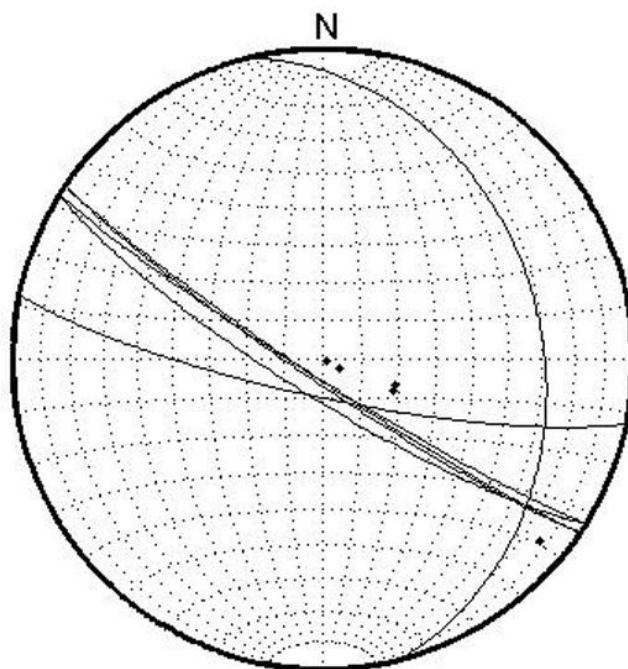
Obr. 11. a) Zjednodušená geologická mapa zájmové oblasti, b) schéma vývoje zájmové oblasti (ordovik – karbon) s deformačními fázemi D1 a D2, podle Aleksandrowski et al. 1997, převzato z Žáčková et al. 2012



Obr. 12. Strukturální mapa studované oblasti, červený bod: místo odběru vzorků, převzato z Žáčková et al. 2010, upraveno



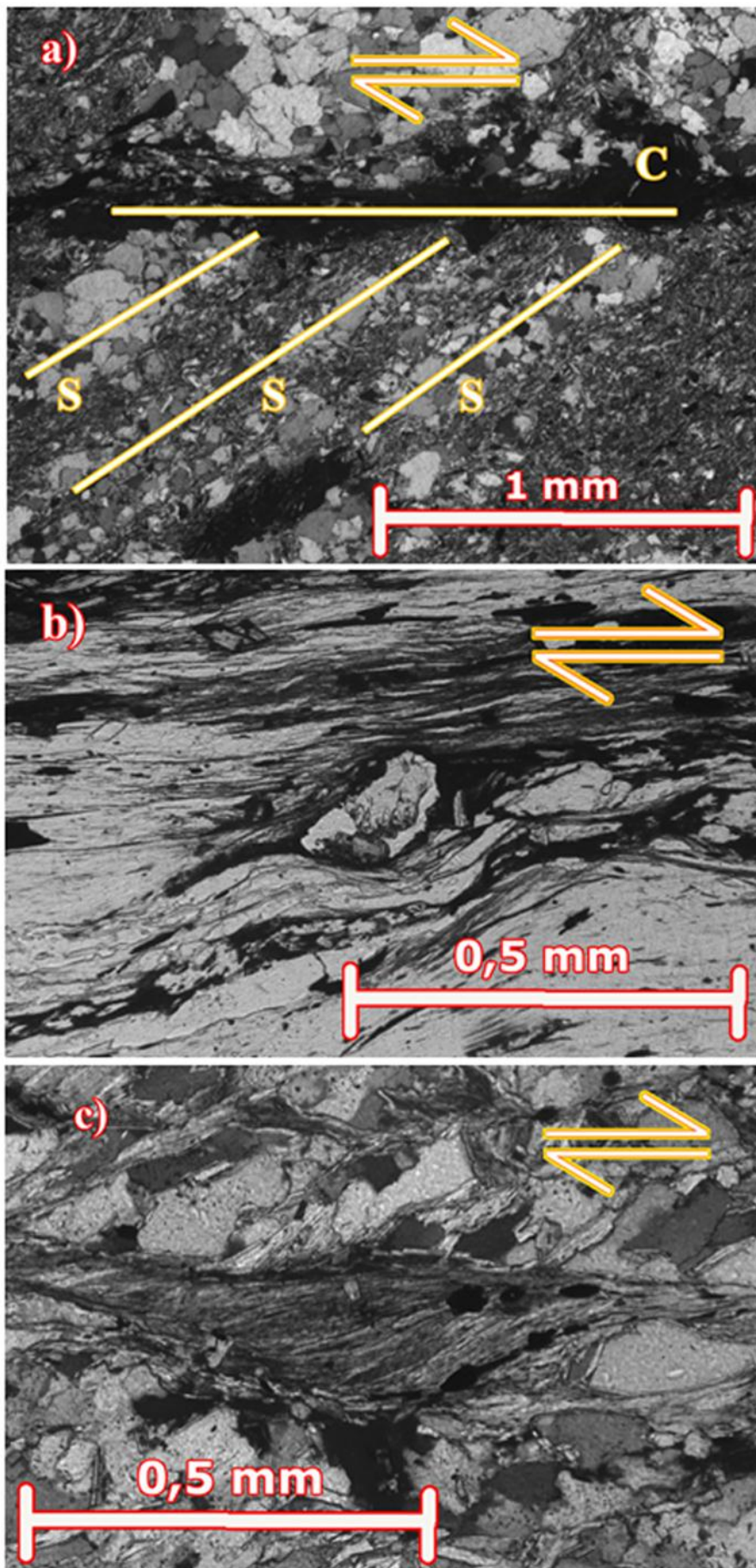
Obr. 13. Místo odběru vzorků (označeno zelenou šipkou) – zdroj: <https://maps.google.cz/>, upraveno



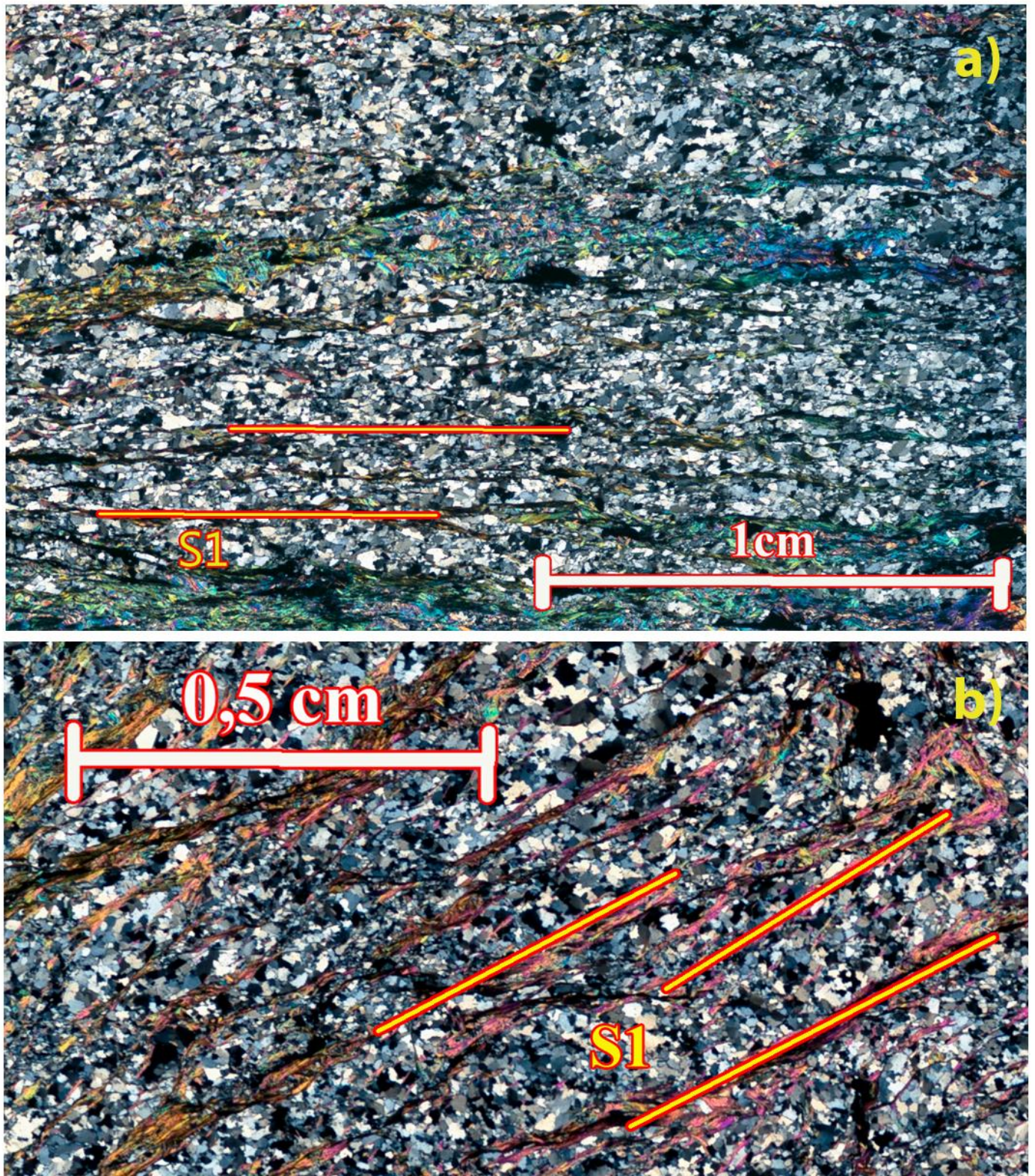
Obr. 14. Orientace vrásových os (body) a osních rovin (velké oblouky) S2 odebraných vzorků



Obr. 15. a) odběr vzorku OB, b) odběr vzorku OC, c) odběr vzorku OE v terénu, d) odběr vzorku OF, e) detail S2 vrás a budiny křemene ve vzorku OI, f) vzorek OE po rozříznutí, g) vzorek OE18 po rozříznutí, h) vzorek OG po rozříznutí, i) vzorek OI po rozříznutí (obdélník vyznačuje místo, odkud byl zhotoven výbrus), j) vzorek OH s vyvinutou kliváží po rozříznutí (obdélník vyznačuje místo, odkud byl zhotoven výbrus)

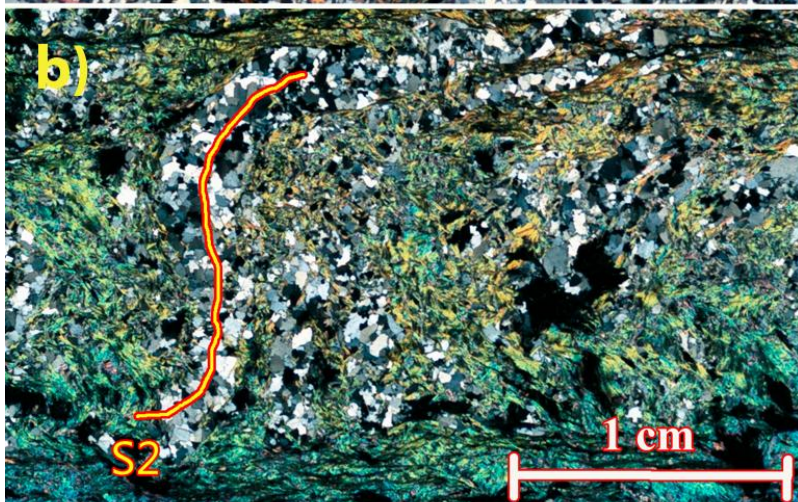
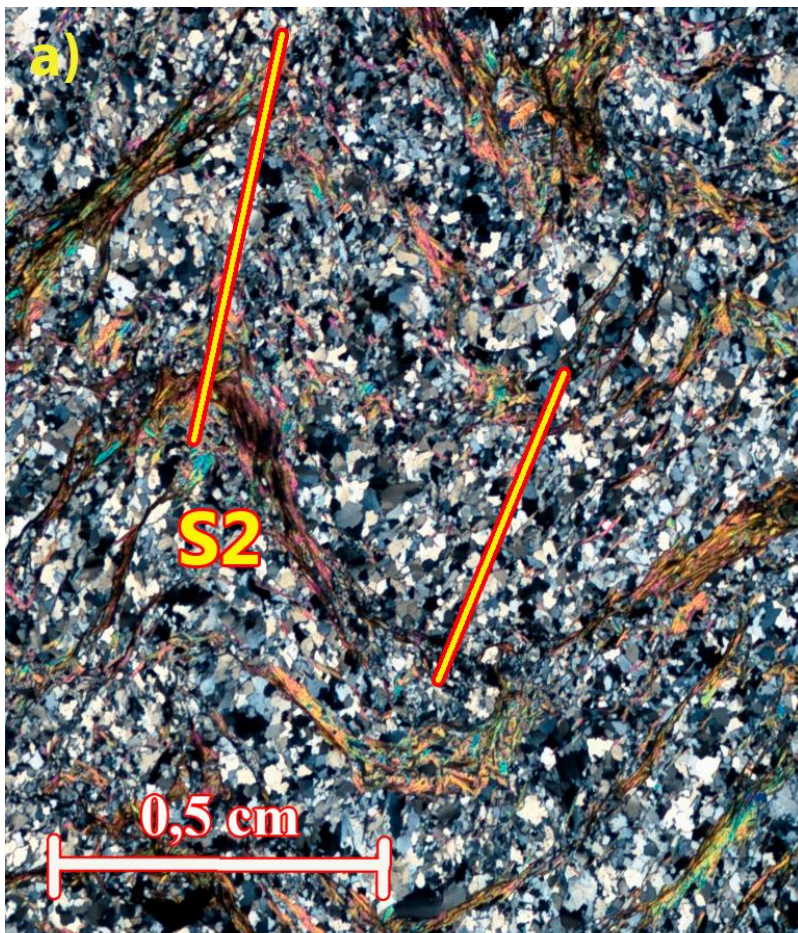


Obr. 16. Mikrostruktury indikující směr stříhu: a) SC – stavby ve vzorku OH, b) klast s asymetrickým deformačním stínem, c) slídová ryba



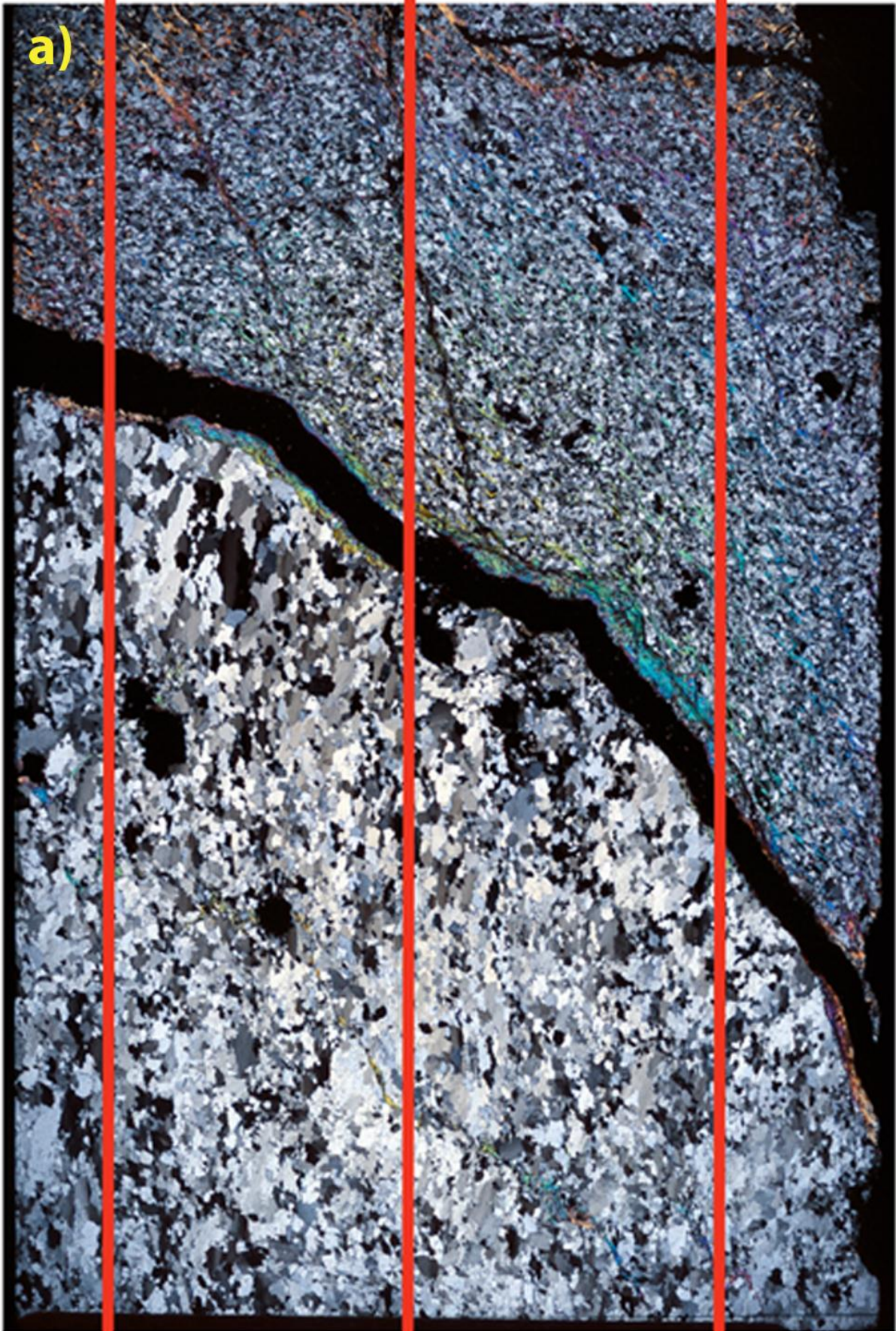
Obr. 17. a,b) Mikrostruktury D1. Deformační stavby S1 jsou definovány foliací muskovitu ( ve zkřížených nikolech)





Obr. 18. Mikrostruktury D2. Deformační stavby S2 (ve zkřížených nikolech), a) a c) vrásové osy S2, b) kliváž ve vzorku OH

ac řez



a)

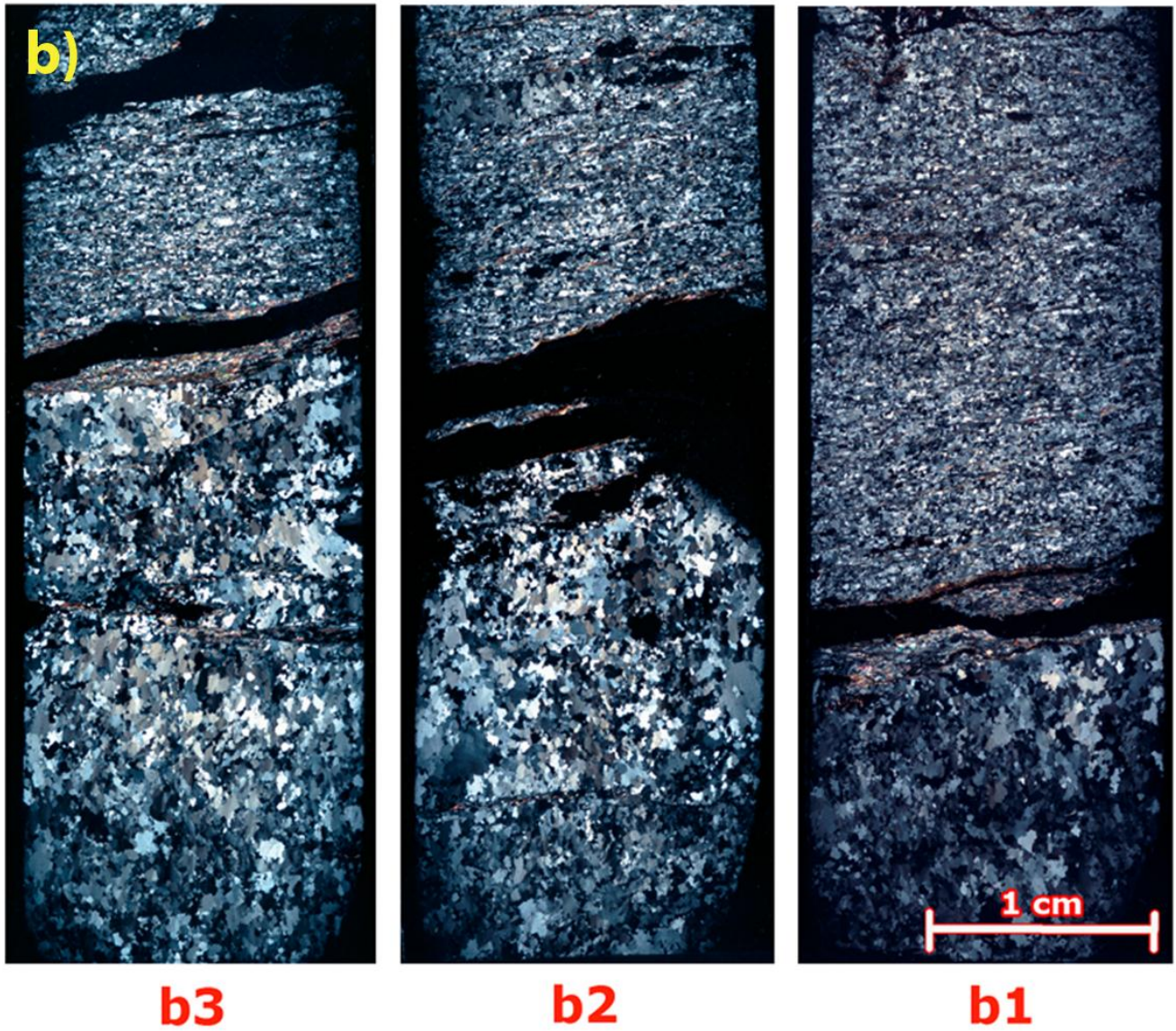
b3

b2

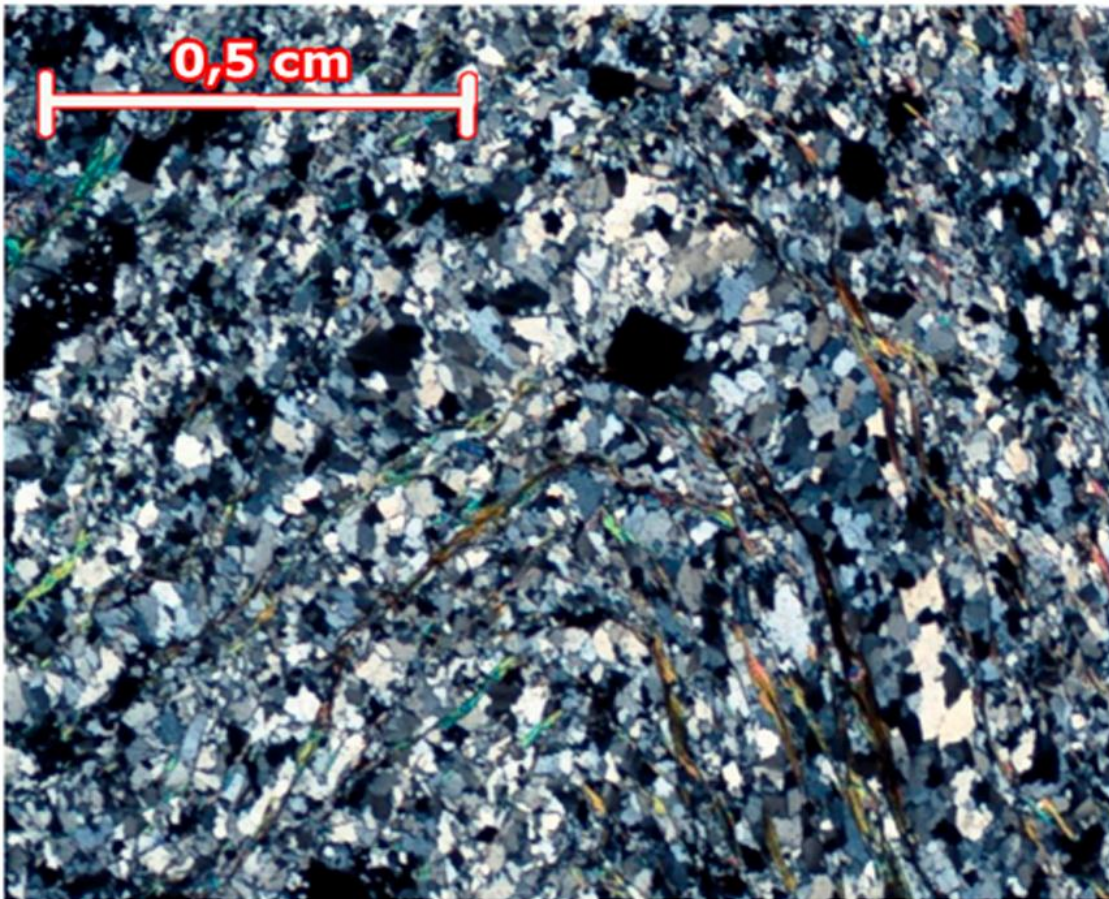
b1

krkB

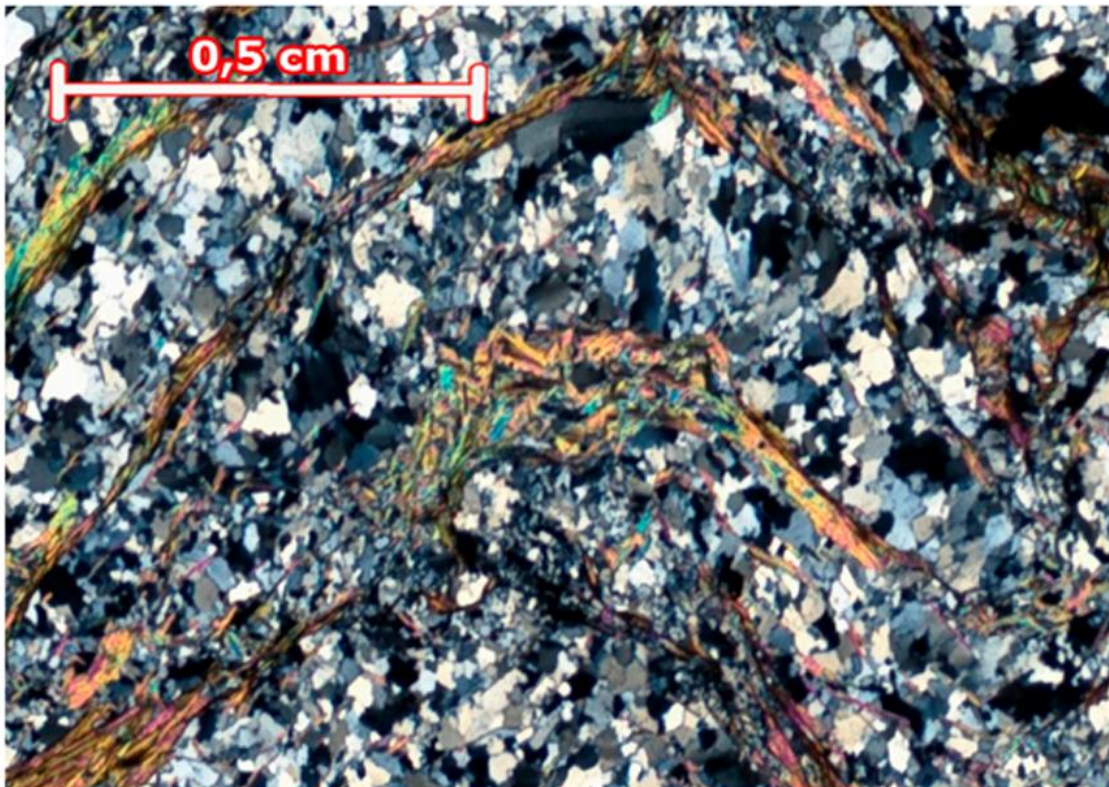
**ab řezy**



Obr. 19. Mikrofotografie výbrusů (ve zkřížených nikolech) ze vzorku krkonošB: a) ac řez – krkB, b) ab řezy – b1, b2, b3

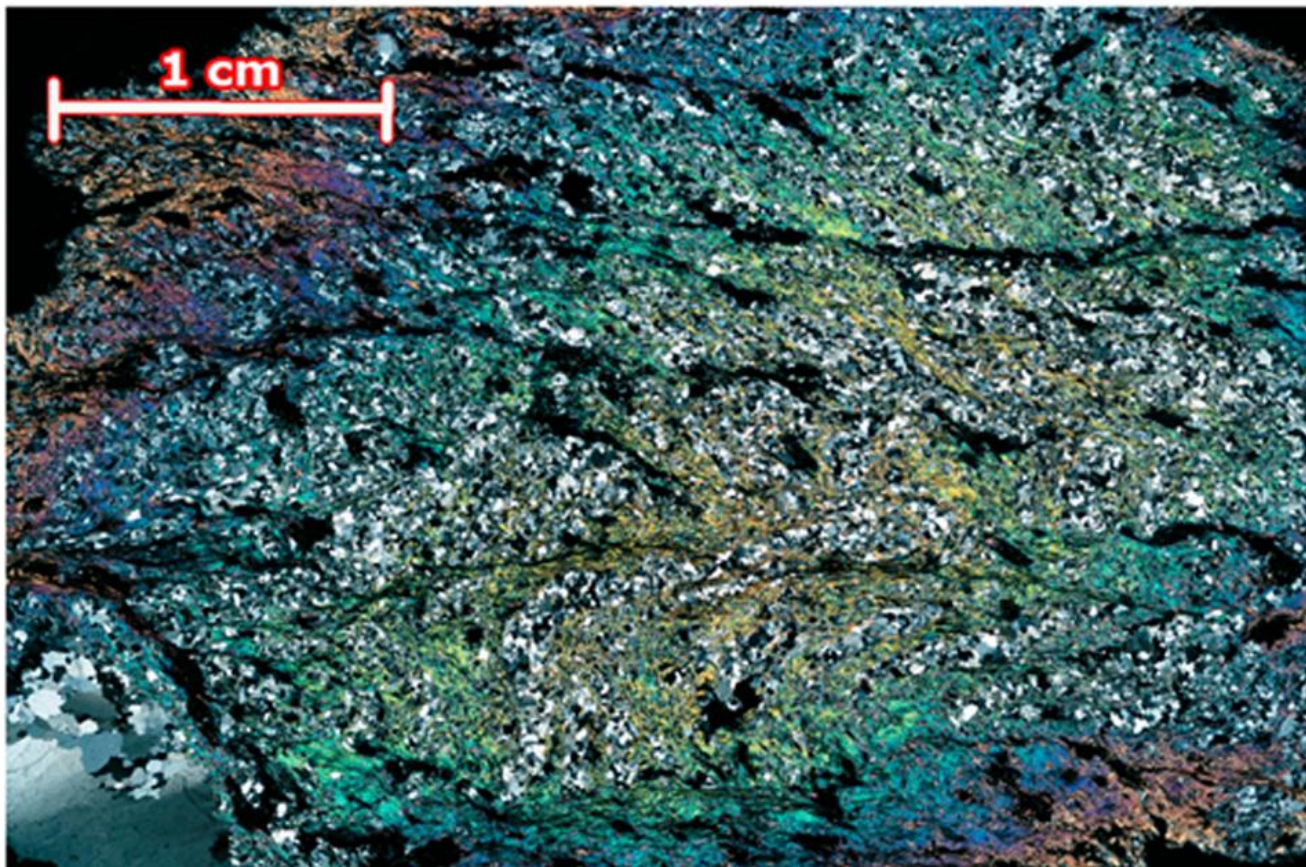


**ob1**

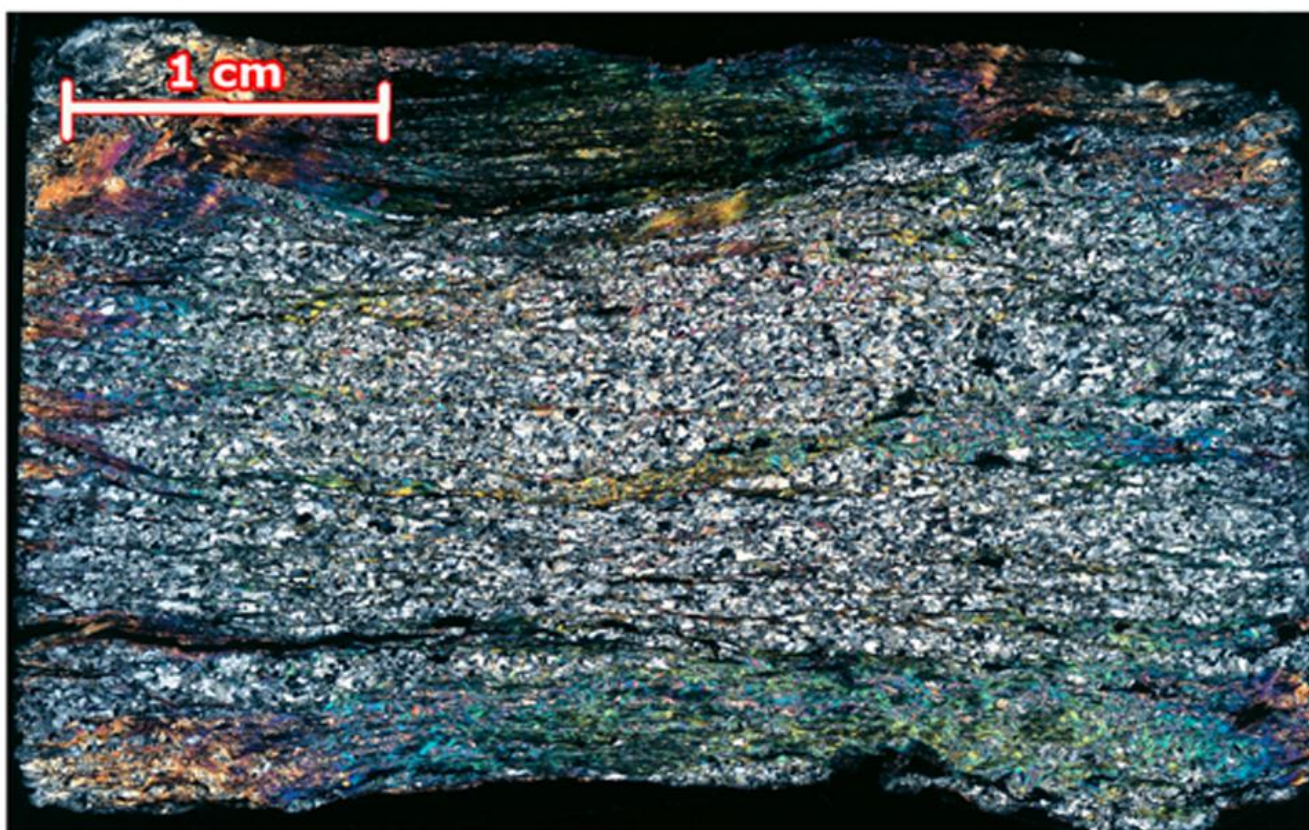


**oc2**

Obr. 20. Mikrofotografie studovaných vrásek ve vzorcích ob1 a oc2 (ve zkřížených nikolech)

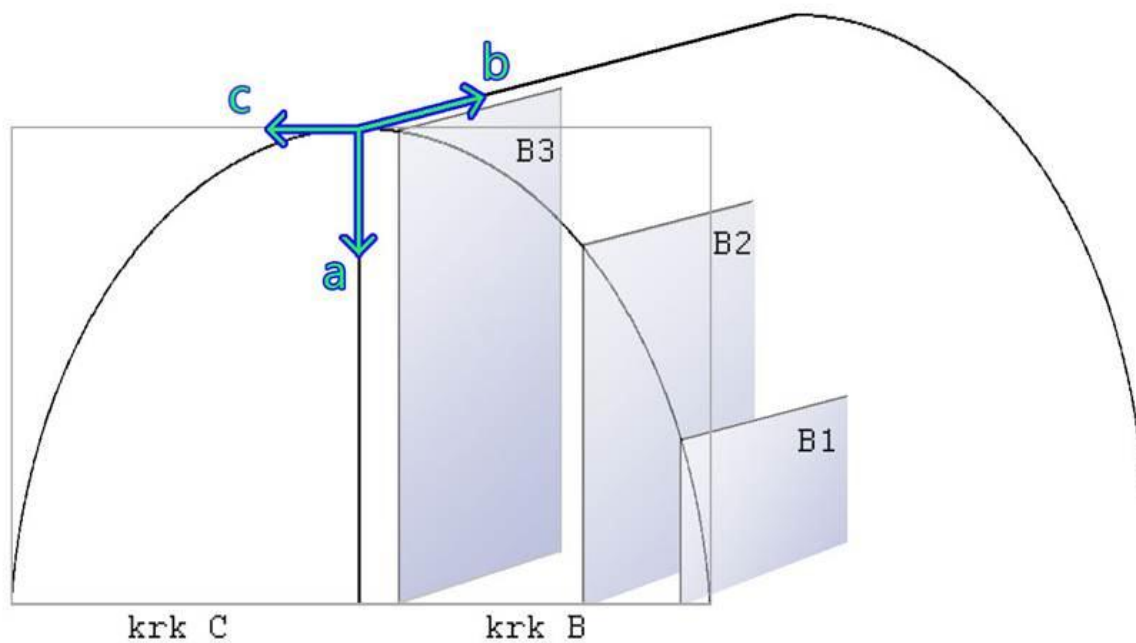


oh



og

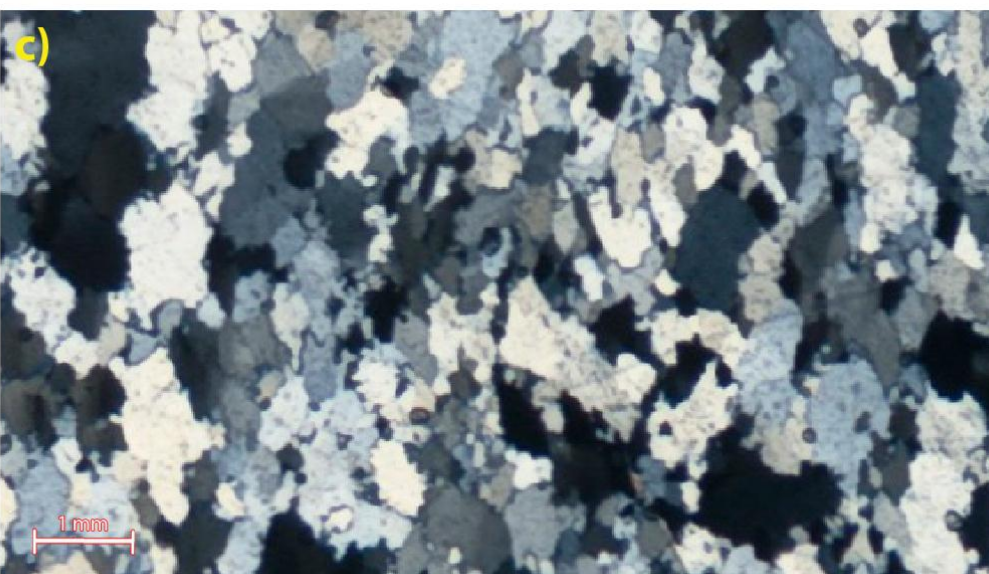
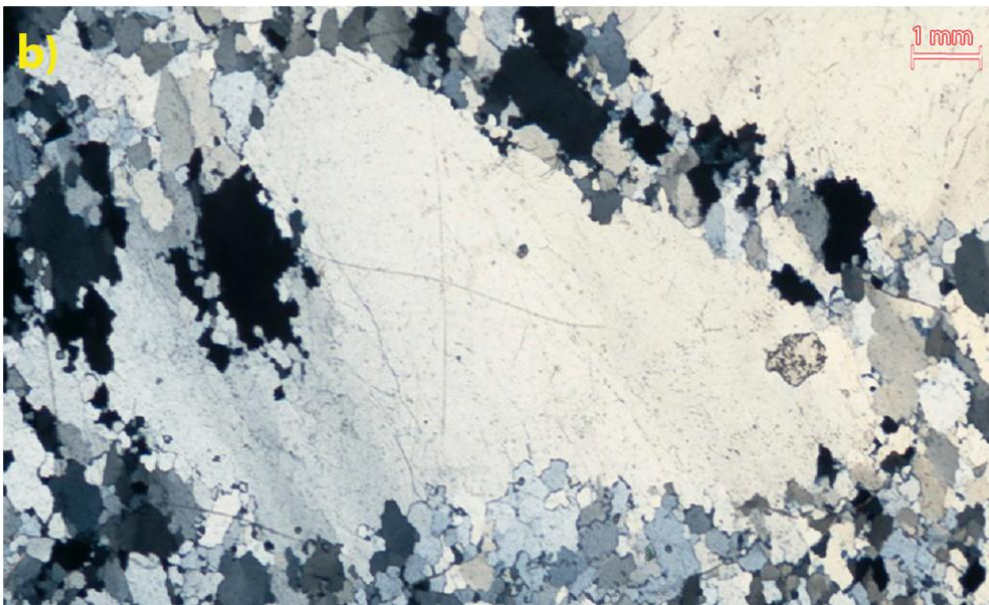
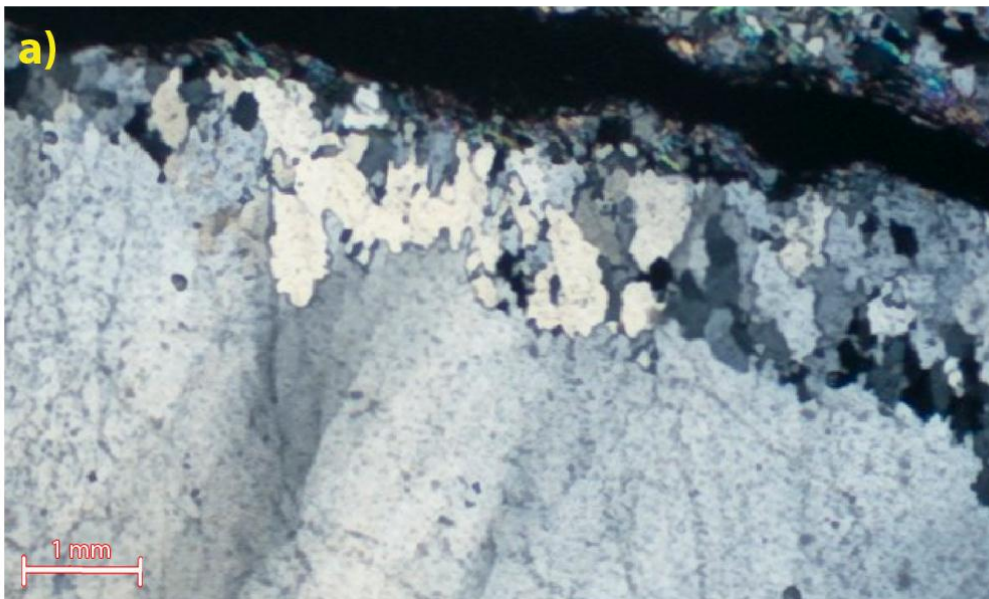
Obr. 21. Mikrofotografie výbrusů OH a OG (ve zkřížených nikolech)



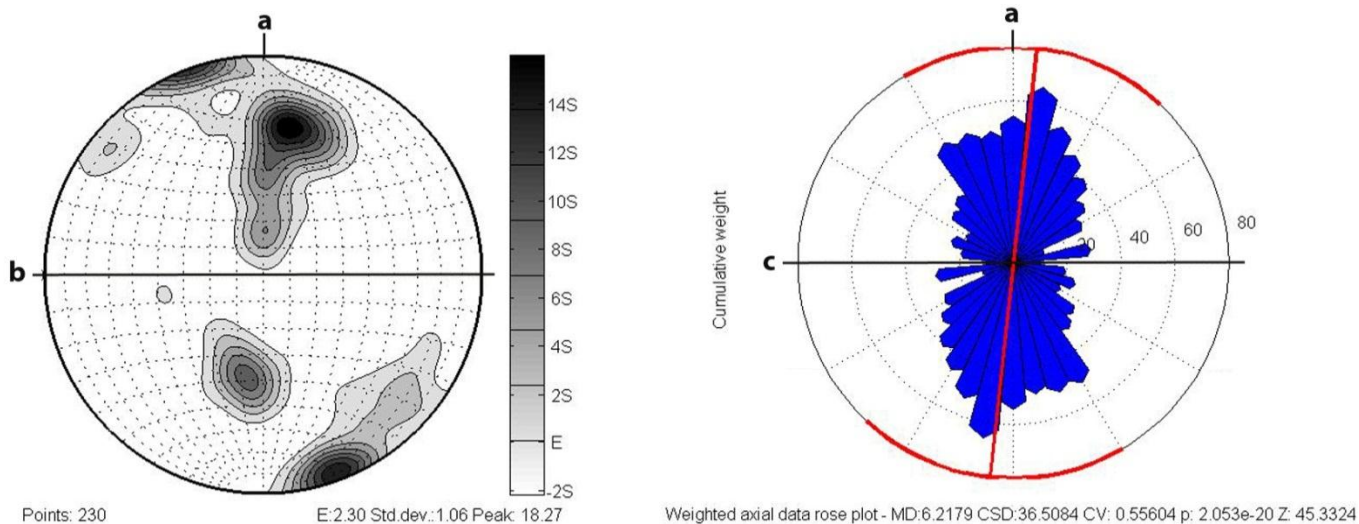
Obr. 22. Referenční rámec studovaných vzorků, vzájemná pozice výbrusu krkB a na něj kolmých výbrusů b1, b2, b3



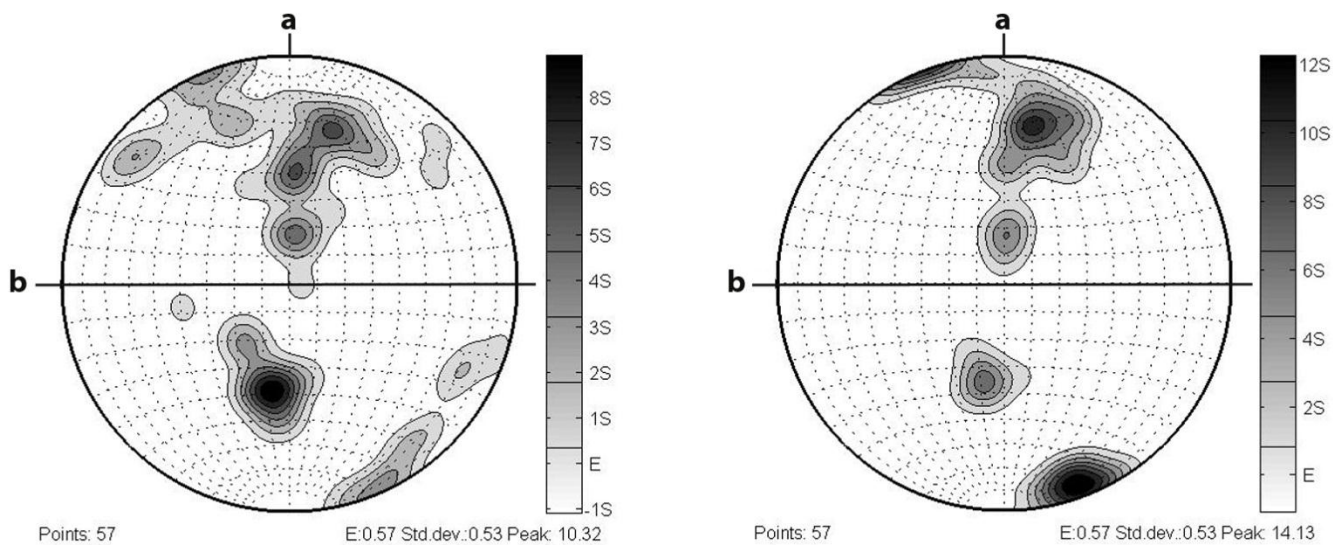
Obr. 23 . Mikrofotografie výbrusu OI se zkříženými nikoly, měřítko: velikost výbrusu 4 x 2.5 cm



Obr. 24 - 25. Deformační mikrostruktury ve výbrusu OI (ve zkřížených nikolech), a) bulging, b) subzrnová rotace, c) migrace hranic zrn

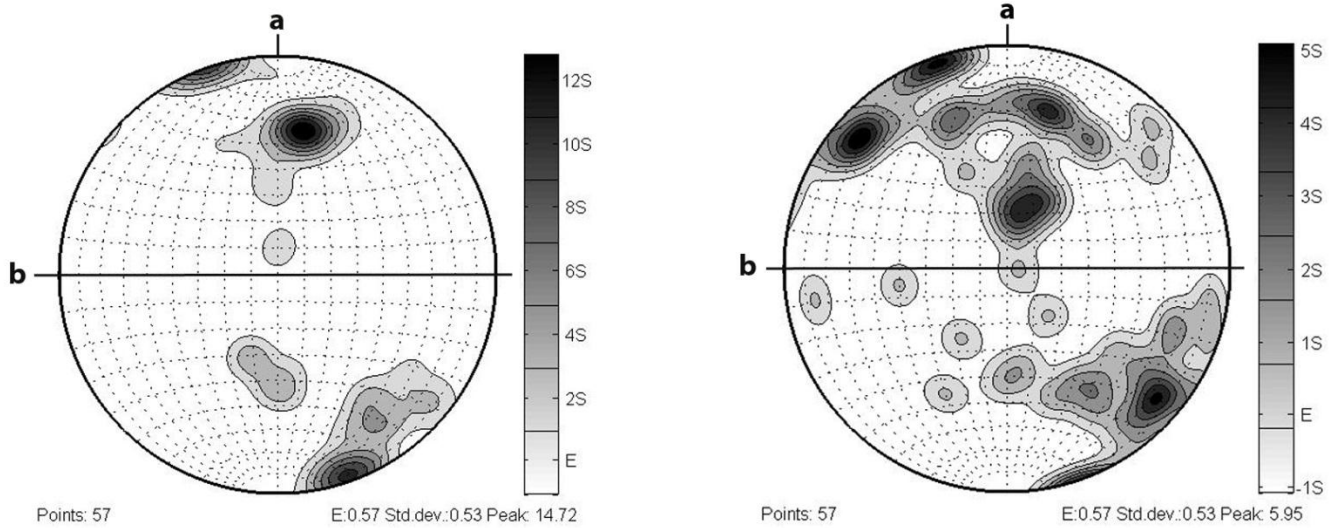


Obrázek 26. vlevo: celková krystalová přednostní orientace (CPO) vzorku OI, vpravo: tvarová přednostní orientace (SPO) vzorku OI, ab – plocha osní roviny, b – vrásová osa, orientace c-os získaná z ac řezů byla rotována o 90° a zobrazena v rovině ab

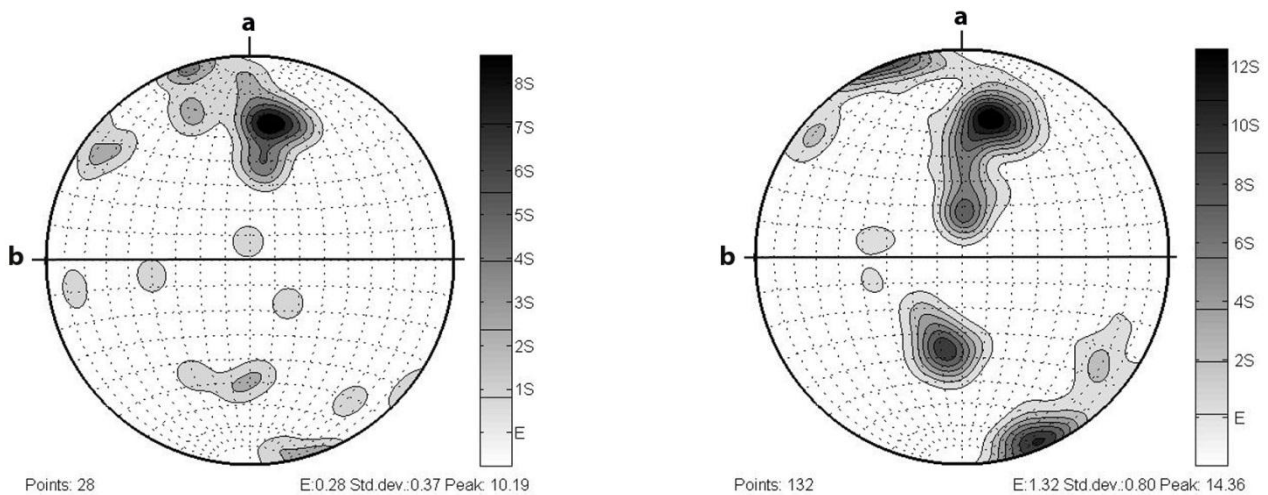


Obr. 27. vlevo: krystalová přednostní orientace (CPO) zrn s nejvyšším osním poměrem ve vzorku OI, vpravo: CPO největších zrn vzorku OI (4. kvartil), ab – plocha osní roviny, b – vrásová osa, orientace c-os získaná z ac řezů byla rotována o 90° a zobrazena v rovině ab

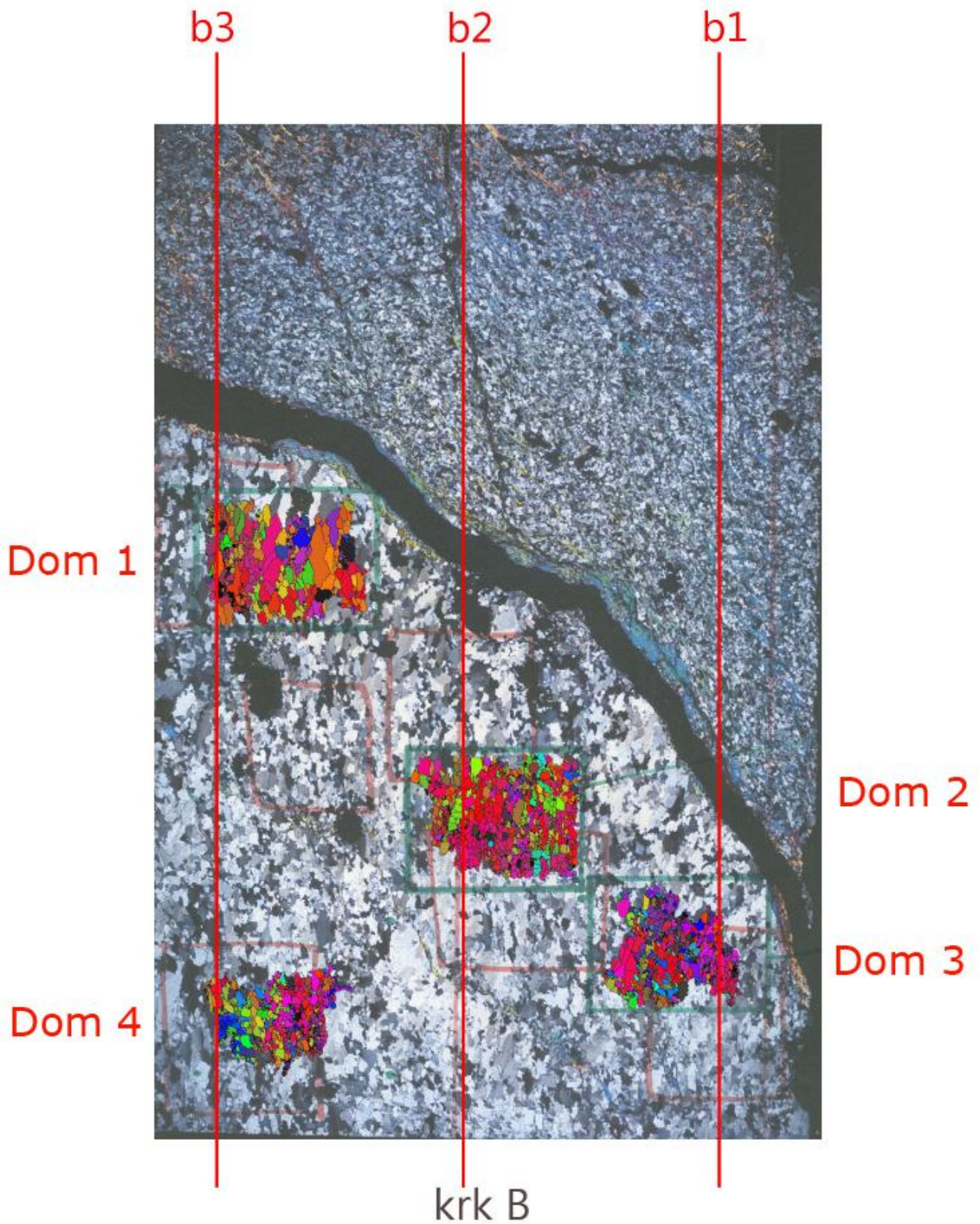




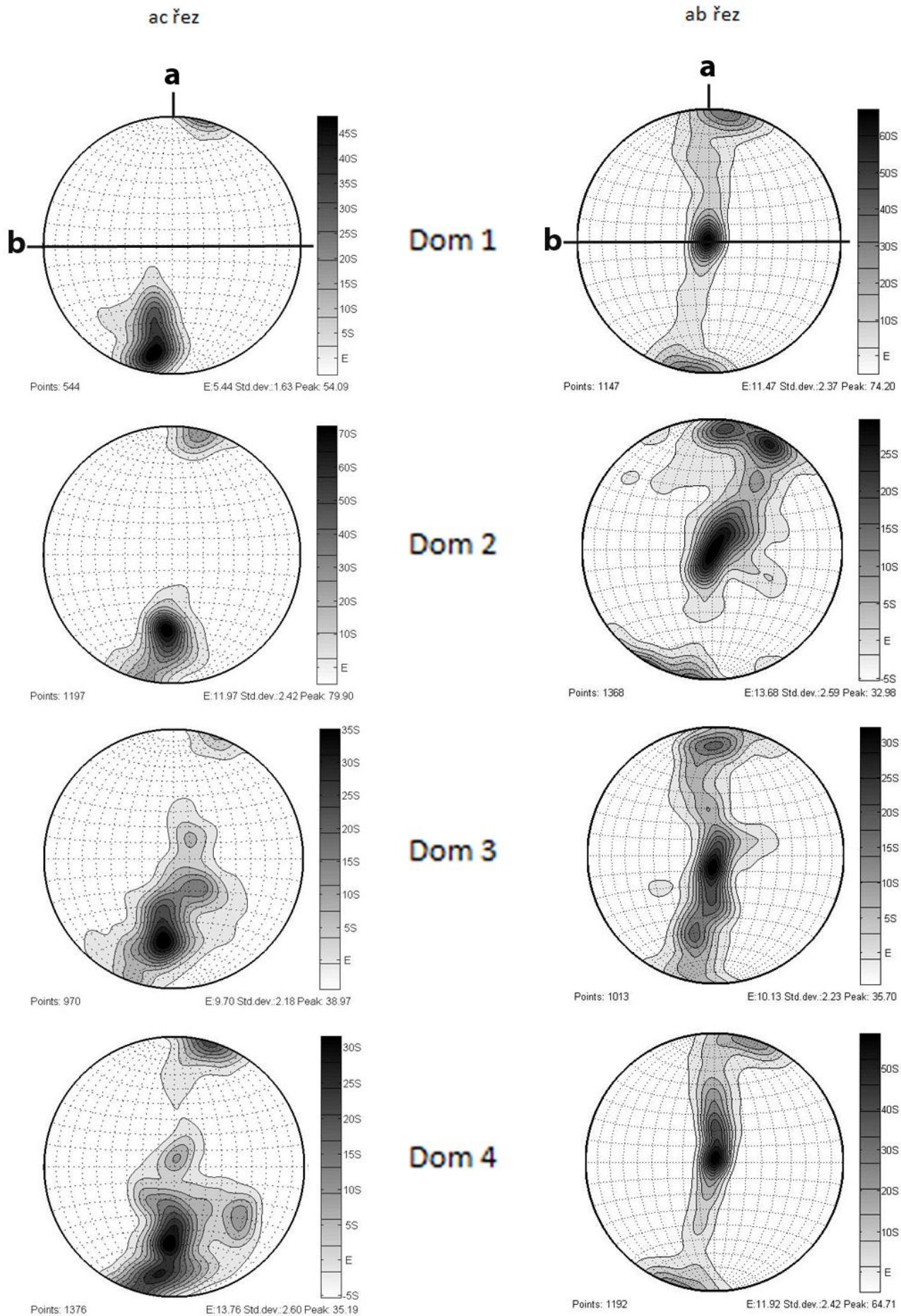
Obr. 28. vlevo: krystalová přednostní orientace (CPO) zrn s nejnižším osním poměrem ve vzorku OI, vpravo: CPO nejmenších zrn vzorku OI (1. kvartil), ab – plocha osní roviny, b – vrásová osa, orientace c-os získaná z ac řezů byla rotována o 90° a zobrazena v rovině ab



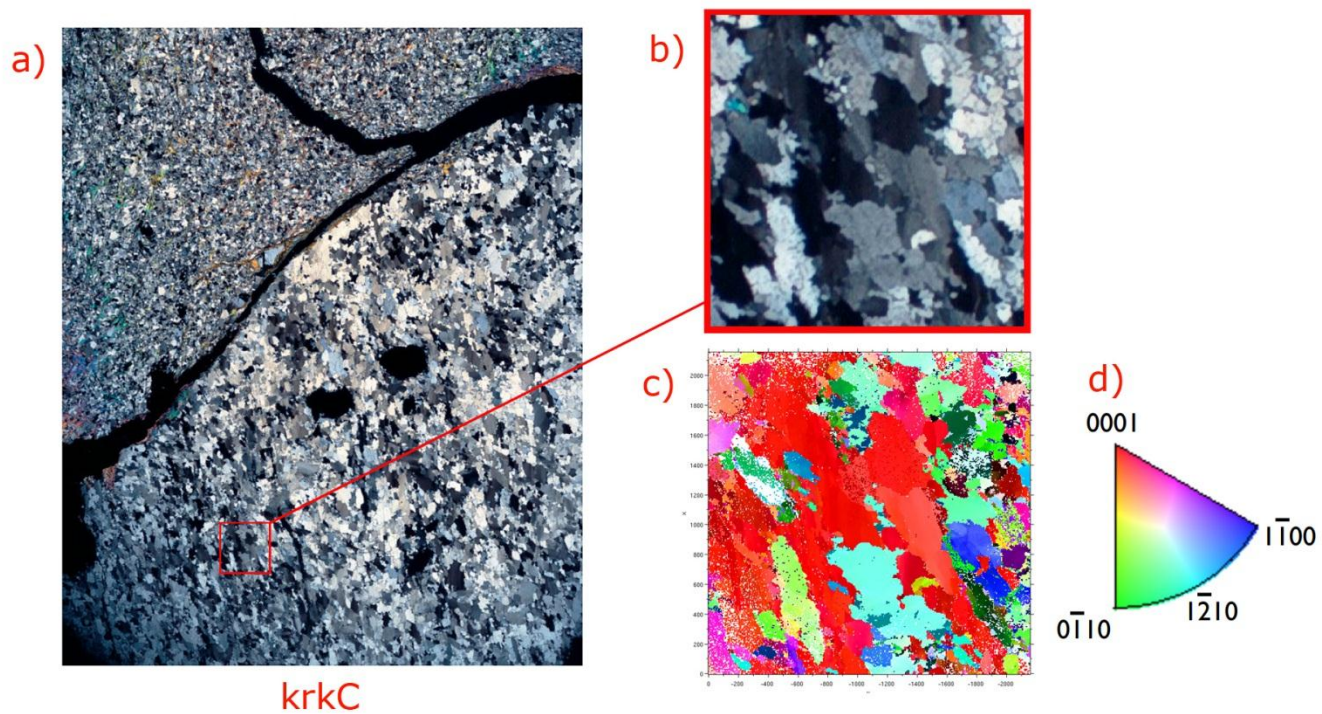
Obr. 29. vlevo: krystalová přednostní orientace (CPO) zrn kolmých k tvarové přednostní orientaci (SPO) ve vzorku OI, vpravo: CPO zrn paralelních k SPO ve vzorku OI, ab – plocha osní roviny, b – vrásová osa, orientace c-os získaná z ac řezů byla rotována o 90° a zobrazena v rovině ab



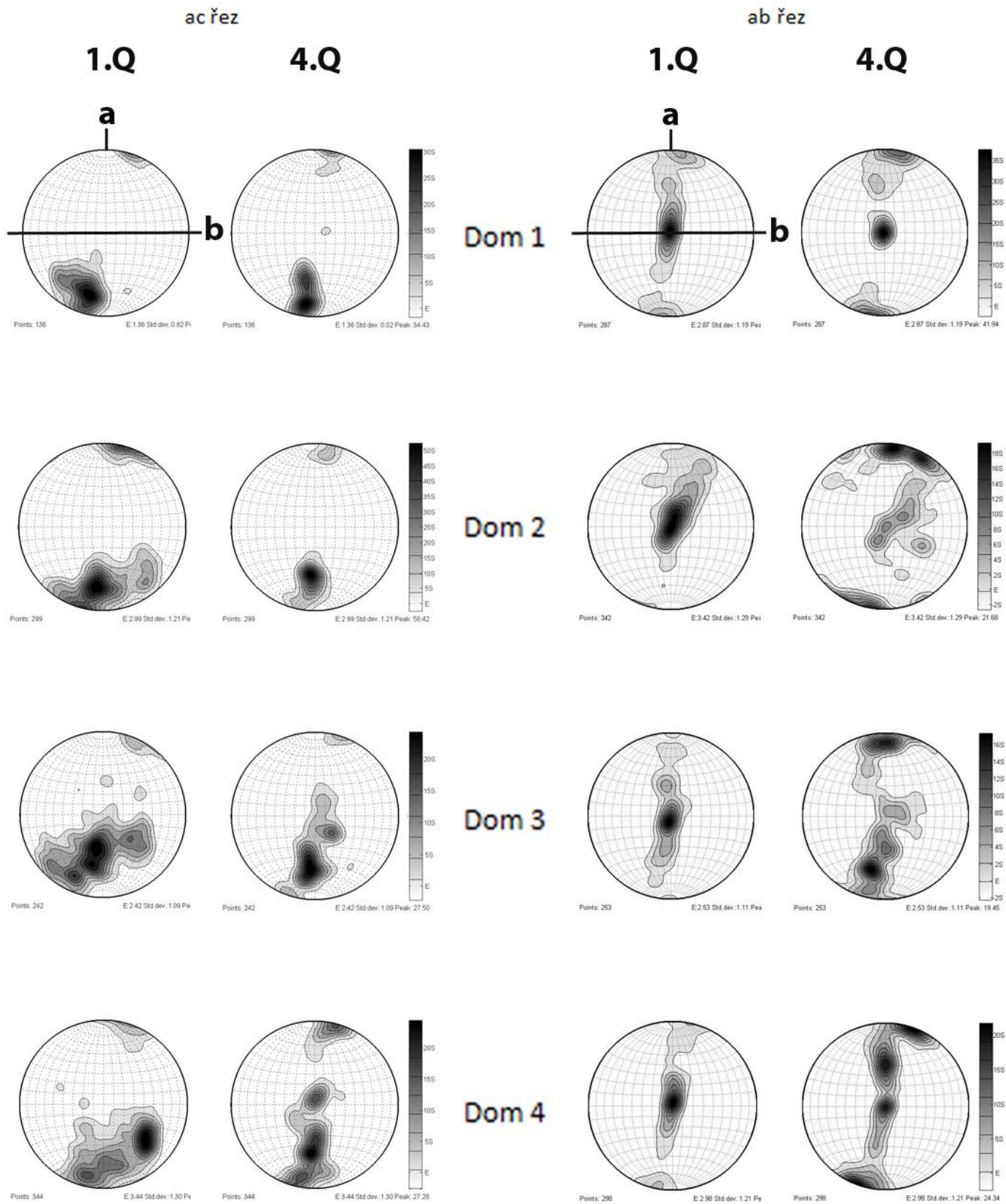
Obr. 30. Pozice domén 1-4 ve výbrusu krkB



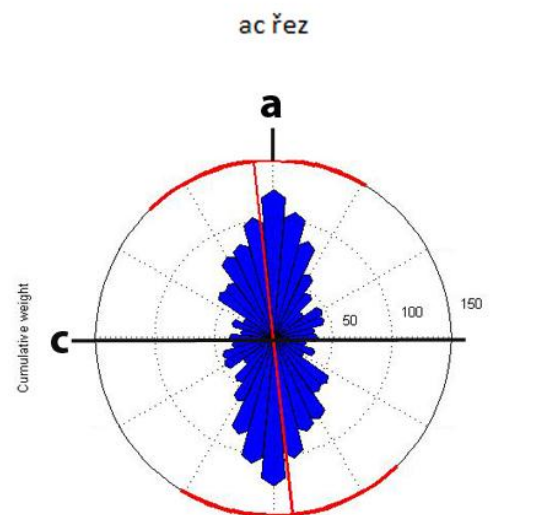
Obr. 31. Celková krystalová přednostní orientace (CPO) v doménách 1-4, ab – plocha osní roviny, b – vrásová osa, orientace c-os získaná z ac řezů byla rotována o 90° a zobrazena v rovině ab



Obr. 32. a) mikrofotografie výbrusu  $krkC$  (se zkříženými nikoly) červený obdélník vyznačuje analyzované místo, b) analyzované místo, c) EBSD, d) EBSD klíč (IPF), Bravaisovy symboly krystalových ploch  $0001$  – báze,  $0110$  a  $1100$  – prisma

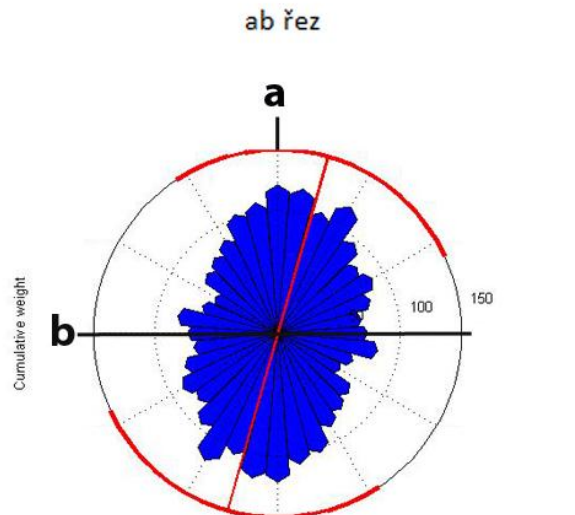


Obr. 33. Krystalová přednostní orientace (CPO) podle velikosti zrn v doménách 1 - 4: 1Q – nejmenší zrna (1.kvartil), 4Q – největší zrna (4.kvartil), ab – plocha osní roviny, b – vrásná osa, orientace c-os získaná z ac řezů byla rotována o 90° a zobrazena v rovině ab

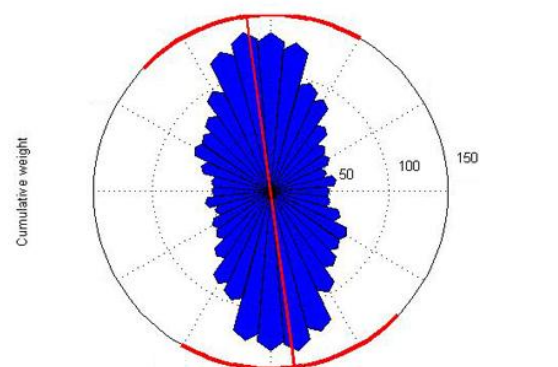


Dom 1

ighted axial data rose plot - MD:173.6424 CSD:37.4119 CV: 0.57375 p: 1.1854e-43 Z: 98.841

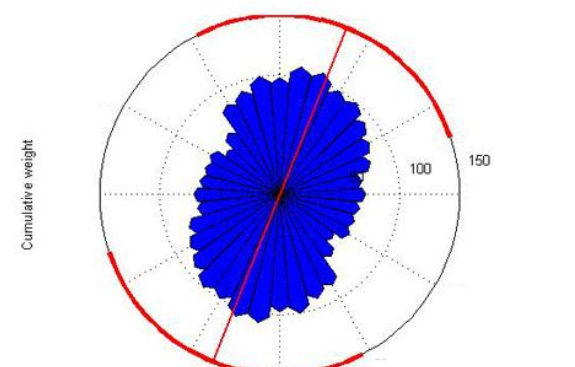


ighted axial data rose plot - MD:15.9205 CSD:49.1398 CV: 0.77034 p: 5.3129e-27 Z: 60.4997

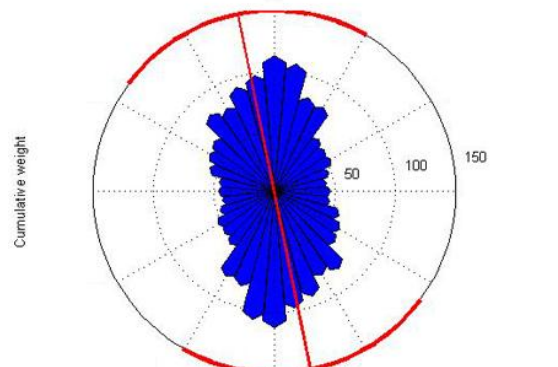


Dom 2

ighted axial data rose plot - MD:172.2172 CSD:37.9689 CV: 0.58451 p: 1.8061e-90 Z: 206.641

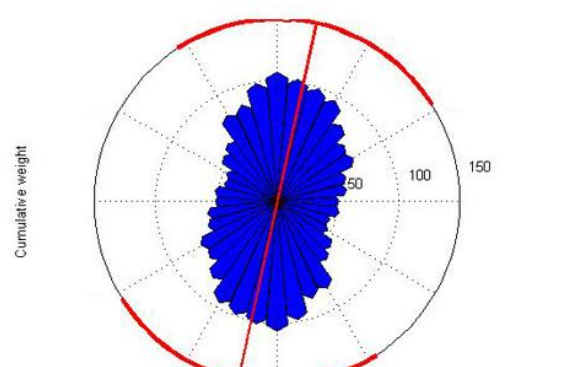


ighted axial data rose plot - MD:21.9414 CSD:49.2575 CV: 0.77195 p: 1.2638e-31 Z: 71.146

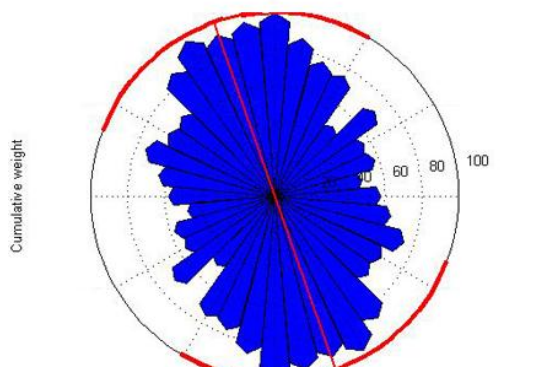


Dom 3

ighted axial data rose plot - MD:168.4697 CSD:41.8017 CV: 0.65512 p: 7.8433e-51 Z: 115.37

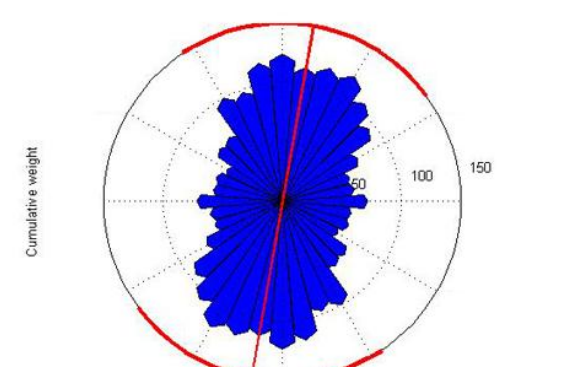


ighted axial data rose plot - MD:12.3946 CSD:45.2954 CV: 0.71348 p: 7.657e-37 Z: 83.16



Dom 4

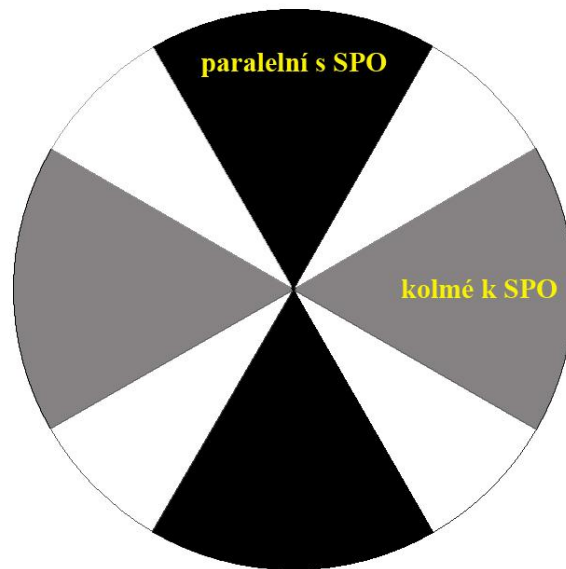
ighted axial data rose plot - MD:160.7544 CSD:49.9354 CV: 0.7811 p: 2.3228e-29 Z: 65.9322



ighted axial data rose plot - MD:9.9663 CSD:43.5972 CV: 0.68588 p: 8.3149e-52 Z: 117.6164

Obr. 34. Celková tvarová přednostní orientace (SPO) v doménách 1-4, ab – plocha osní roviny, b – vrásová osa, směr SPO je ve spodní části zámku paralelní s okrajem žilky, která je orientována paralelně se stavbou S1, směrem k vrcholu zámku rotuje do nové orientace (S2)

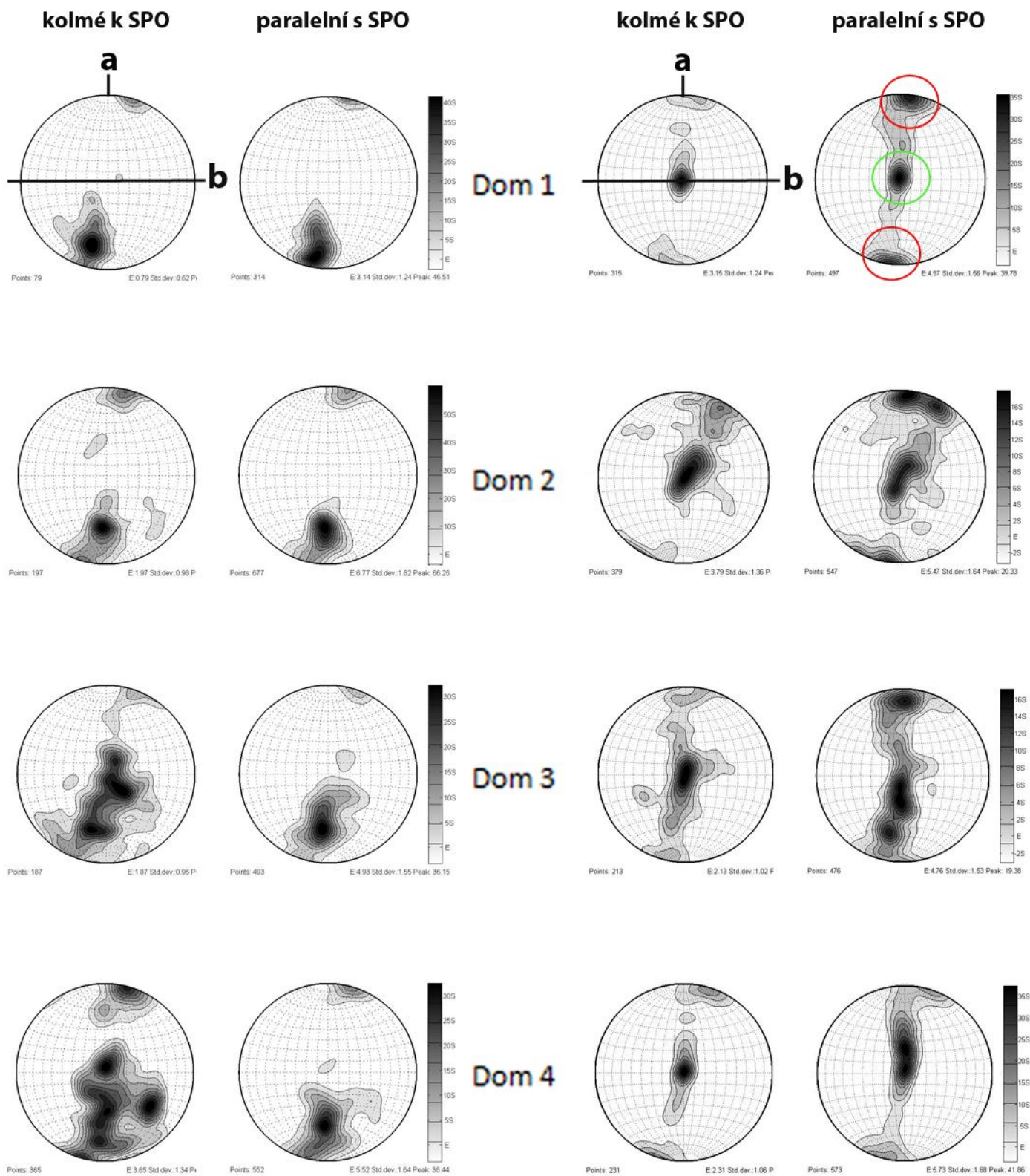
## směry SPO



Obr. 35. Směry tvarové přednostní orientace (SPO): černé pole – orientace paralelní s SPO, šedé pole – orientace kolmé k SPO

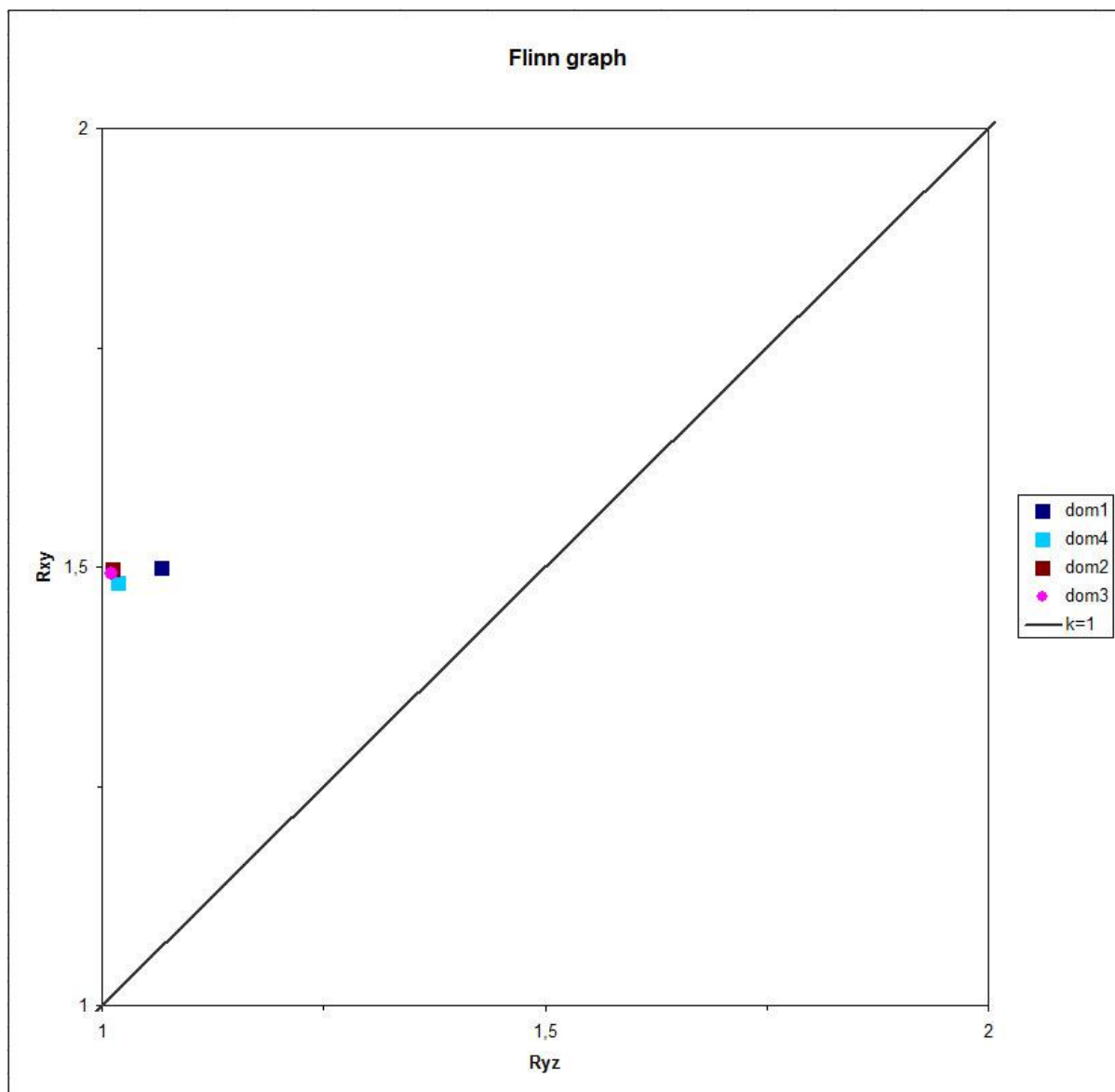
ac řez

ab řez

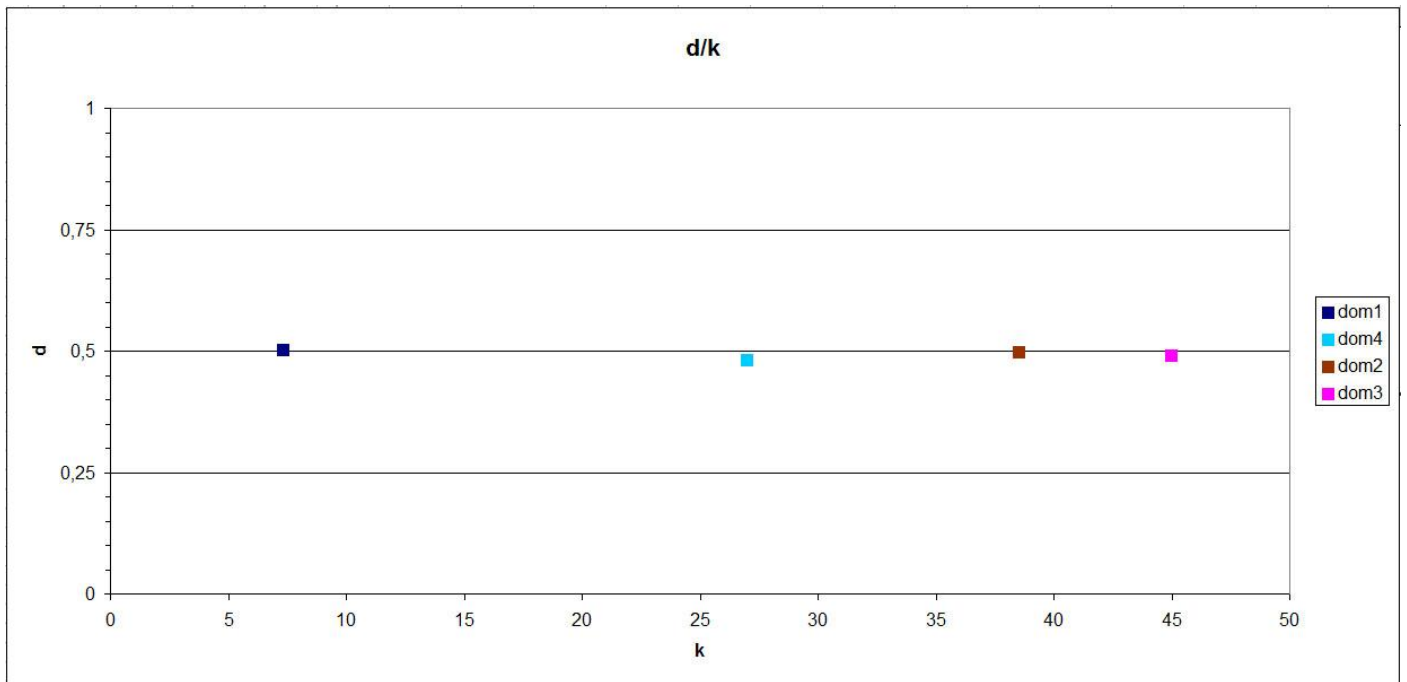


Obr. 36. Krystalová přednostní orientace (CPO) zrn paralelních k tvarové přednostní orientaci (SPO) a kolmých k SPO v doménách 1 - 4, ab – plocha osní roviny, b – vrásová osa, červené kruhy – hlavní (periferní) maxima, zelený kruh – centrální maximum, orientace c-os získaná z ac řezů byla rotována o 90° a zobrazena v rovině ab

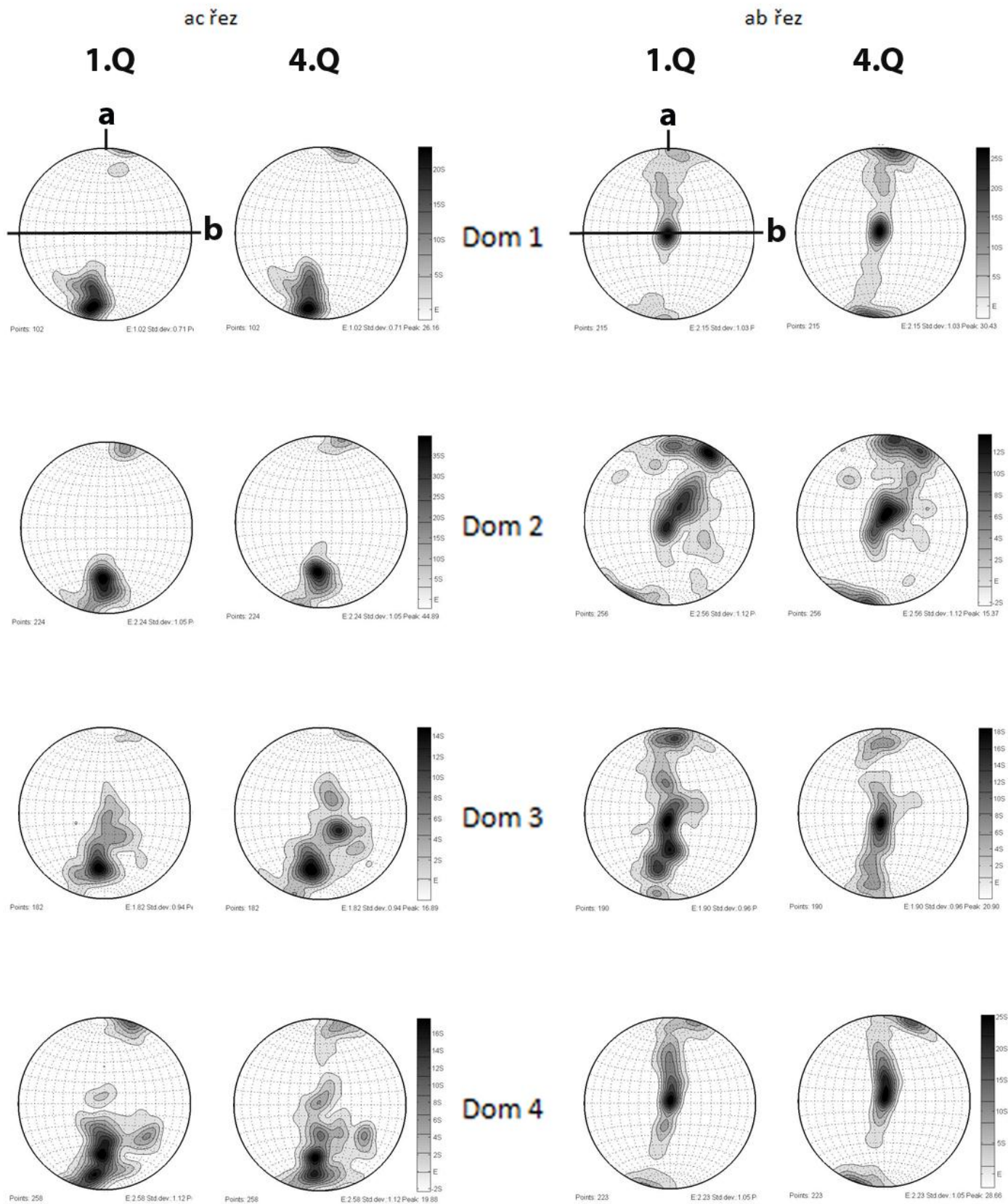




Obr. 37. Flinnův diagram pro domény 1 – 4, Rxy – osní poměr zrn v rovině ab, Ryz – osní poměr zrn v rovině bc (spočteno jako osní poměr v rovině ac/osní poměr v rovině ab – viz. str. 41)



Obr. 38. d/k diagram



Obr. 39. Krystalová přednostní orientace (CPO) podle osního poměru zrn v doménách 1 - 4: 1Q – zrna s nejnižším osním poměrem (1.kvartil), 4Q – zrna s nejvyšším osním poměrem (4.kvartil), ab – plocha osní roviny, b – vrásová osa, orientace c-os získaná z ac řezů byla rotována o 90° a zobrazena v rovině ab

a)

ac řez

ab řez

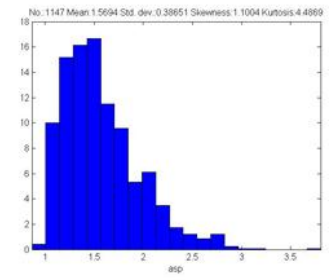
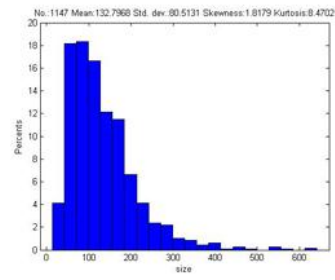
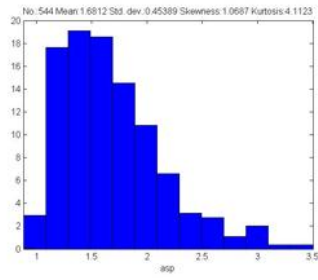
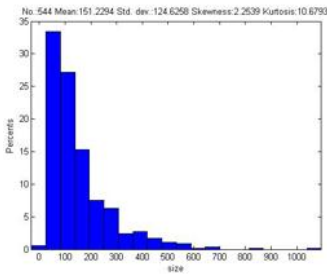
velikost zrn

osní poměr zrn

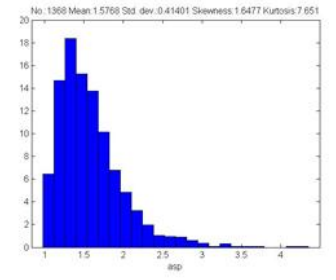
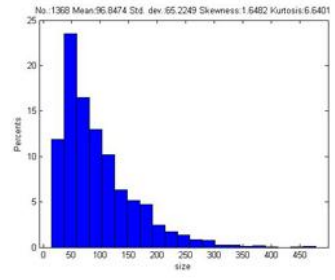
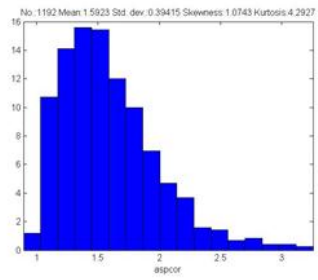
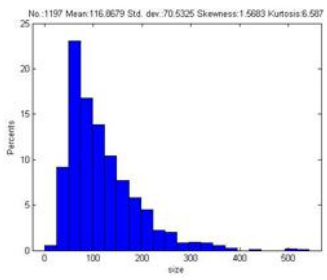
velikost zrn

osní poměr zrn

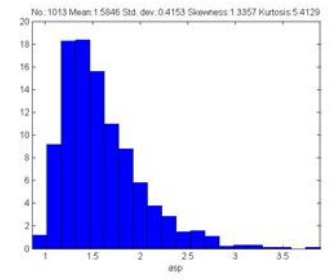
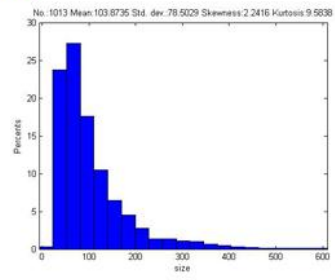
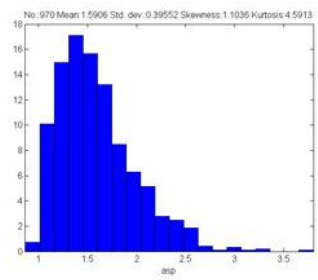
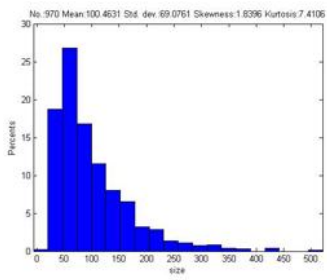
Dom 1



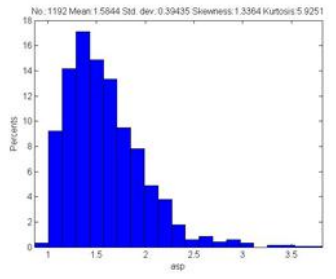
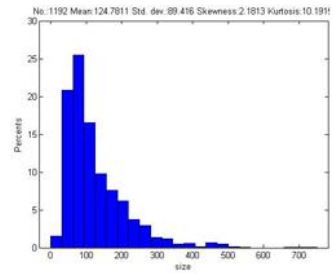
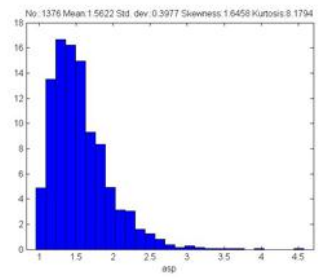
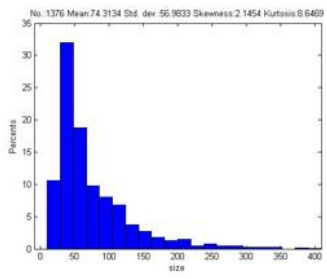
Dom 2



Dom 3



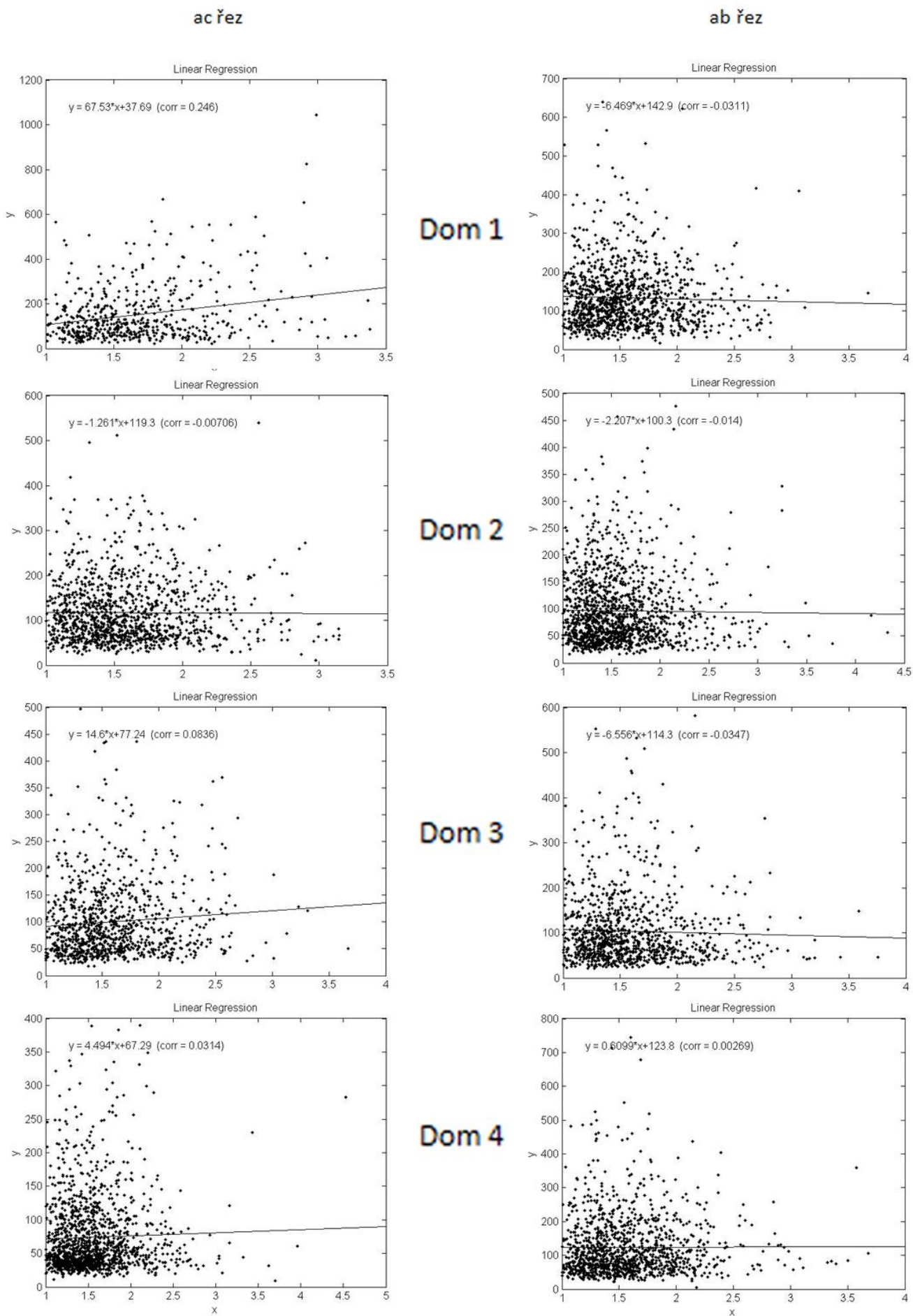
Dom 4



b)

		<u>min</u>	<u>mean</u>	<u>median</u>	<u>max</u>
dom1	<u>ac řez</u>	20,64	151,23	112,52	1044,20
	<u>ab řez</u>	15,93	132,80	115,06	639,12
dom2	<u>ac řez</u>	11,28	117,29	98,94	539,83
	<u>ab řez</u>	15,96	96,85	78,19	476,55
dom3	<u>ac řez</u>	17,67	100,46	79,63	496,85
	<u>ab řez</u>	21,06	103,87	79,81	581,84
dom4	<u>ac řez</u>	9,47	74,31	53,73	389,88
	<u>ab řez</u>	5,33	124,78	97,05	744,54
tenké žilky	ob1	14,31	67,14	54,29	302,95
	oc2	13,33	67,88	55,34	426,85
	<u>oi</u>	17,84	121,42	200,08	539,14

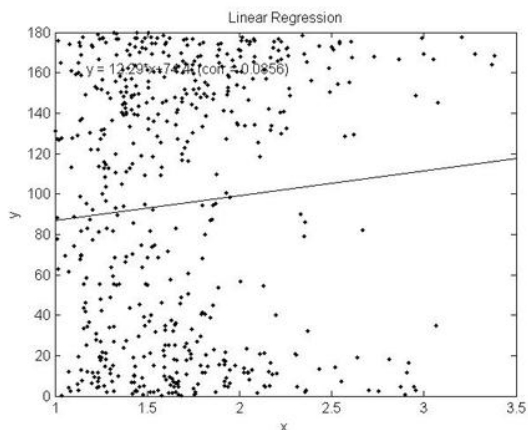
Obr. 40. a) Histogramy velikostí a osních poměrů zrn v doménách 1-4, b) tabulka minimálních, maximálních, středních hodnot (mean) a hodnot mediánu (median) velikostí zrn v silných žilkách (dom 1-4), tenkých žilkách (ob1 a oc2) a koncovém členu (oi)



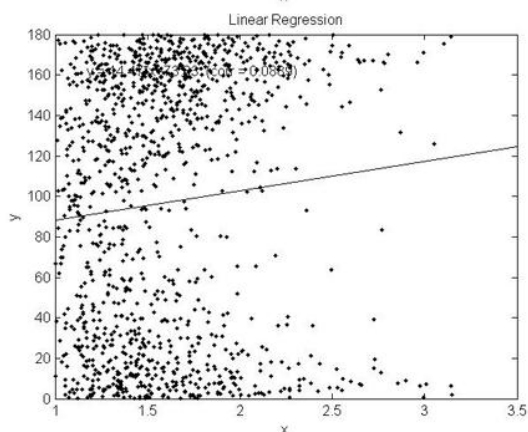
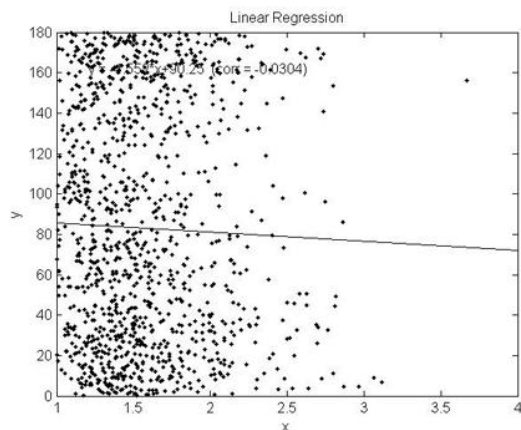
Obr. 41. Velikost zrn podle osního poměru zrn v doménách 1 - 4

ac řez

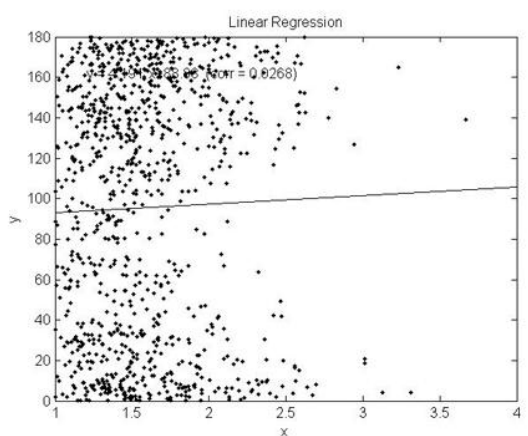
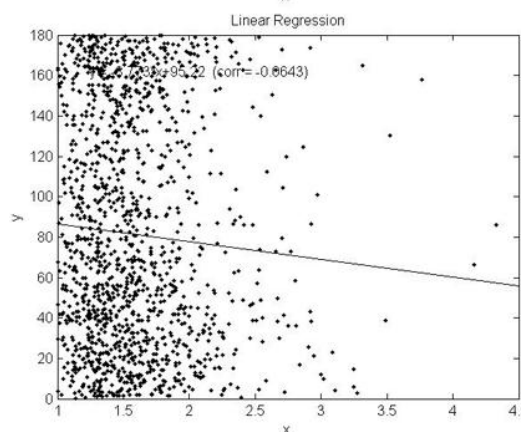
ab řez



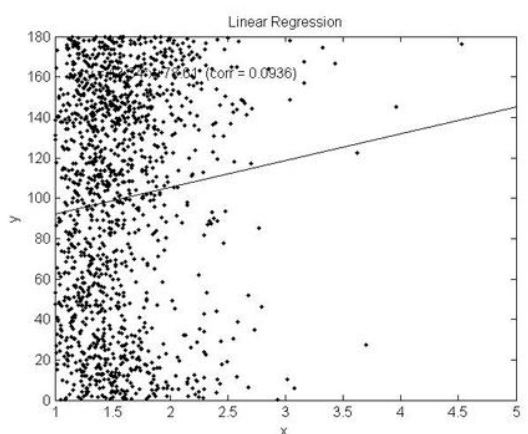
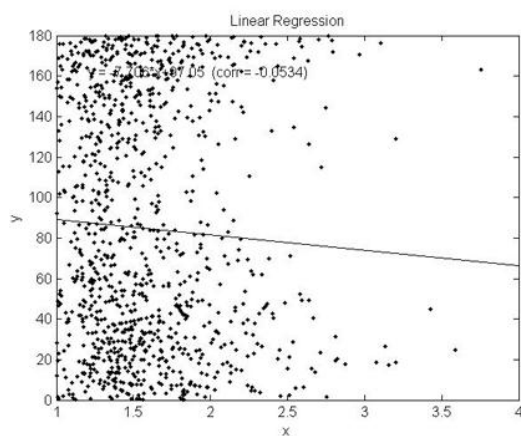
Dom 1



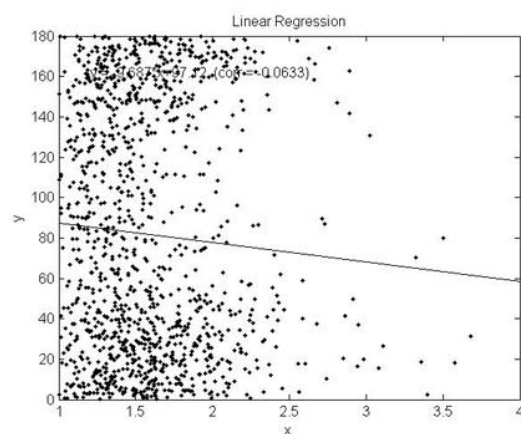
Dom 2



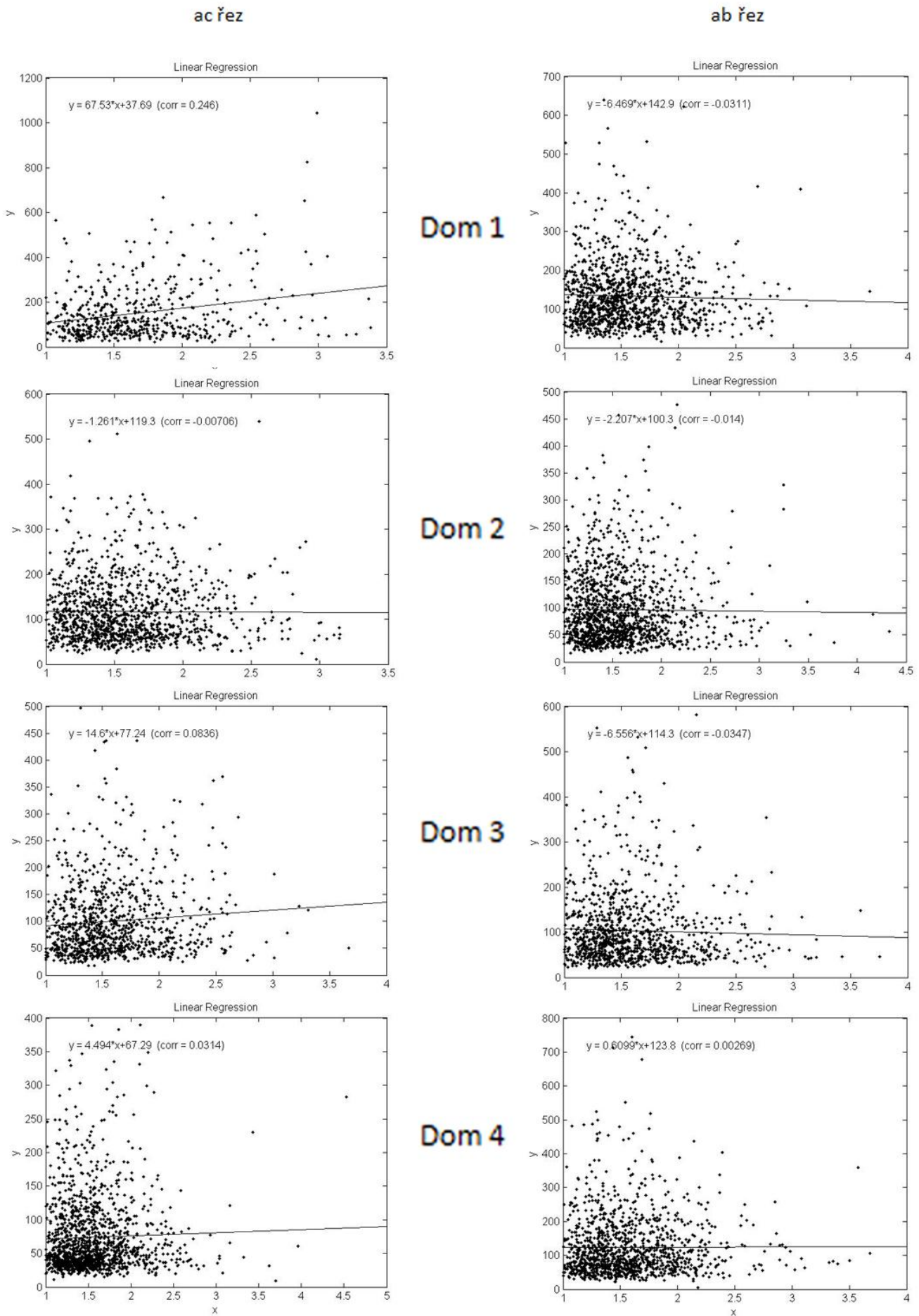
Dom 3



Dom 4

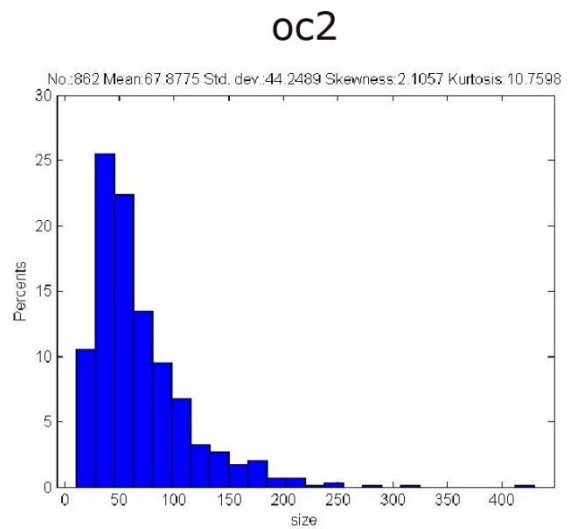
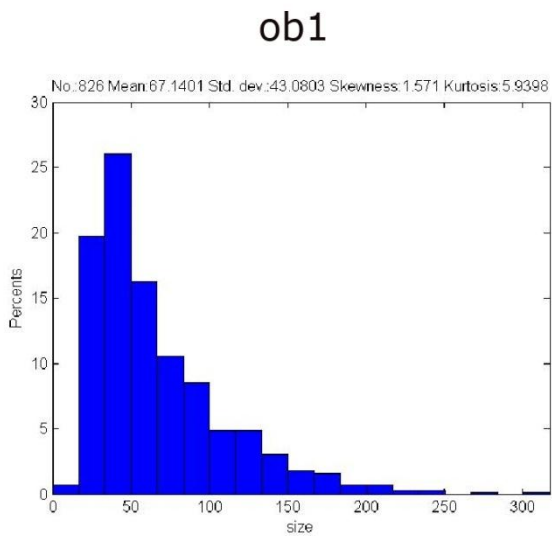


Obr. 42. Orientace dlouhých os zrn podle osního poměru zrn v doménách 1 - 4

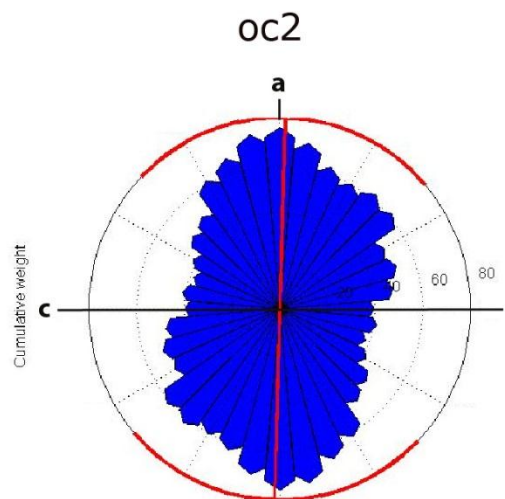
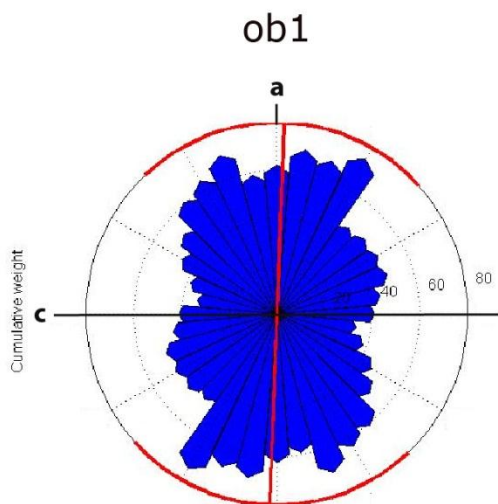


Obr. 43. Zakřivení hranic zrn podle osního poměru zrn v doménách 1 - 4





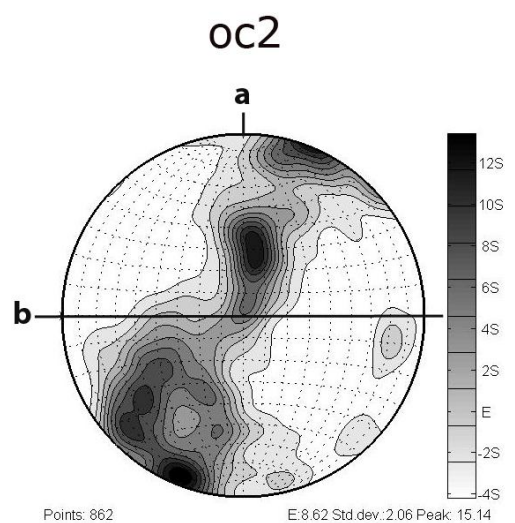
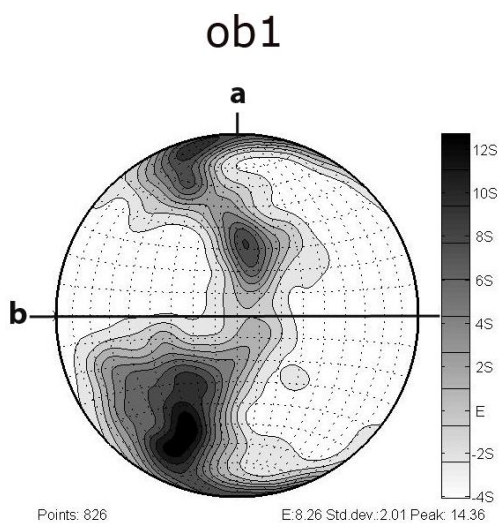
**Obr. 44.** Histogramy velikostí zrn ve vzorcích ob1 a oc2



Weighted axial data rose plot - MD: 2.2242 CSD: 45.6376 CV: 0.71886 p: 4.4329e-29 Z: 65.2859

Weighted axial data rose plot - MD: 1.5918 CSD: 47.8168 CV: 0.75167 p: 8.1877e-24 Z: 53.1594

**Obr. 45.** Tvarová přednostní orientace (SPO) vzorků ob1 a oc2, ac – plocha kolmá na vrásovou osu, b – vrásová osa



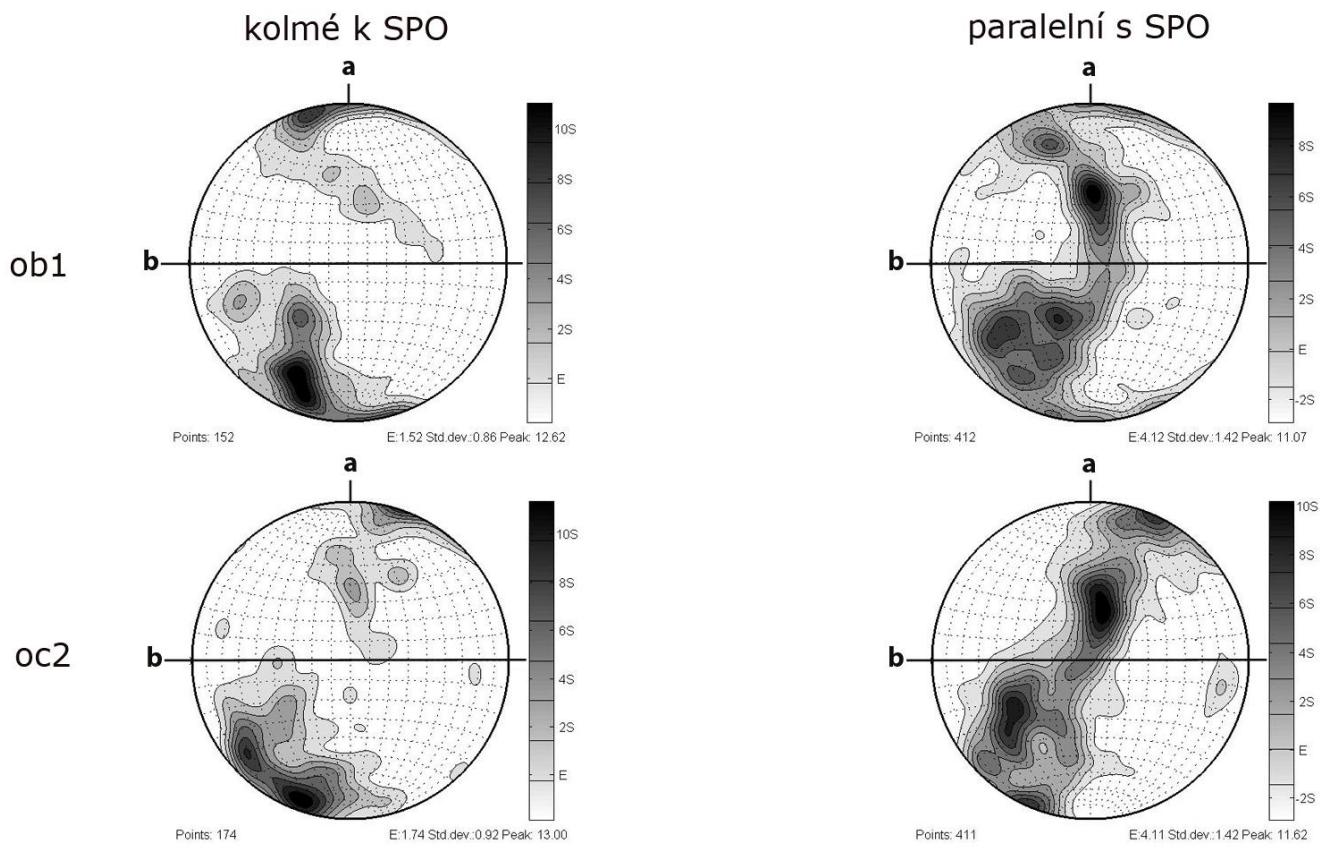
Points: 826

E: 8.26 Std.dev.: 2.01 Peak: 14.36

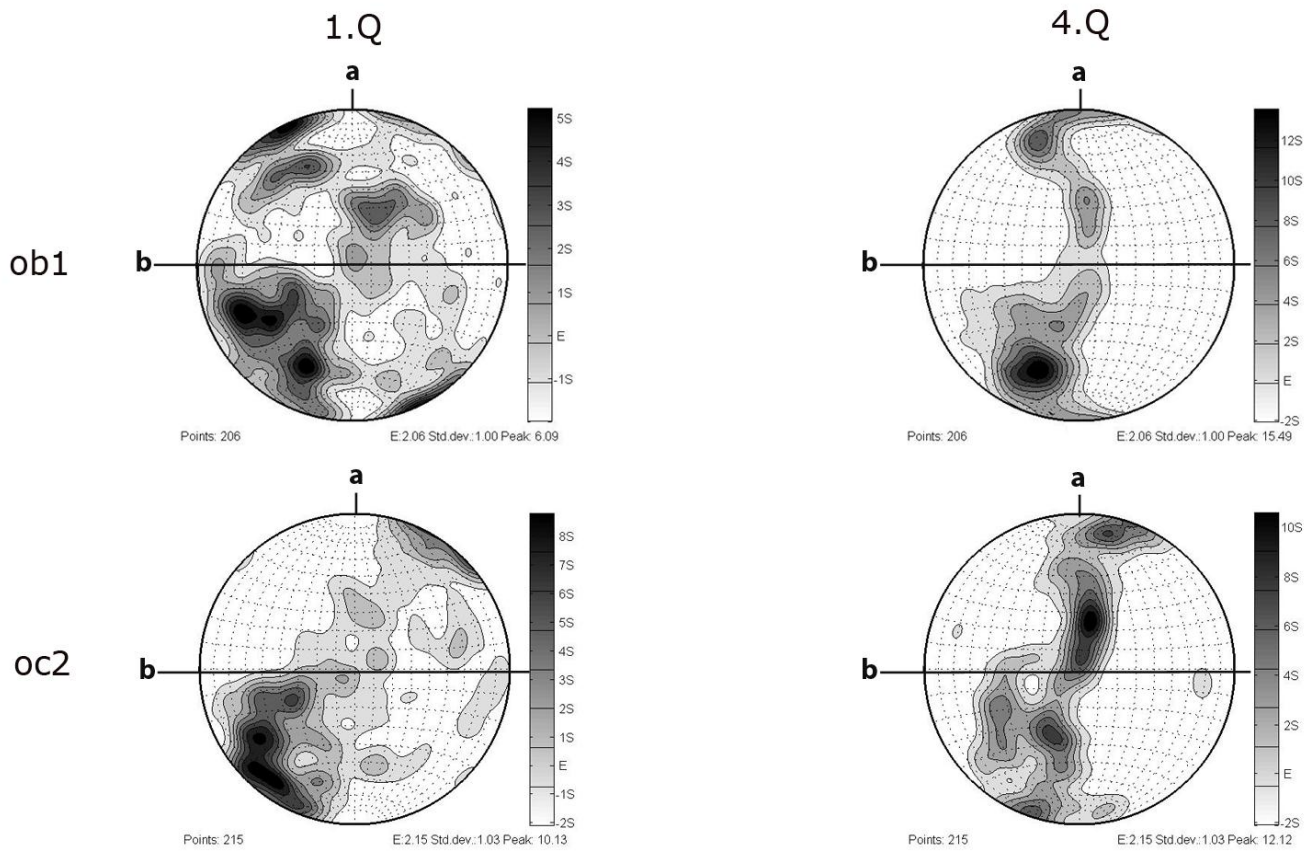
Points: 862

E: 8.62 Std.dev.: 2.06 Peak: 15.14

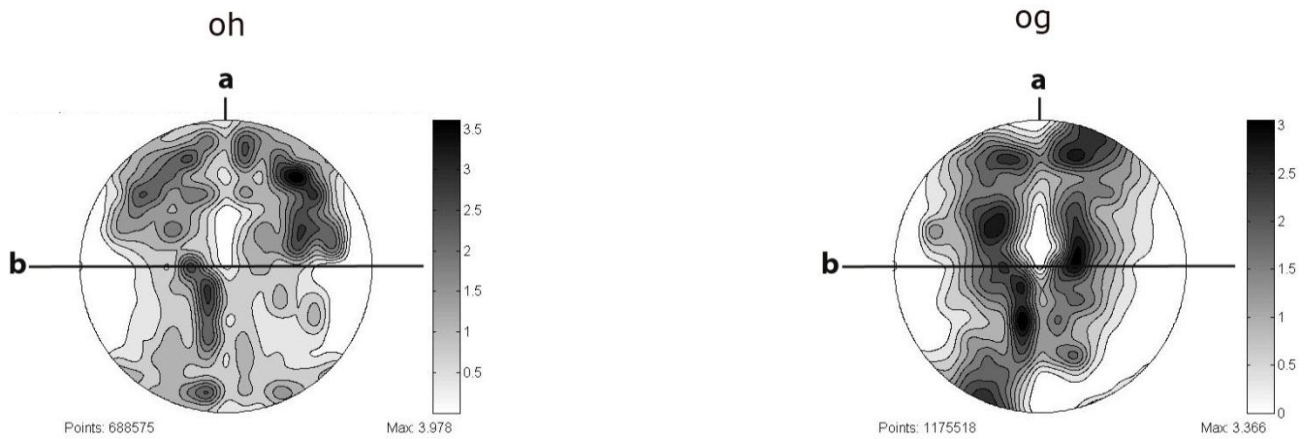
**Obr. 46.** Celková krystalová přednostní orientace (CPO) vzorků ob1 a oc2, ab – plocha osní roviny, b – vrásová osa, orientace c-os získaná z ac řezů byla rotována o 90° a zobrazena v rovině ab



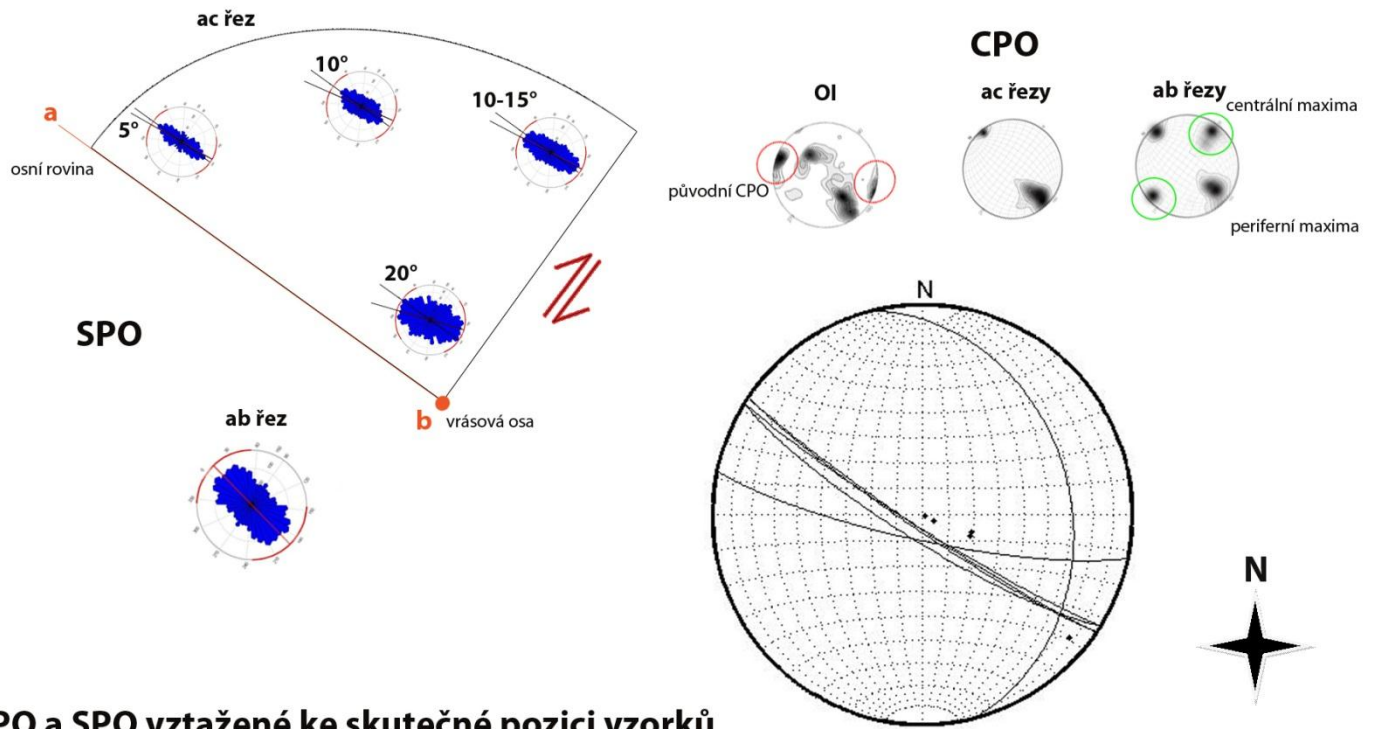
**Obr. 47. Krystalová přednostní orientace (CPO) zrn paralelních a kolmých k tvarové přednostní orientaci (SPO) ve vzorcích ob1 a oc2, ab – plocha osní roviny, b – vrásová osa, orientace c-os získaná z ac řezů byla rotována o 90° a zobrazena v rovině ab**



Obr. 48. Krystalová přednostní orientace (CPO) vzorků ob1 a oc2 podle velikosti zrn, 1Q – nejmenší zrna (1.kvartil), 4Q – největší zrna (4.kvartil), ab – plocha osní roviny, b – vrásová osa, orientace c-os získaná z ac řezů byla rotována o 90° a zobrazena v rovině ab



Obr. 49. Celková krystalová přednostní orientace (CPO) vzorků OH a OG, ab – plocha osní roviny, b – vrásová osa, orientace c-os získaná z ac řezů byla rotována o 90° a zobrazena v rovině ab



### CPO a SPO vztahované ke skutečné pozici vzorků

Obr. 50. Krystalová přednostní orientace (CPO) a tvarová přednostní orientace (SPO) zrn ve vzorku krkB vztahované ke skutečné pozici vzorků dle strukturálních měření vrásových os a osních rovin vrás S2 provedených v terénu (viz. stereografická projekce vpravo dole, obr.14), skica vlevo ukazuje rotaci SPO se směrem stříhu v řezu kolmém na vrásovou osu, CPO ab řezů je zobrazeno v rovině ac