Výzkum křehkého porušení melechovského masívu

Petr Rajlich

Obsah

ABSTRAKT **3**
ABSTRACT **4**
SEZNAM PŘÍLOH **5**
4.4.3. **1. ÚVOD 6**
4.4.4. **1.1 metodika 8**
4.4.5. **1.2 résumé Hlavních výsledků 9**
4.4.6. **1.3 TEKTONICKÝ STYL deformací 12**
Duktilní metamorfní stavba 12
Křehce duktilní smykové porušení 12
Pegmatitové žíly 16
Křehké porušení 19
4.4.7. **1.4 vztah rozpukání a geomorfologie 37**
4.4.8. **1.5 ANALÝZA SMĚRŮ NAPĚTÍ 40**
4.4.9. **1.6 DIskuse 44**
PROBLÉM GRANITTEKTONIKY v melechov-ském masívu 44
4.4.10. **1.7 PROBLÉM GENEZE GRANITOIDŮ melechov-ského masívu A KONCEPČNÍ MODEL vývoje 51**
4.4.11. **1.8 VYMEZENÍ OBLASTÍ NEjVĚTŠÍHO A NEJMEN-ŠÍHO ROZPUKÁNÍ 51**
4.4.12. **1.9 DOPORUČENÍ PRO DALŠÍ PRŮZKUM 53**
4.4.13. **1.10 Závěr 53**
4.4.14. **1.11 Literatura 55**

ABSTRAKT

Lipnická žula představuje podle terénního posouzení rekrystalizovaný a deformovaný nebulitický migmatit, postižený před hlavními etapami rozpukání ještě násunovýni střižnými zónami a rekrystalizací. Křehce duktilní zóny a metamorfní foliace jsou nejstaršími

deformačními projevy uvnitř tělesa melechovského masívu. Lipnický a koutský typ žuly jsou pronikány *pegmatitovými roji žil*. Tyto žíly o malé mocnosti (největší zjištěná mocnost ca 20 cm) jsou na jednotlivých studovaných lokalitách směrově a mocnostně stálé a to i na stometrové vzdálenosti. Mají tendenci upadat ploše pod malými úhly (10 – 30 stupňů) směrem do středu masívu, tj. na východní straně směrem na západ, na západní směrem na s. a sv. Jeví se jako jediný projev tzv. granitové tektoniky. Všechny *pukliny* s výjimkou přípovrchových exfoliačních puklin ca do hloubek max. 3 m, jsou projevy polyfázové tříštivé tektoniky v pevné žule. Pukliny nesou rysy klasického zlomového porušení v křehkém materiálu tj. Riedelovy střihy, ohlazy, pérové struktury, struktury rozdřípení. Překvapivá je regionální směrová stálost hlavních puklinových systémů. Jako směrově nejstálejší (v rámci načítacího okna 2 stupňů) se projevuje systém ZSZ – VJV. Směrová stálost zsz. – vjv. puklin potvrzuje naprosto dominantní vliv regionálního stressového pole na jejich vznik, převládajícího nad lokálním napětím. Ostatní regionální systémy představují směry SZ-JV, S – J, SSV – JJZ a SV – JZ. Byla zjištěna dobrá shoda rozpukání s lineamenty dálkového průzkumu a s morfologií. Interakce starších subhorizontálních puklin s mladšími vertikálními dokládá, že v případě melechovského masivu některé horizontální pukliny vznikly již v rané fázi křehkého porušení. Toto konstatování má významný dopad na interpretaci vzniku horizontálních puklin, které jsou autorem považovány za reakci homogenního tělesa na příčné stlačení.

ABSTRACT

Lipnice granite represents from the point of view of the field inspection a recrystallized, deformed and metamorphosed migmatite of the nebulitic type. Prior to fracturing by the main stages of joints and fractures formation, it was deformed by the subhorizontal thrust and normal fault brittle-ductile shear zones. Lipnice nad Kouty granites are penetrated by the swarms of the pegmatite directionally stable sheet dykes of the smaller thickness up to 20 cm. Their dip is in the eastern part towards West and in the western part towards East and they are probably related to the younger Central intrusion of the Melechov massif. They are the only granite intrusion related fractures. All the joints and fractures were created in the polyphase younger brittle tectonics. They display plumose, feather and Riedel structures, striations. The regional systematic joint sets are directionally stable providing strong evidence for the prevalence of the regional stress field over the local one. The most constant from this point of view are WNW – ESE fractures. The other regional systems are NW-SE, N – S, NNE – SSW and NE – SW directions. The single fracture sets correlate well with the photolineaments and with the directions readable from the topography. The interaction between the subhorizontal and vertical joints testify for their earlier origin, they were rejuvenated during the later stages of fracturing. The vertical joints can be on the horizontal fractures branched vertically upwards.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Strukturní mapa oblasti v měřítku 1: 25 000

Příloha 2 Diagramy měření puklin na jednotlivých lokalitách (obr. 1 – 53)

Příloha 3 Vyhodnocení diagramů paleonapětí (1- 16)

Příloha 3 Dokumentační deník provedených měření pro jednotlivé lokality

1. ÚVOD

V období od 19. září 2000 do 30. 4. 2001 bylo prováděno měření a studium křehkého porušení melechovského masívu podle zadání úkolu ve znění „Strukturně-geologické mapování pro lokalizaci testovacích polygonů v oblasti melechovského masivu“. K současnému datu bylo proměřeno a vyhodnoceno celkem 53 lokalit (tab.1), tj.větších a menších lomů, zářezů silnic a tratí, přirozených odkryvů. Celkem bylo získáno 3000 měření puklin, rýhovaných puklin, zlomů a pegmatitových žil.

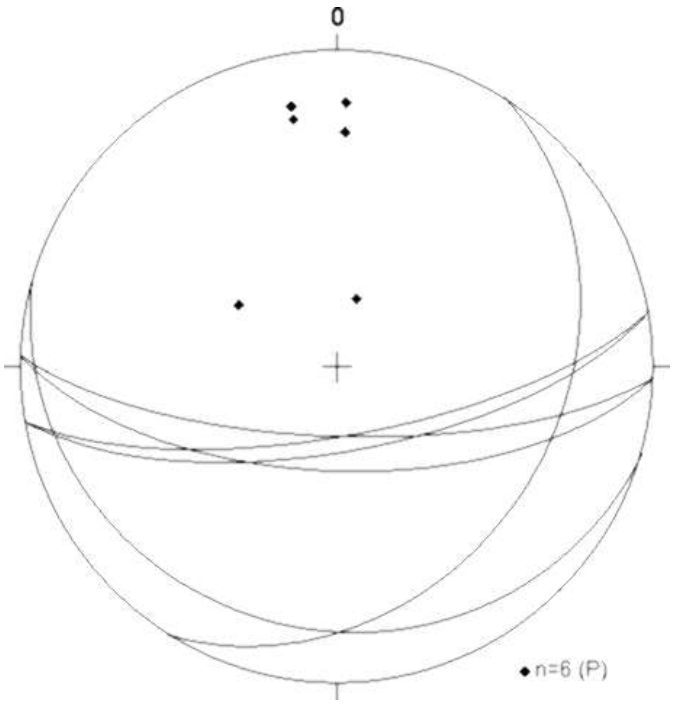
Tab. 1 Seznam měřených lokalit s počty měření

Počet	Lokalita	Počet měření	Lokalita
6	8-lůmekPusté Lhotsko(A)	110	17-Lipnice – hrad
17	9-Bystrá(B)	107	18-Lipnice výchozy mezi
12	10-Krejčová(C)	32	20-Holý vrch
6	11Záběhlice-lomna	63	19- Lom Trojka
14	12-Záběhlice(E)	165	22- Lom Pětka
40	13-Záběhlice(F)	41	21-Soukrpomý lom
44	14-Loukov(G)	40	23-Lom, z. svah Holého
28	15-Meziklasímenší	45	24-Lom, z. svah Holého
38	16-Meziklasí - lom	17	25-kamenické učiliště
9	44-Vilémovec 1. lom	21	26-Pusté Lhotsko
21	45-Vilémovec 2. lom	50	27-Bilantova Lhota – zářez
6	46-Vilémovec 3. lom	10	28-Bilantova Lhota
21	47-Vilémovec 4. lom	22	29-Kamenná Lhota-
23	48-	151	30-Kamenná Lhota
48	49.Radostovice-B.Lhota	61	31-Radostovice
30	50.Vršek u Volichova	57	32-malý lom z. od Březku
49	51-K.Trouba/1	197	53-Březek
93	52-K.Trouba /2	138	43-zářez silnice u Dolního
47	1-zahyb drahy u k.Stvoř	192	33-Horka u Březinky
34	2-Stvořidla	158	7-kapličkaz.Sv.nad Sázavou
62	3-Lom p. Leštinou	42	34-Horní Paseka
190	4-Lom naproti stav.Světlá	166	35-Podivice
18	5-smrčná	45	40-1.lom v. od Březka
82	7-zářez trati jv.Světlé	10	41-2,lom v. od Březka
9	36-Podivický vrch	123	42-2.lom u pětky
			3.lom u pětky

Měření byla zpracována do růžicových diagramů, pólových diagramů a diagramů velkých oblouků. Rýhované zlomy byly vyhodnoceny na orientaci napětí. Měření puklin a data z dálkového průzkumu byla vyhodnocena v tektonické mapě 1:25 000. Studované lokality se nacházejí v katastrech obcí Dolní Město, Kamenná Lhota, Kejžlice, Kouty, Ledeč nad Sázavou, Lipnice nad Sázavou, Světlá nad Sázavou, Meziklasí, Bystrá, Radostovice, Volichov, -Vilémovec, Podivice, Bilantova, Broumova Lhota, Březinka.

Obr. 1 Výrazná metamorfní foliace nebulitického migmatitu, tzv. Lipnického granitu s nestrávenými zbytky biotitu, řez XZ deformačního elipsoidu. Obsah Th na této lokalitě je 46 ppm.

Obr. 2 Hladký rovinný průběh vertikálních puklin, ve svrchní části bez ohledu na starší křehce duktilní smykové zóny. Většina puklin končí ve spodní části na stejné úrovní jedné smykové zóny. U těchto smykových zón nebyl z důvodů pozdějších pochodů (rekrystalizace aj.) zjištěn směr pohybu. Lipnice - amfiteátr



Obr. 3 Foliace v nebulitických migmatitech -starý hřbitov (vodárenská věž) v Lipnici nad Sázavou

1.1 METODIKA

Hlavní úkol byl vytýčen jako statistická směrová a dynamická analýza puklin a rýhovaných zlomů s výstupem, který by určil četnost a hustotu jednotlivých systémů puklin, jejich dynamické charakteristiky tj. směry a počty paleonapětí v jednotlivých lokalitách spolu s. regionální syntézou. Dalším záměrem bylo určení reaktivace předintruzivních zlomů a jejich vliv na rozpukání masívu. K tomuto účelu byla zamýšlena mapová syntéza okolí a vnitřních částí masívu, prověření zlomových indikací podle geofyzikálních metod a určených podle metod dálkového průzkumu masívu jako reálných zlomů v místech dostupných výchozů a sestavení reálné strukturní mapy-schématu nejbližšího okolí masívu. V rámci určení intruzívní tektoniky bylo předpokládáno vizuální určení směrů proudění magmatu, palinspastických struktur a puklin LQS.

Byla prováděna fotografická dokumentace důležitých strukturních prvků, vyhodnocovány časové vztahy puklin. Na každé lokalitě byly změřeny **všechny** zastoupené a k měření dostupné pukliny. Základní měření byla převedena do tabulek programu Excel, měření prováděná kompasem jako směry a sklony a smysly sklonu byla pomocí makra přepočítána na směry spádnic. Celkem bylo proměřeno přes 3000 strukturních prvků, tj. puklin, menších zlomů s rýhováním, pegmatitových žil. Snahou statistického šetření puklin bylo zajistit maximální možné plošné pokrytí území a měřením sousedních lomů zjistit lokální variabilitu mezi sblíženými lokalitami. Měření prováděná pro paleonapěťovou analýzu byla v terénu většinou zjišťována jako směry a sklony ploch se smysly sklonu a jako úklon rýhování v ploše měřený od horizontály s určením smyslu upadání. Pomocí Excel makra byly tyto prvky jednak vybírány automaticky ze souboru měření a dopočítáván směr a sklon lineací. Soubory rýhovaných zlomů byly vyhodnocovány metodou F.J.Turnera, (1955) a to hlavně z důvodů průhlednosti metody a tudíž jednoznačného zhodnocení výsledků. Souhrnný diagram většinou nekompatibilních rýhování – lineací byl vyhodnocován v Hoeppenerově diagramu (Hoeppener, 1955) a nekompatibilní lineace rozděleny ručně do jednotlivých pravděpodobně i časově odlišných etap. Výsledné napětí pro jednotlivé fáze bylo zobrazeno způsobem, jak je to

běžné v seismologii jako pole komprese (černě) a dilatace (bíle)- orientace hlavního napětí (Ramsay, Huber, 1987).

Měření byla dále průběžně vyhodnocována různým softwarem jako diagramy pólů puklin, diagramy pólů puklin s izoliniemi hustoty, směrové růžice a diagramy s puklinami vynesenými jako velké oblouky. Výsledky byly v této etapě porovnány s lineamenty z mapy radarového snímkování 1:100 000, systému TOROS z roku 1986, a s lineamenty odvozenými podle stínovaných map reliéfu a Bouguerových anomálií v měřítku 1:100 000, Šrámek a kol. (1996).

Účelem statistického zpracování bylo dále vyčlenit hlavní regionální systémy puklin, jejich zastoupení na jednotlivých lokalitách a oblastí s hlavním zastoupením jednotlivých systémů vyznačeným v mapě 1:25 000. Při terénních pochůzkách byl vizuálně hodnocen stupeň rozpukání hornin s cílem určení zákonitostí, které by byly využitelné pro vymezení oblastí s menším porušením vhodných pro vybudování hlubinného úložiště. Výše uvedená metodika byla v průběhu prací upřesňována a přizpůsobována potřebě zpracování lokality a je tímto způsobem originální pro podmínky, se kterými se budeme setkávat v Českém masívu.

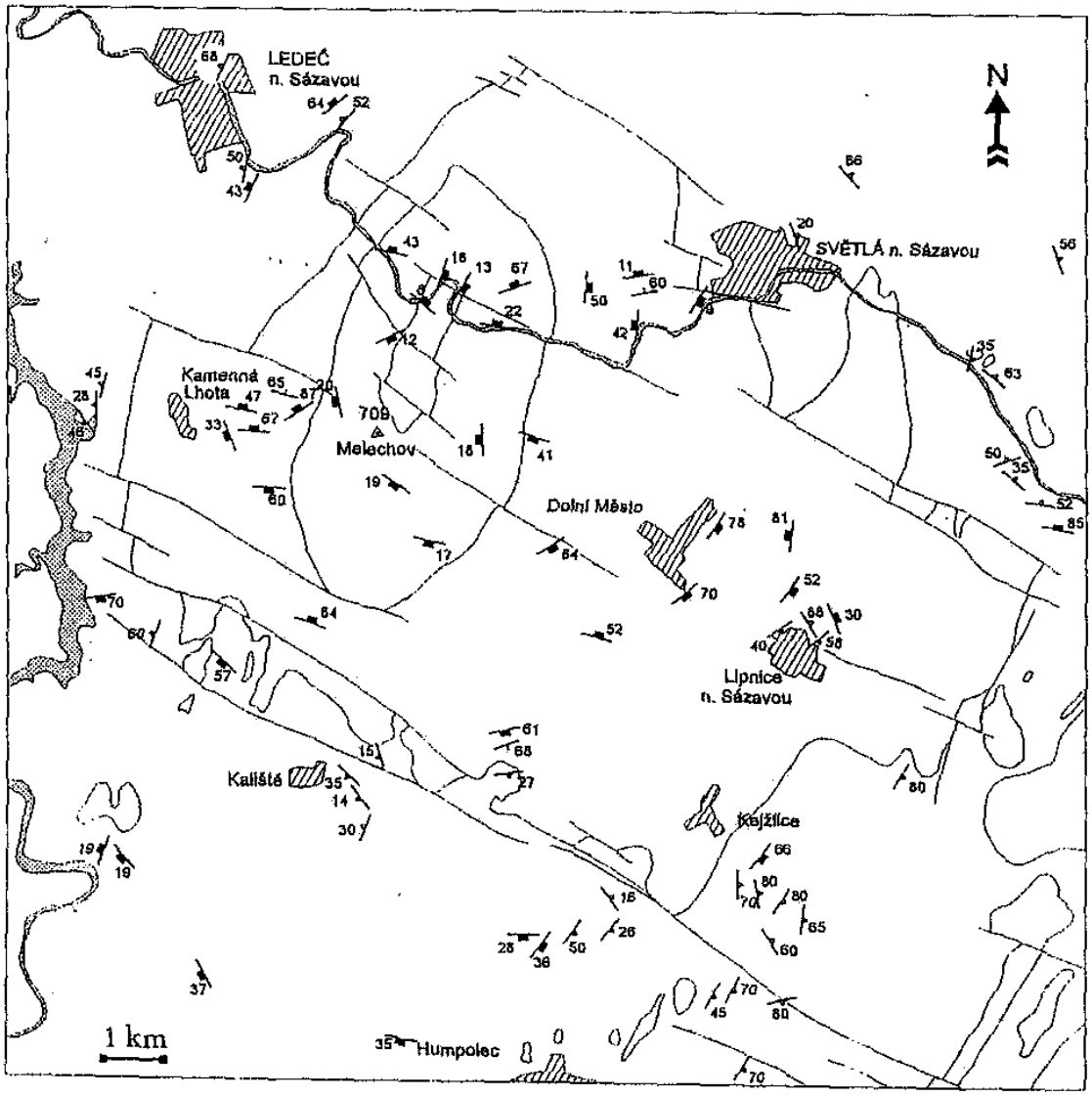
Výsledky jsou prezentovány tak, aby bylo možné kdykoliv navázat na předchozí etapu a aby bylo možné doplnit uskutečněná měření, protože v této fázi se z časových a klimatických důvodů nepodařilo proměřit všechny lokality.

1.2 RÉSUMÉ HLAVNÍCH VÝSLEDKŮ

Pro posuzování křehkého porušení území je základním výsledkem konstatování, že tzv. Lipnická žula se jeví podle terénního posouzení jako rekrystalizovaný a deformovaný nebulitický migmatit (obr. 1), postižený před hlavními etapami rozpukání ještě násunovýni křehce-duktilními střižnými zónami a rekrystalizací. Typovou lokalitou jsou výchozy mezi hřbitovy v Lipnici, kde je jednoznačně vyvinuta původní metamorfní foliace hornin a dále na sever pod hradem křehce duktilní zóny, které ji porušují. Křehce duktilní zóny a metamorfní foliace jsou nejstaršími deformačními projevy uvnitř tělesa melechovského masívu. Jejich přítomnost je jedním z hlavních argumentů pro dynamickou interpretaci rozpukání a vyloučení veškerých vlivů tzv. granitové tektoniky na vznik puklin.

Lipnický a koutský typ žuly jsou pronikány *pegmatitovými roji žil*. Tyto žíly o malé mocnosti (největší zjištěná mocnost ca 20 cm), jsou na jednotlivých studovaných lokalitách směrově a mocnostně stálé a to i na stometrové vzdálenosti (lom Březek). Podle dosavadních pozorování mají tendenci upadat ploše pod malými úhly (10 – 30 stupňů) směrem do středu masívu, tj. na východní straně směrem na západ, na západní směr na s. a sv. Z tohoto hlediska se jeví jako jediný projev tzv. granitové tektoniky připodobitelný k okrajovým pegmatitovým žilám studovaným Cloosem v nevadské žule. Ty se většinou vyskytují v periferních oblastech žulových masívů. Z tohoto hlediska jsou možným doprovodným jevem intruze mladší žuly centrální části melechovského masívu tj. vlastního melechovského typu, do původních migmatitů lipnické žuly a granitů koutského typu.

Všechny ostatní *pukliny* s výjimkou přípovrchových exfoliačních puklin ca do hloubek max. 3 m, jsou projevy tříštivé tektoniky v pevné žule. Pukliny nesou rysy klasického zlomového porušení v křehkém materiálu, tj. Riedelovy střihy, ohlazy, struktury rozdřípení (Hodgson, 1961). Porušují starší stavbu migmatitu v Lipnici. V těchto místech mají např. ve vertikálním profilu (obr. 2) naprosto rovinný průběh bez ohledu na starší křehce – střižné porušení hornin a jejich foliaci.



dominantní foliace v moldanubických metamorfitech

magmatická foliace v granitech

foliace AMS

Obr. 4 Foliace magnetické anizotropie v horninách oblasti, podle Mrázové in Procházka et al. 1998. Viz souhlas v. – z. směrů v plášťových horninách a uvnitř granitoidních terénů

Obr. 5 Křehce duktilní smykové zóny lásenického typu pod hradem v Lipnici. Foliační ryby ukazují jak násunovou, tak i poklesovou komponentu

Obr. 6 Detail starších násunových foliačních ryb ohnutých podél mladších poklesů. Amfiteátr pod hradem v Lipnici

Překvapivá je regionální směrová stálost hlavních puklinových systémů viz dále. Jako směrově nejstálejší (v rámci načítacího okna 2 stupňů) se jeví systém ZSZ – VJV. To vyplývá jak z celkového diagramu, tak i z diagramů jednotlivých lokalit rozptýlených po celé oblasti (obr. 19,20,21). Směrová stálost puklin zsz. – vjv. puklin potvrzuje naprosto dominantní vliv regionálního stressového pole na jejich vznik, převládajícího nad lokálním napětím.

Další důležité zjištění je interakce starších subhorizontálních puklin s mladšími vertikálními. Vertikální pukliny se na starších subhorizontálních rozvětvují podobně jako zlomy v pokusech s horizontálními posuny nad zlomy fundamentu. Toto konstatování má významný dopad na interpretaci vzniku horizontálních puklin, které jsou autorem považovány za reakci homogenního tělesa na příčné stlačení. Uvedený jev rovněž dokládá, že v případě melechovského masivu některé horizontální pukliny vznikly již v rané fázi křehkého porušení.

1.3 TEKTONICKÝ STYL DEFORMACÍ

Duktilní metamorfní stavba

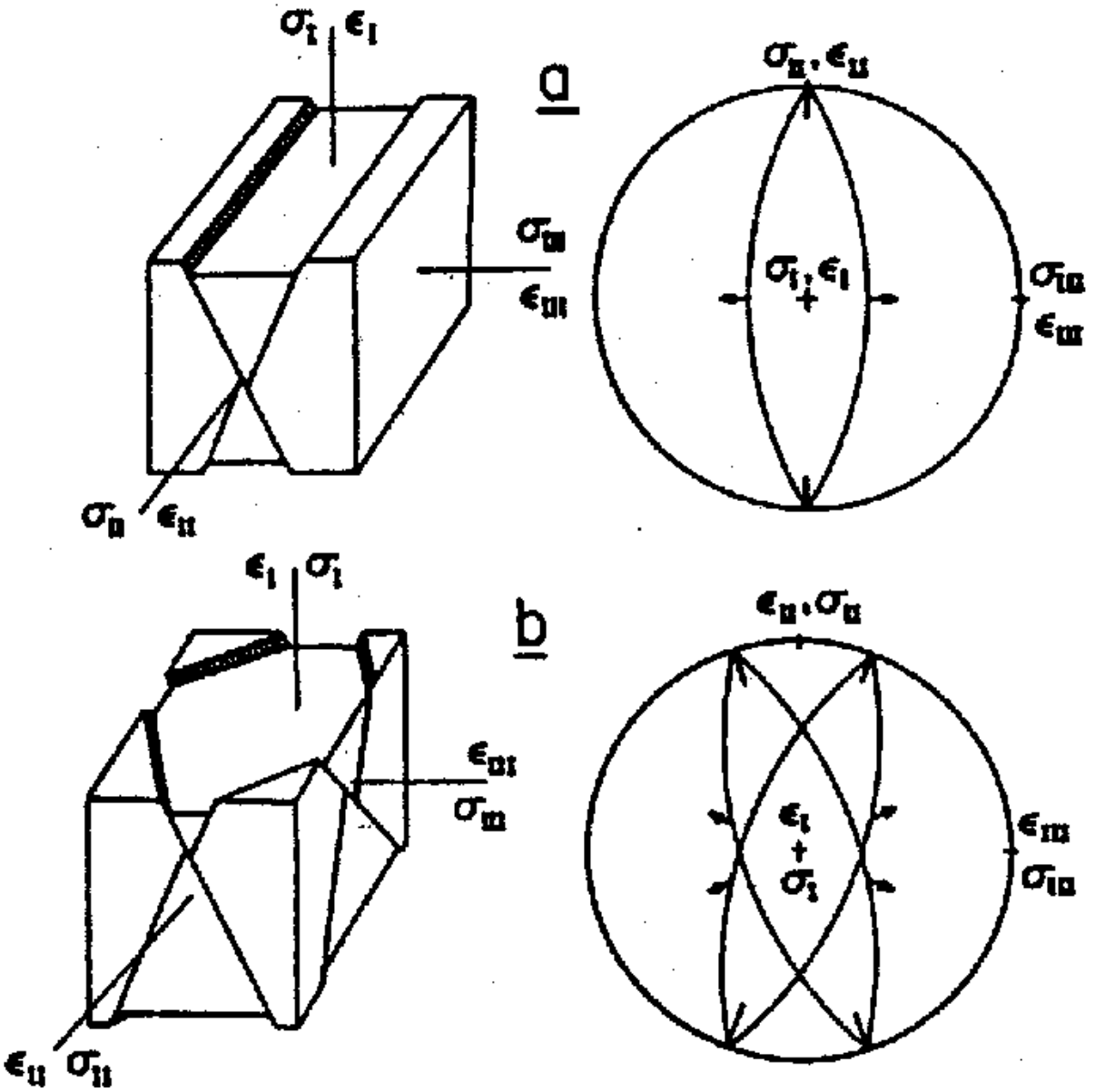
Duktilní metamorfní stavbu vykazují výchozy nebulitických migmatitů mezi hřbitovy v Lipnici nad Sázavou. Výrazné je usměrnění biotitů a protažení křemene a živce do směrů foliace. Foliace je rovnoběžná s řídkými pásky nestrávených shluků biotitu (obr. 1). Stavba vykazuje výrazné rysy symetrie deformačního elipsoidu, XYZ. Foliace má směr V-Z a strmý úklon 60 – 80 stupňů k S. (obr. 3). Tento směr je shodný s lokalitami v okolí Pustého Lhotska v lipnické „žule“ a v jejím plášti a s lokalitami jv. od Světlé nad Sázavou v plášti koutského typu se zjištěnými směry usměrnění pomocí ASM (obr. 4).

Křehce duktilní smykové porušení

Křehce duktilní smykové zóny postihují výchozy lipnického granitoidu na lokalitách v Lipnici. Jsou omezeny na výchozy pod hradem a na okolí silnice směrem na Dolní Město. Podle náznaků foliačních ryb (obr. 5, 6) se jedná o násuny a poklesy. Protínané uzavřeniny ukazují pouze minimální pohyb na smykových plochách (obr. 8).

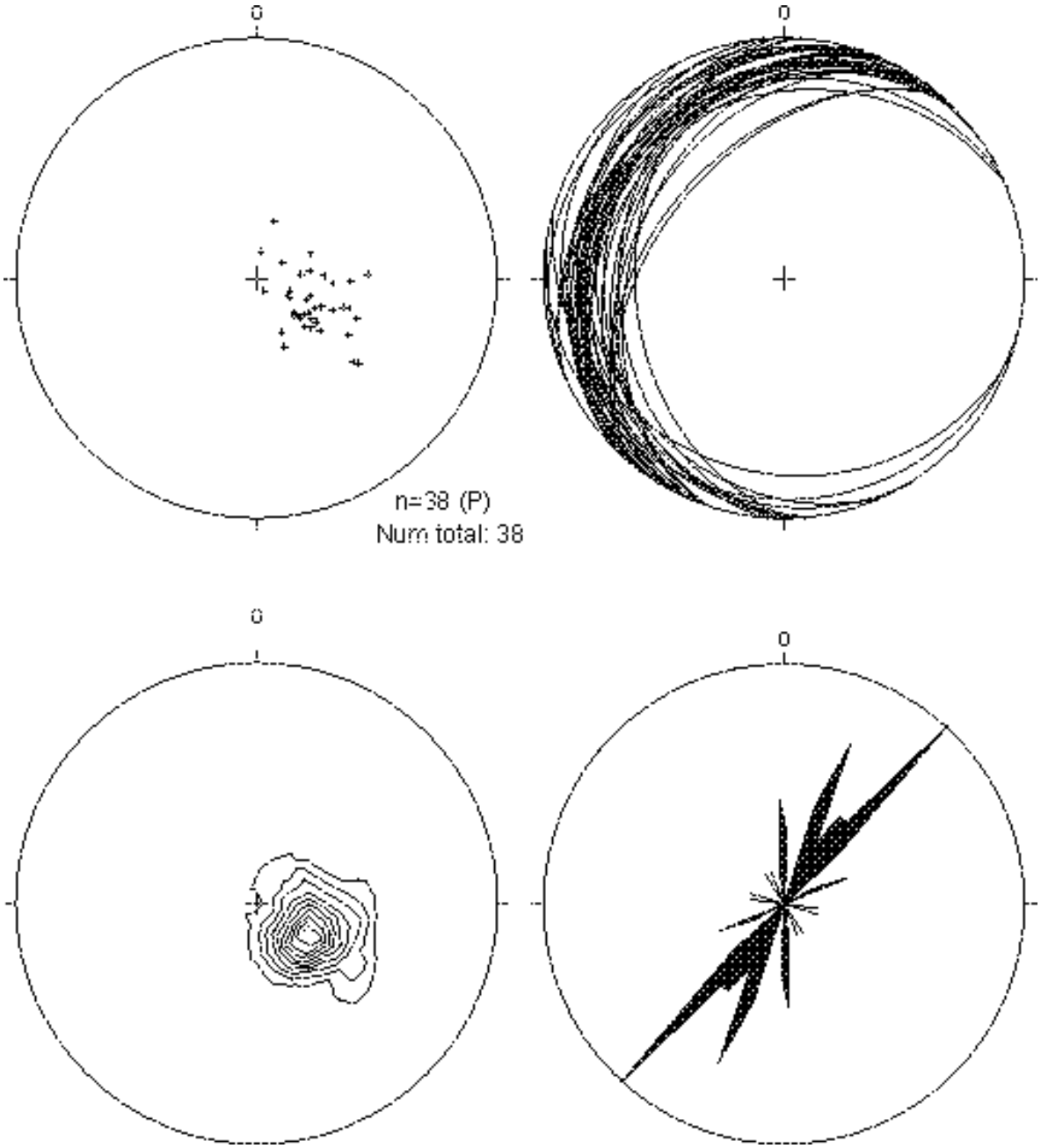
Hlavní směr smykových zón je SV – JZ a upadají ploše pod úhlem ca 20 stupňů k SZ, obr. 9. Smykové zóny připomínají obdobné struktury studované Klečkou a Rajlichem (1984) v Lásenické žule.

Všeobecně deformační stavba granitů vzniká ať již přetvořením v pozdních stádiích tuhnutí magmatu nebo naloženou duktilní deformací za metamorfózy. Uspořádání puklin pro tento případ se pokouší řešit model Rechese (1978,1983), (obr. 7), in Schulmann et al.(1998). Podle tohoto modelu orientace puklin závisí na lokálním deformačním elipsoidu. Model bude platný ale pouze pro křehce – duktilní deformaci, kdy může dojít jak k plastickému přetvoření horniny, tak i ke křehkému porušení. Křehké porušení probíhá za jiných (dále uvedených) zákonitostí. Podle zkušeností z deformační analýzy např. batolitu Chindamora, Ramsay, Huber (1987) lze předpokládat i silnou lokální variaci deformačních elipsoidů a tudíž i silnou směrovou variaci puklin, které *nebudou vytvářet regionální systém*. Pro Melechovský masív s prokázanou směrovou stabilitou hlavních puklinových systémů a se silnou lokální variabilitou souřadnic metamorfně – magmatického toku je tento model nevyhovující.

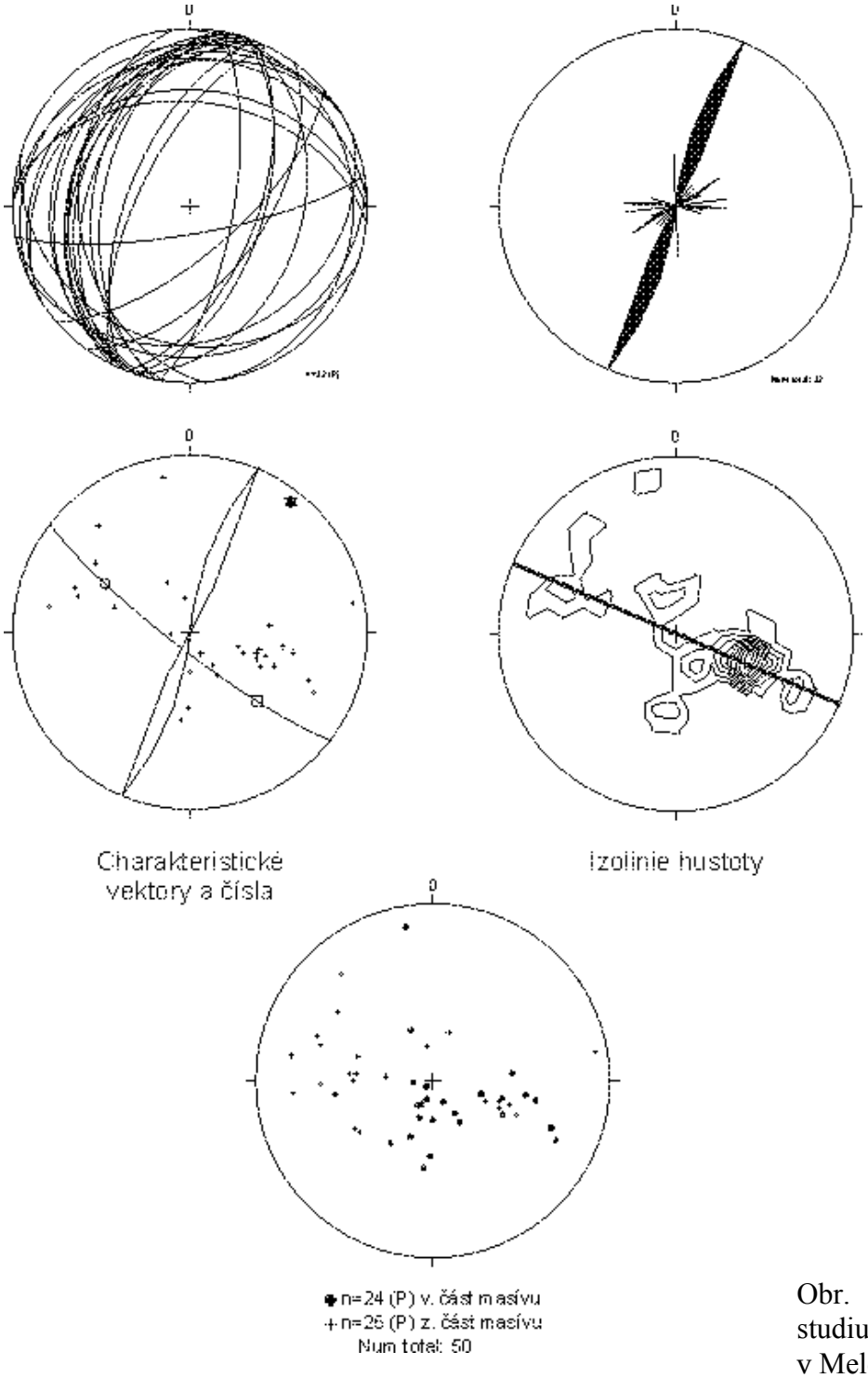


Obr. 7 Předpoklad orientace puklin vzniklých při křehce duktilním porušení hornin podle Rechese (1978, 1983). Pukliny tohoto typu nebyly v oblasti melechovského masívu zaznamenány

Obr. 8 Uzavřeniny migmatitizovaných pararul protínané křehce duktilními smykovými zónami vykazují jen malé posunutí. Výchozy pod hradem v Lipnici



Obr. 9 Směrová statistika křehce-duktilních smykových zón v lipnické žule. Lipnice nad Sázavou. U těchto smykových zón není uchována lineace, která by dovolovala určit vektor pohybu.



Obr. 10 Statistické studium pegmatitů v Melechovském masívu

Pegmatitové žíly

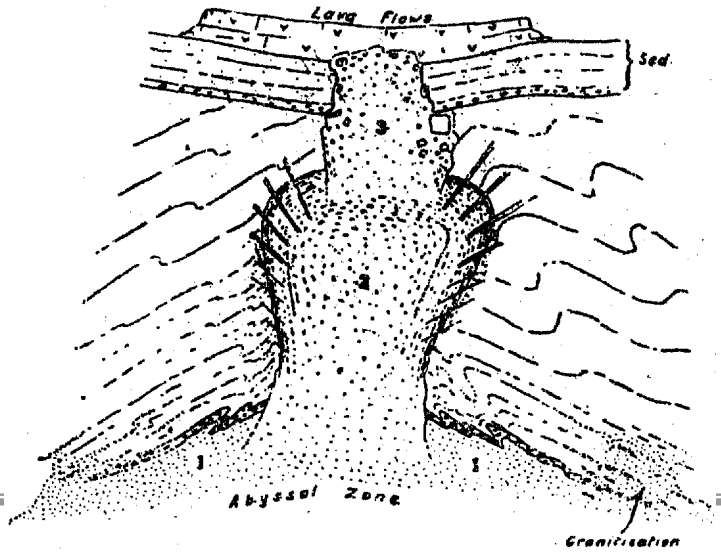
Samostatně byly studovány pegmatitové žíly. V rámci jedné žíly na lokalitě vykazují velkou směrovou stálost přesahující rozměry často i několika hektarů. Příkladem je samostatná žíla

pegmatitu ve střední části lomu Březek. Úklony žil jsou většinou ploché ca 20 – 40 stupňů, vzácněji jsou strmější. Jejich hlavní směr je SSV-JJZ, obr. 10. Vyskytují se v lipnickém granitoidu a v koutecké žule. Ve v. části území upadají statisticky směrem k Z, v z. části směrem k V. Převažující směr je SSV.-JJZ. Na východní straně jsou ploše ukloněny k Z, na Z straně k V. Na jednotlivých lokalitách jsou značně směrově a sklonově stálé i při malé mocnosti.

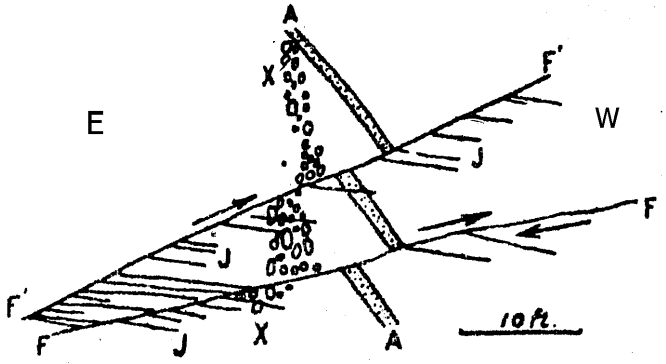
Obr. 11 Asymetrické struktury v pegmatitu, (napojení žil) ukazuje na pokles z části směrem k V. Lom Podivice

Asymetrické struktury, ukazují místy na pokles centrální oblasti (obr. 11). Asymetrické struktury v pegmatitových žilách indikují násun, na lokalitě č. 35 (Podivice).

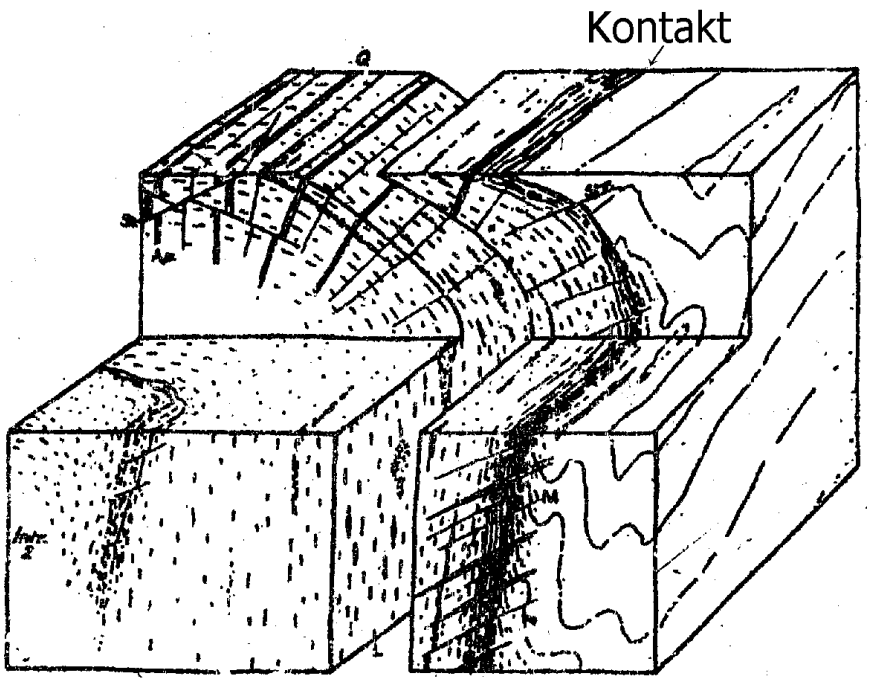
Můžeme je považovat za projev granitové tektoniky ve smyslu, jak byly popsány H. Cloosem (1932), z Nevadské žuly kde pronikají do násunových zlomů na okraji žulového tělesa. S pohybem magmatu souvisí v tomto případě tvorba puklin typu R (Randűberschiebungen, obr. 12,13,14) na svislých kontaktech plutonů.



Obr. 12 Hloubkové vztahy plutonických intruzí, Cloos, Hills (1943), 1 – abysální palingenetická zóna s migmatitizací, 2 – prostřední zóna s projevy intruzivní tektoniky, 3 – svrchní zóna s dominantními projevy rozpukání, odlamování a rannými vulkanity, do kterých těleso proniká



Obr. 13 Okrajové násuny (F, F´) směrem k západnímu kontaktu batolitu Sierry Nevady, Closs (1932)



Obr. 14 Blokdiagram části batolitu s dodatečnou intruzí podél foliačních ploch, M – okrajové násuny s injikovanými aplity, F – tokové plochy a foliace, L – lineární tokové struktury, Q – příčné pukliny, některé s injikovanými aplity. V okolních horninách je břidličnatost rovnoběžná s kontaktem, vrásy upadají směrem od intruze (Hills, 1943)

Křehké porušení

Pukliny jsou většinou hladké, rovné, vytváří svazky – zvláště systém ssz. –jjv. (obr. 5,15). Velikost kolísá od cm až do hektarových rozměrů. Pérové struktury (obr. 16) a struktury rozdřípení (obr. 17) popřípadě zátrhy Riedelových střihů (obr. 18), jsou spíše výjimečné. Četnější jsou v oblasti Kamenná Lhota, H. Paseka, zřídka jsou zakřivené. V lomu Horka u Březinky jsou na puklinách viditelné jamky ukazující na původní přítomnost zátrhů a struktur rozdřípení zahlazené pozdějšími pohyby (obr. 19). V této lokalitě jsou rovněž ve velké míře přítomné pukliny s pohybovým rýhováním. V lomu Březek jsou poměrně typické velké šikmé pukliny ukloněné k JZ (obr. 17), s výrazným rýhováním.

1.3.1.1 Směrová statistika

Analýza ve statistických diagramech (obr. 20,21,22,23) ukazuje více populací puklin. Nejzajímavějším výsledkem je směrová stálost, systémů ZSZ - VJV poukazující na dominantní vliv vnějšího stressového pole a na jeho naprosté převládání nad lokálním stresovým polem, které by vedlo k větší směrové různorodosti (viz dále). Jednotné orientace puklin shodné pro různé lokality oblasti poukazují rovněž na polyfázový časový vznik puklin v řadě dílčích etap. Variabilita v zastoupení hlavních systémů puklin vytváří pravděpodobně bloky omezené těmito systémy (obr. 24).

Tab. 2 Hlavní systémy regionálních puklin (podle četnostního zastoupení a směrové stability)

ZSZ. – VJV.	291 - 111
SSZ . JJV	331 - 151
SV – JZ	48 - 228
SSV – JJZ	22 - 202
S – J	353 - 173

Regionální směrová stálost se projevuje zvláště u souborů:

ZSZ – VJV, SSZ – JJV, dále u směrů SSV – JJZ a SV – JZ

Oblasti s homogenním směrovým vývinem puklin byly vyznačeny do mapy 1:25000.

Podle četnějšího zastoupení jednotlivých systémů lze vymezit zhruba tyto oblasti:

1) Z. od Světlé, systém S. – J.
2) Lipnice SSV – JJZ
3) Křepiny – Dobrá Voda – Meziklasí SSZ – JJV.
4) Podivice – Horní Paseka SSV – JJZ.

Nebyl zjištěn rozdíl mezi zastoupení puklin v různých typech granitoidů. Pukliny jsou většinou vertikální, pouze systém SSZ – JJV vykazuje statisticky úklon k JZ (obr. 23).

1.3.1.2 4.4.2. Časové vztahy regionálních systémů puklin

Vzájemné časové vztahy nejsou pro všechny skupiny jednoznačné. Zajímavým fenoménem je přesně kolmý směr zsz. – vjv. a ssv. – jjz. puklin. Puklinové zóny ?, zlomy ? směru SSV – JJZ.

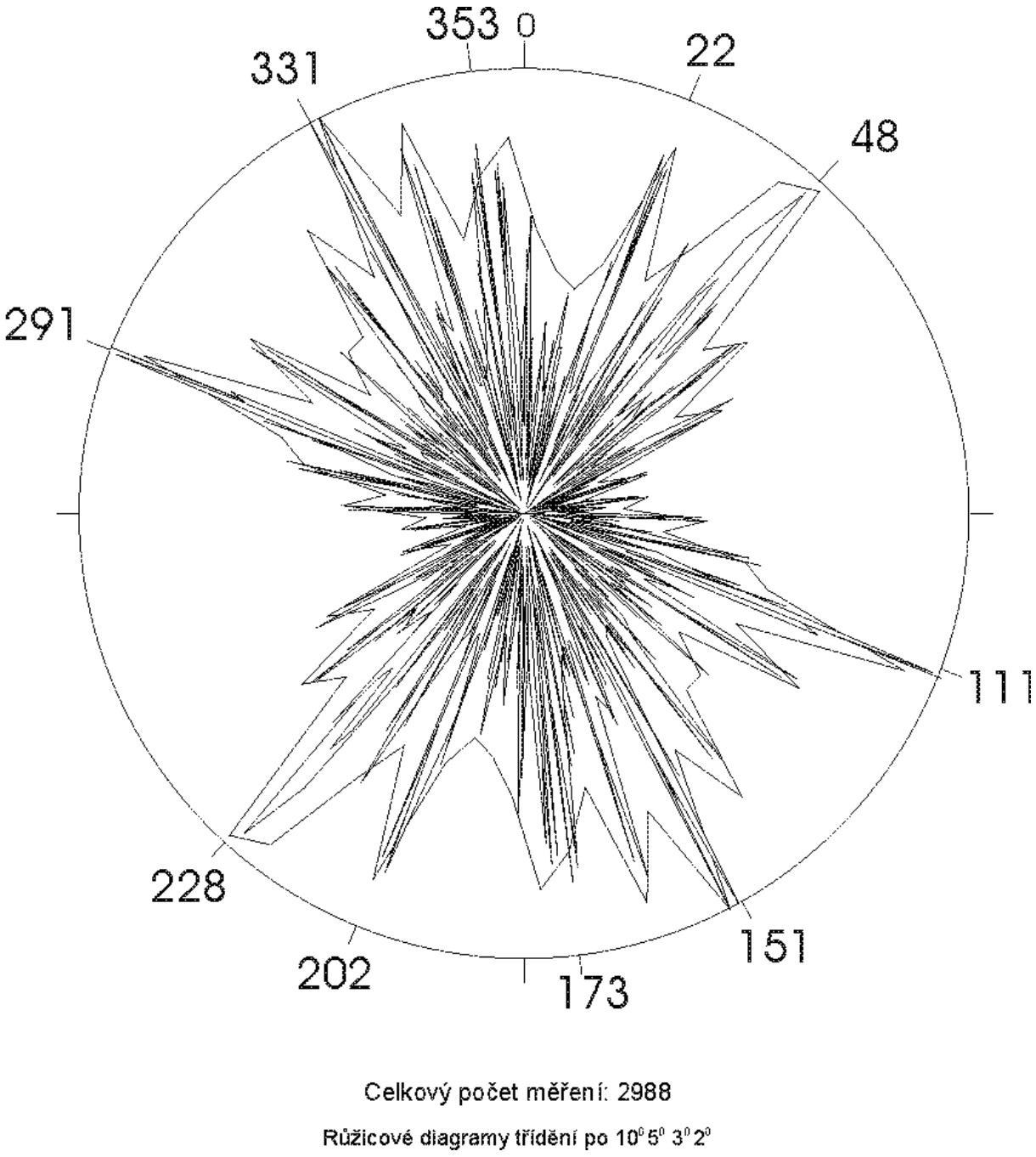
Obr. 15 Příklad svazku puklin směru 120 stupňů a jeho křížení s puklinami ZSZ-VJV a S-J: Lom Pětka

Obr. 16 Výrazné vertikální pérové struktury (Hodgson 1961) v lomu Březek

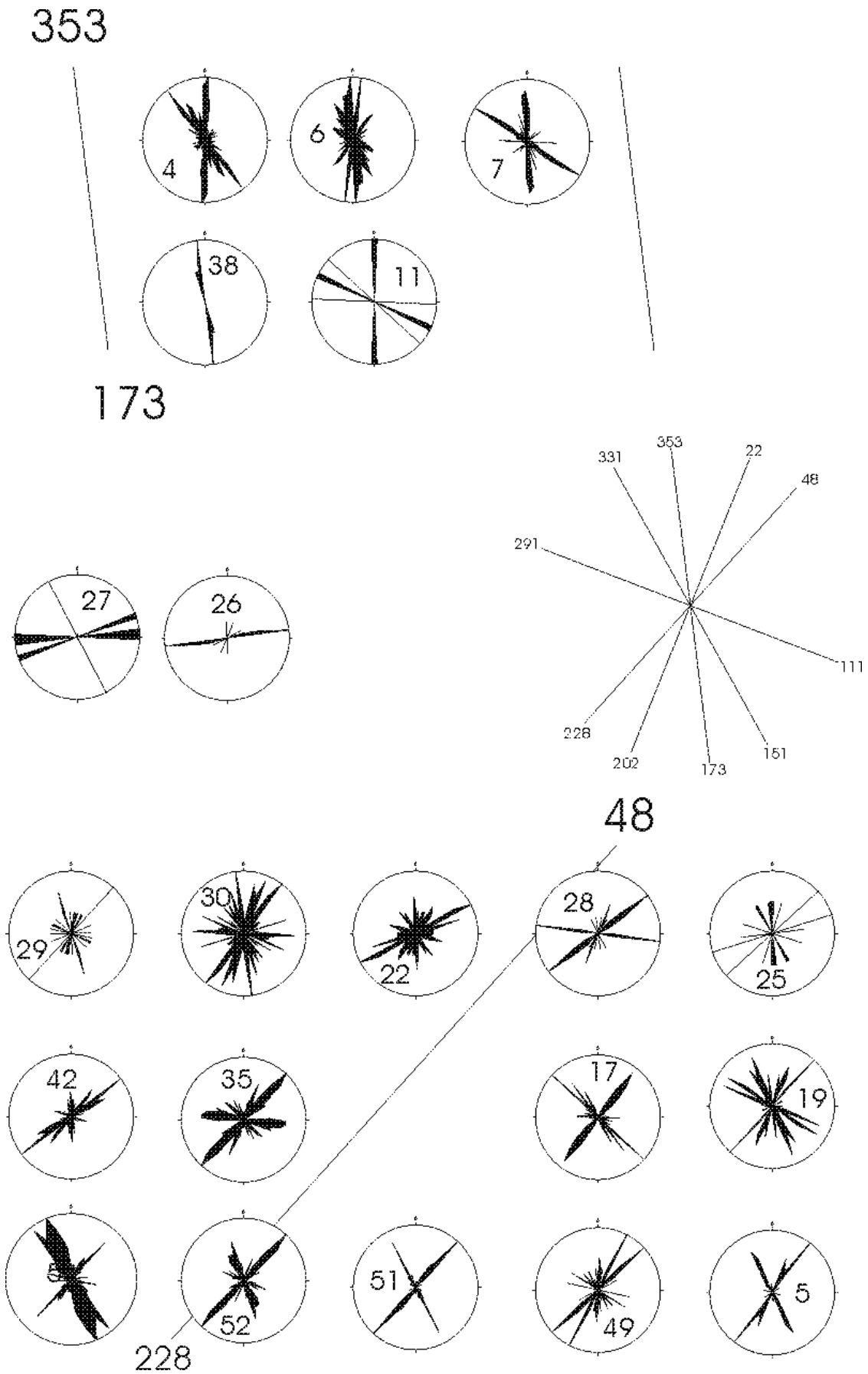
Obr. 17 Velká puklina s dobře patrnou zónou rozdřípení lemující obvod jejího ukončení. Ukazuje na šikmé stlačení masívu. Lom Březek

Obr. 18 Poměrně vzácnější případ dobře čitelných striací se zátrhy Riedelových střihů vykazujících levostranný horizontální posun na zlomu směru SSV – JJZ. Lom Trojka

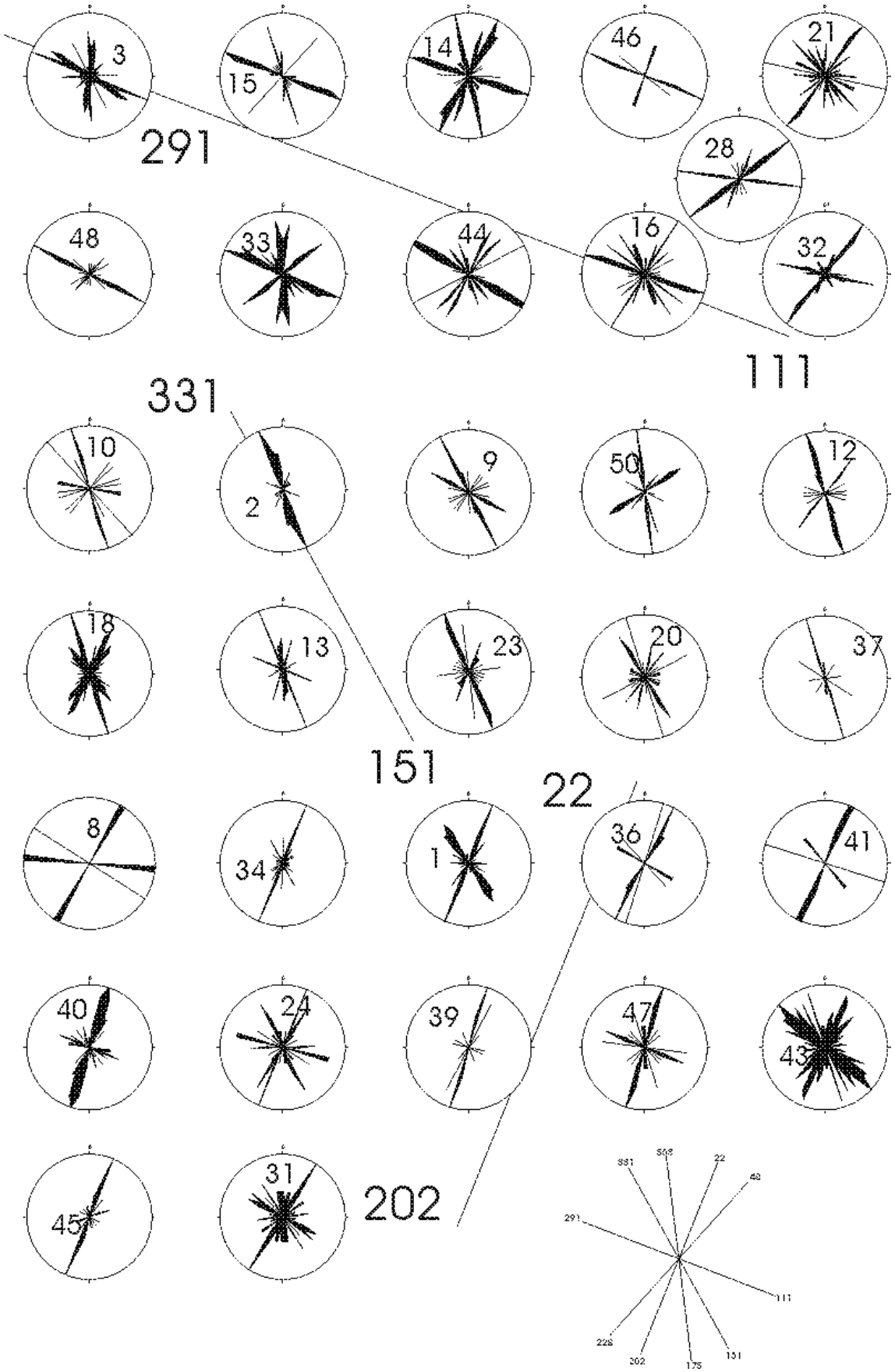
Obr. 19 Zahlazené původní zátrhy Riedelových střihů opačného smyslu, zachované jako důlky v ploše s výrazným mladším rýhováním. Lom Horka u Březinky



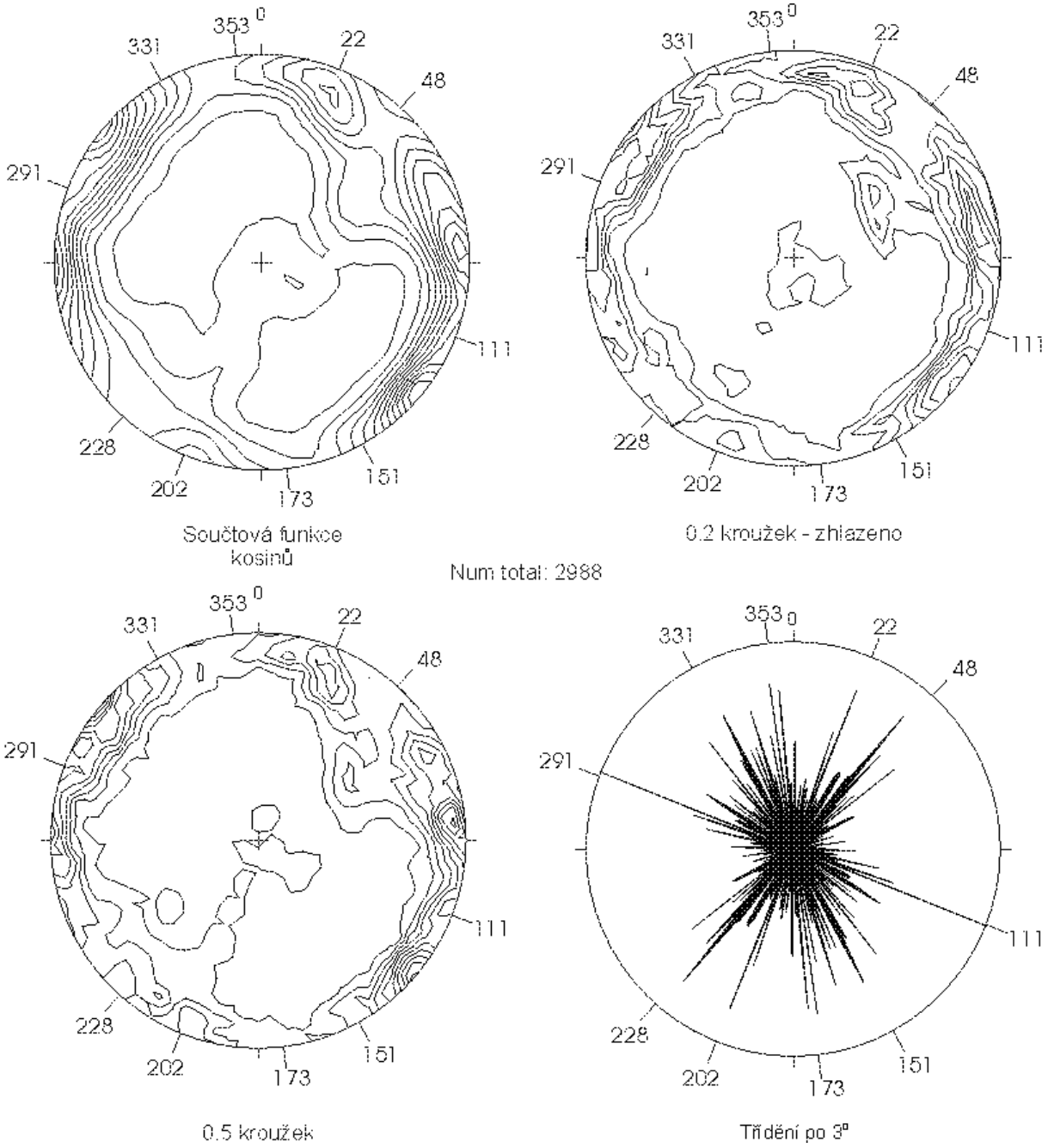
Obr. 20 Vyčlenění hlavních regionálních směrů systematického rozpukání



Obr. 21 Setřídění lokalit podle zastoupení regionálních systematických puklin

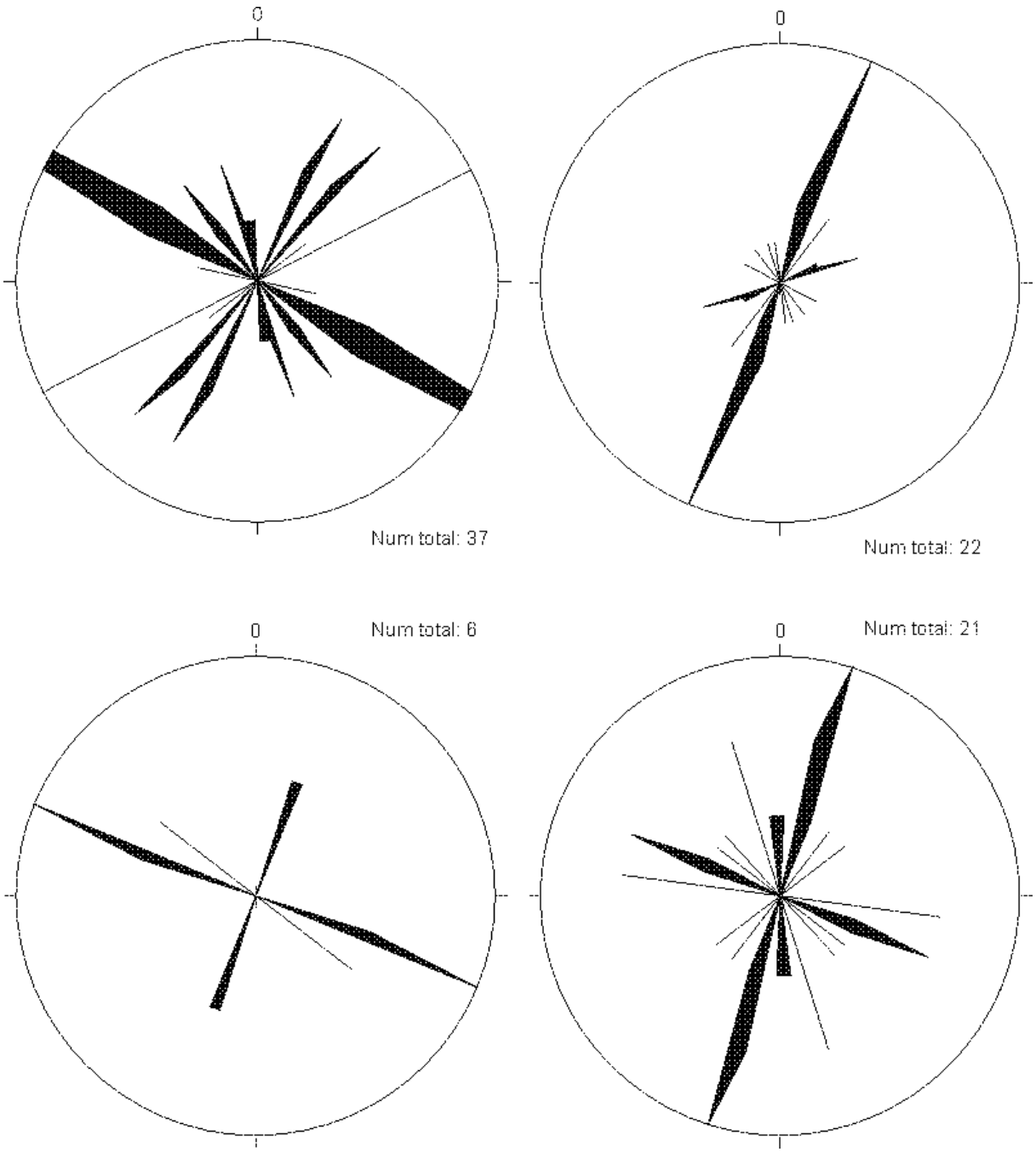


Obr. 22 Setřídění lokalit podle zastoupení regionálních systematických puklin



Obr. 23

Souhrnné konturové diagramy a porovnání s maximy růžicového diagramu



Obr. 24 Příklad variability puklin v sousedních lokalitách. Lomy v obci Vilémovec

jsou typickým regionálním směrem i mimo žulový masív. Systém je zastoupen téměř na všech lokalitách melechovského masívu, je mu podřízena i intruze centrální části melechovského masívu. Samostatně, ostře se oddělující směr 22 stupňů představuje patrně reaktivovaný směr předžulových zlomů fundamentu ve fázi vzniku zsz. – vjv. puklin.

Na lokalitách v okolí Lipnice se jeví systém sv. – jz. jako mladší než systém ssz. – jjv.. V severních oblastech se jeví systém sz.- jv, ssz. – jjv. jako nejmladší. Systém zsz. – vjv. se jeví jako nejmladší.

1.3.1.3 Subhorizontální pukliny

Subvertikální pukliny jsou nejčetnější zjištěné pukliny, což je statisticky zkreslený obraz, protože většinu lokalit představují zatopené lůmky, kde byly přímému pozorování nejvíce dostupné vertikální plochy. Nejvíce subhorizontálních puklin bylo změřeno na lokalitě Březek, která poskytuje největší vertikální profil umožňující třírozměrné pozorování (obr. 28).

Subhorizontální pukliny bývají v převážné části interpretací označovány jako exfoliační, protože jejich hustota směrem do hloubky klesá. Jejich vznik je vykládán odlehčováním horninového masívu při regionálním výzdvihu – odlehčení a uplatnění regionálních zbytkového stressového pole, případně klimatickými vlivy Ramsay, Huber (1987), Price, Cosgrove (1990).

Jak uvidíme dále, nabízí se ale i jiné vysvětlení a tj. reakce mechanicky izotropního tělesa na příčné stlačení, které ve vrstevnatých horninách vyvolá vrásnění. Podobný případ byl např. modelován Košťákem a Zemanem. (1982). Horizontální pukliny jsou hlavním fenoménem, kterým se odlišují granitové terény od okolních metamorfních či sedimentárních souvrství. Není možné je obecně zaměňovat s L – puklinami Cloosova modelu, k tomu musí být pro každou lokalitu stanoveny souřadnice magmatického toku nebo rozpínání magmatu. (obr. 44,45,49). Subhorizontální pukliny jsou rovněž obecně specifickým prvkem žulových masivů (obr. 25,26,27). Jak ukazují např. jejich výplně, (i s pneumatolytickou fází), jedná se často o tektonický prvek vyvolaný příčným stlačením žulového masívu v ranných fázích intruze. Ve vrstevnatém materiálu by deformace vedla k vrásnění. Jak bylo uvedeno podobné struktury byly např. napodobeny ing. B. Košťákem a J.Zemanem (1982) v agaru podrobenému bočnímu stlačení (obr.29). Zvýraznění subhorizontálních puklin přípovrchovými zvětrávacími procesy vedlo k jejich výkladu jako exfoliačního fenoménu.

Na jejich zahušťování směrem k povrchu bude mít velký vliv váha nadložních hornin. Jejich plošný rozsah může být značný, jak ukazují pegmatitové žíly a pukliny bez výplně, obr. 28.

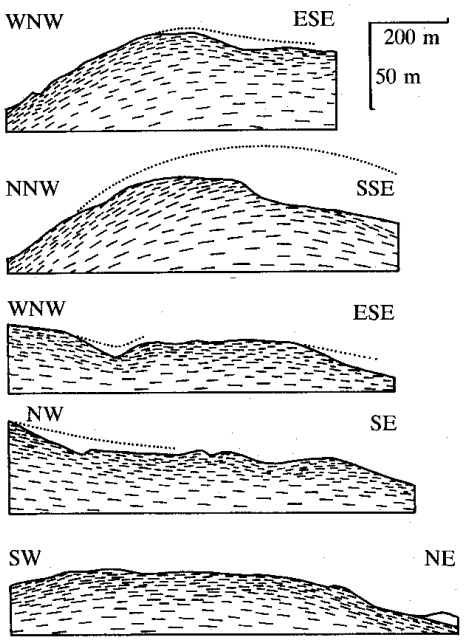
Podle naší definice jsou exfoliační pukliny (sheet joints) v melechovském masívu přípovrchovým jevem zasahujícím do hloubky max 2 –3 m. (obr. 30) Jsou ovlivněny hlavně mrazovým větráním a využívají původních horninových anizotropií nejvíce rovnoběžných se zemským povrchem. Výsledkem geometrického vlivu subhorizontálních puklin bývá tvorba exfoliačních kleneb (Obr. 25,26).

Důležité zjištění v případě melechovského masívu je ranný vznik a pozdější interakce starších subhorizontálních puklin s mladšími vertikálními. To je na melechovském masívu možné prokázat na třech lokalitách. Pozorování zpětně podporuje předpoklad tektonického založení horizontálních puklin a to v jedné ze starších fází rozpukání:

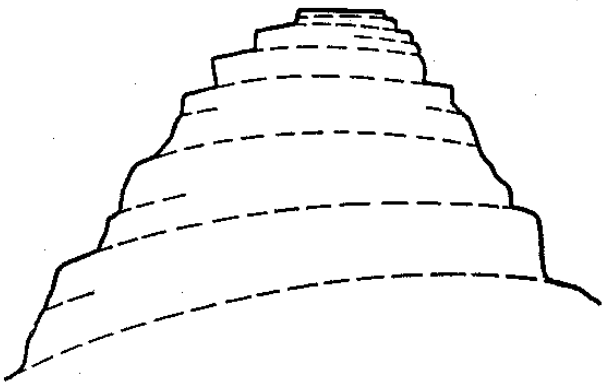
Lipnice hrad – interakce se staršími střižnými zónami (obr. 2, 5).

Holý vrch – interakce se subhorizontálními puklinami (obr. 31, 32).

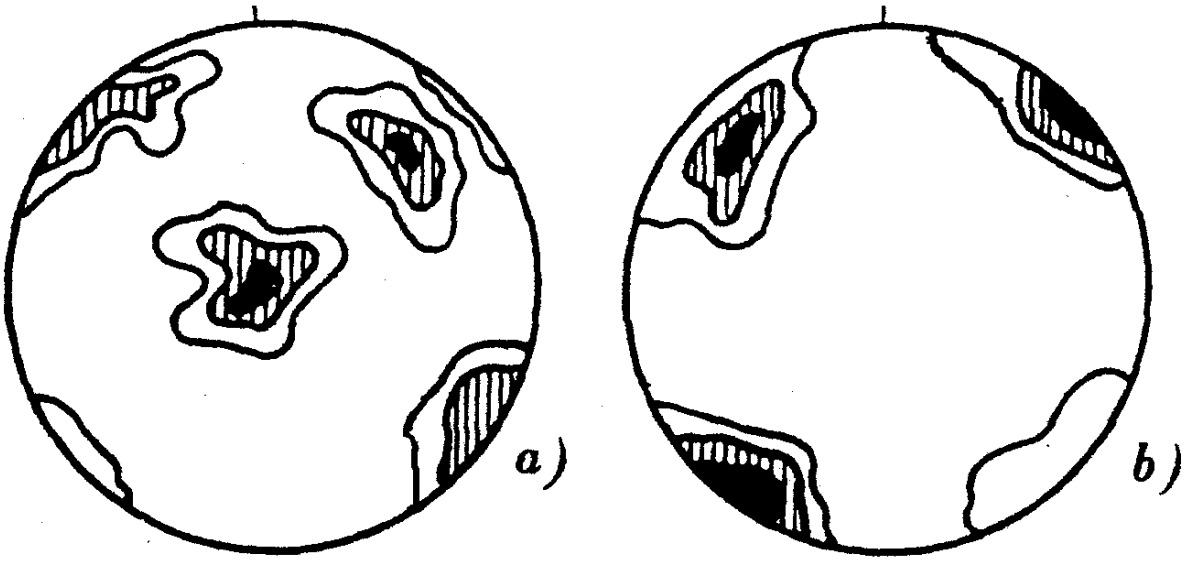
Lom Březek interakce s pegmatitovou žílou.



Obr. 26 Profily pohořím Oak Hills v Chelmsfordské žule, sv. Massachussets, ukazující vztah mezi exfoliačními puklinami a topografií. Tečkované linie ukazují předglaciální topografii (podle Jahnse, 1943

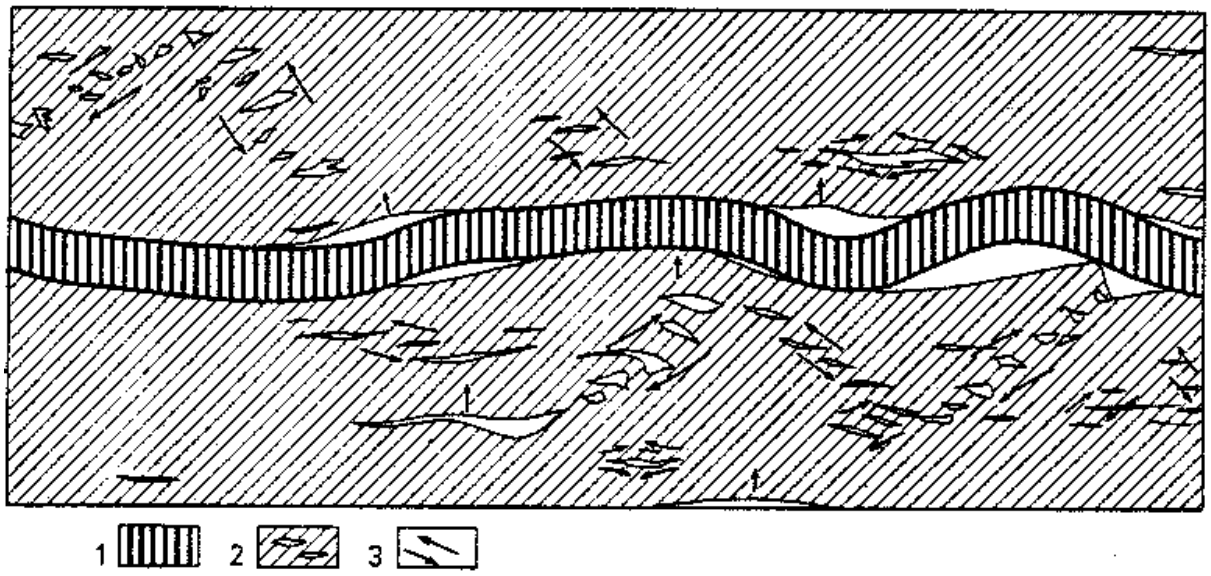


Obr. 25 Exfoliační pukliny a jejich intenzita ve vztahu k topografii, podle C.A.Chapmana a R.L. Riouxe(1958)



Obr. 27 Puklinové pólové diagramy: a) peň křemen-albitofyrové intruze, b) okolní horniny (křemenné keratofyry, podle Gončarové in Ashgirei (1963)

Obr. 28 Subhorizontální pukliny v lomu Březek. Jejich hustota směrem do spodní etáže (není zachycena), klesá



Obr. 29 Střední část modelu deformace homogenního prostředí s pružnou vrstvou, 1 – kompetentní vrstva, nevrstevnatý materiál s makrotrhlinami orientovanými rovnoběžně s horizontálně působícím napětím, směr střižného napětí daného vyklenováním, podle B. Košťáka aj. Zemana (1982), Zajímavé je seskupení trhlin do kleneb (poznámka autora zprávy).

Obr. 30 Intenzivní vývin exfoliačních puklin v blízkosti svrchní zóny zvětrávání, Lokalita 48, malý lůmek s. od Vilémovce

Subhorizontální pukliny představují v melechovském masívu do určité míry samostatný systém průběžně se vyvíjející v průběhu jednotlivých výše naznačených fází (samostatné maximum uprostřed konturového diagramu). Jako struktury pravděpodobně vzniklé reakcí nevrstevnatého tělesa na boční stlačení byly posléze vícenásobně oživeny (obr. 33,34) a zahušťovány při dalších deformacích a v oblasti přípovrchových klimatických vlivů.(obr. 30). Subhorizontální pukliny mají proměnlivý úklon, systém sz. – jv. je mírně ukloněn k JZ. Podle orientační analýzy (obr. 23), jsou subhorizontální pukliny směrově sblížené se směrem ZSZ – VJV, což by ukazovalo na to, že byly založeny již v nejstarší fázi tektonického porušení. Na některých lokalitách (Kamenná Trouba) a např. na lokalitě Kamenná Lhota je možné pozorovat postupné změny jejich úklonu od ca 20 do 60 stupňů. Místy se vertikální pukliny na starších subhorizontálních rozvětvují směrem vzhůru podobně jako zlomy v pokusech s horizontálními posuny nad zlomy fundamentu.

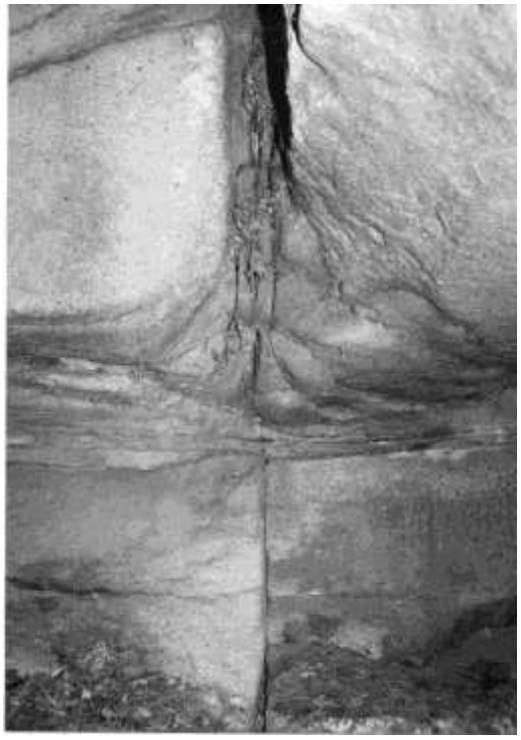
1.3.1.4 Subhorizontální pukliny a vertikální vývoj puklinatosti

Ubývání subhorizontálních puklin směrem do hloubky lze vysvětlit zvyšující se úlohou váhy nadložních hornin. Vzhledem k jejich interakci s vertikálními puklinami mají pravděpodobně i zásadní vliv na ubývání puklin ostatních systémů do hloubky.

Logický závěr může být, že vzhledem k vysoce pravděpodobnému ubývání subhorizontálních puklin do hloubky a s předpokladem rozvětvování subvertikálních puklin na subhorizontálních

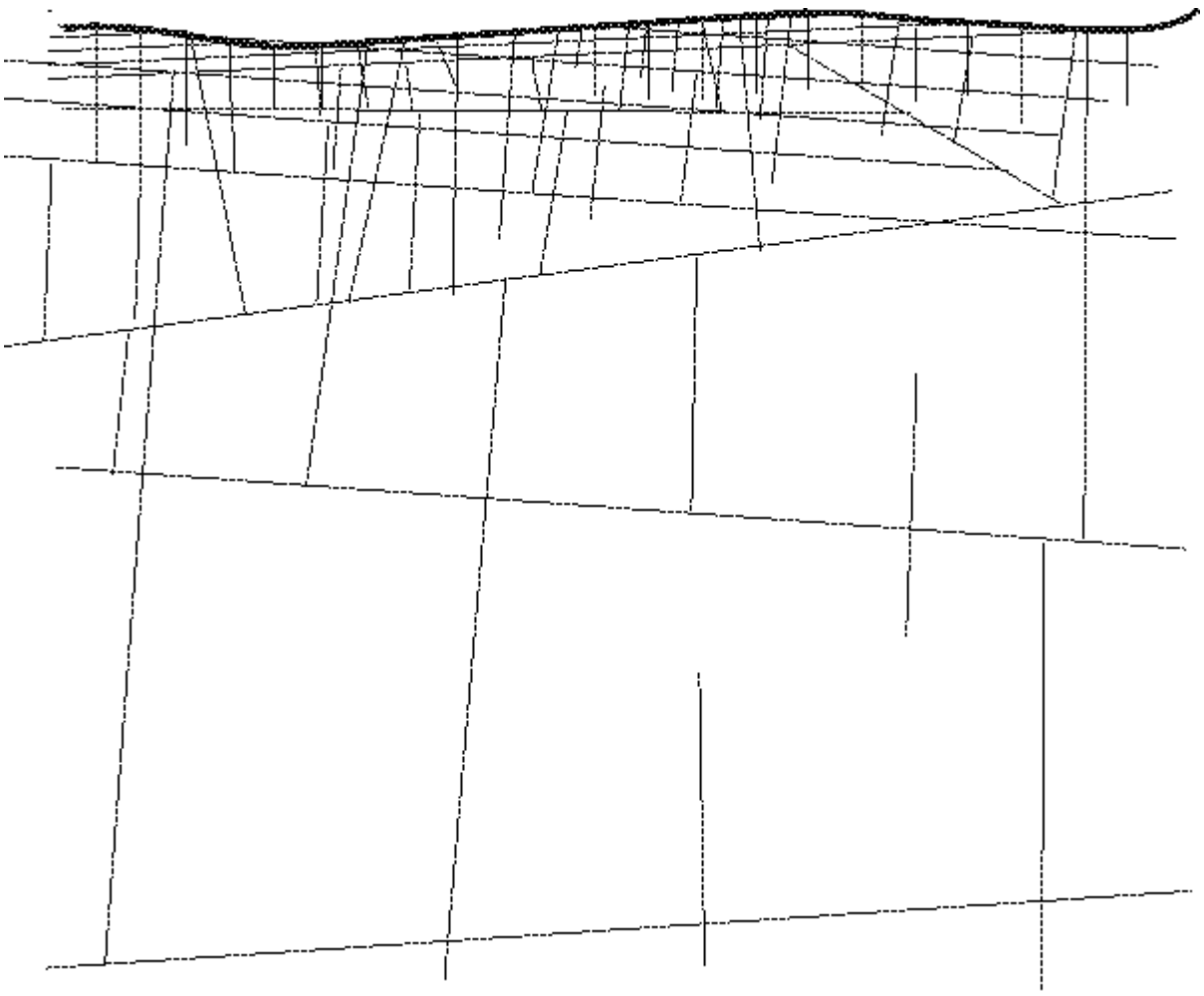
Obr. 31 Rozvětvení mladší vertikální pukliny – horizontálního posunu na horizontálních puklinách ukazuje, že některé tyto pukliny vznikly v raných stádiích porušení masívu. Holý vrch

Obr. 32 Vícenásobná interakce horizontálních a vertikálních puklin vedla k výraznému drcení v zóně protínání v nadložních blocích hornin. Holý vrch



Obr. 33 Příklad tektonického oživení subhorizontální pukliny se zátrhy Riedelových střihů, které vytváření stupně po odtěžených částech, v pozadí je vidět oživení subhorizontálních puklin v boku poruchy – horizontálního posunu s viditelným rýhováním

Obr. 34 Pohled z opačné strany ukazuje starší systém částečně ohlazených subhorizontálních Riedelových střihů s opačným smyslem pohybu. Lokalita 24, pod Holým Vrchem



Obr. 35 Hypotetická představa o vertikální distribuci puklin (v závislosti na preexistujících a oživovaných

subhorizontálních puklinách (není vztaženo k měřítku)

směrem vzhůru, je možné celkově předpokládat zmenšování hustoty puklin směrem do hloubky (obr. 35).

1.3.1.5 Výplň puklin a poruch

Výplň puklin a poruch je klíčovým faktorem jejich propustnosti. Jak ukazují zkušenosti z naftového průzkumu (A.Beach, http://www.abal.com/), i silně rozpukaný granit s tzv. vyhojenými puklinami může být pro fluida neprostupný. Výplň může pocházet buďto z vlastního – okolního prostředí puklin, nebo být přinesena z větších vzdáleností.

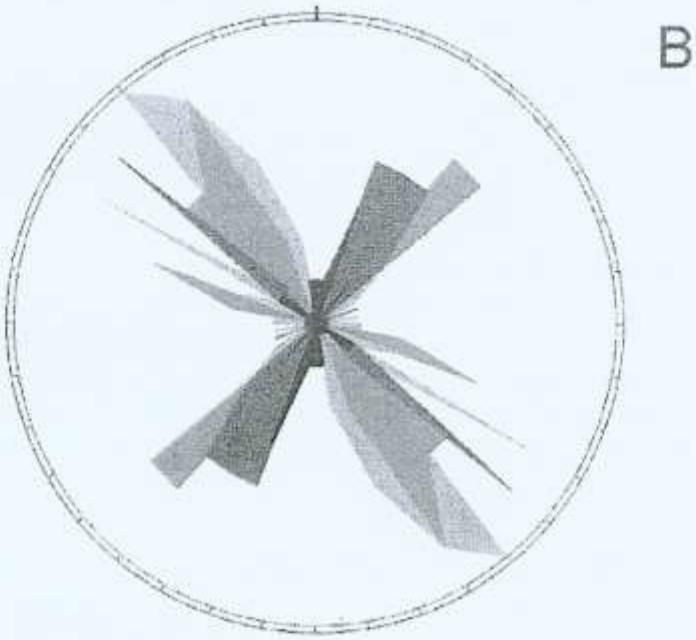
Charakter výplně závisející na bezprostředním okolí je dán teplotou horninového prostředí v době vzniku puklin. V pneumatolytickém stádiu je výplň tvořena pegmatity a s klesající teplotou se uplatňuje křemen a chlorit. Produkty zvětrávání jsou tvořeny jílovými minerály.

Výplň puklin pocházející ze vzdálenějších zdrojů představují různé hydrotermální produkty (Drábek, 1994), včetně sulfidů, karbonátů, chloritů a křemene nebo horninové žíly.

Výplň větších poruch je tvořena mylonitizovanými a drcenými horninami, popřípadě tektonickým jílem, na propustnosti zlomu se podílí kromě výplně i tvar zlomu vyplývající z jeho odvození od Riedelových střihů.

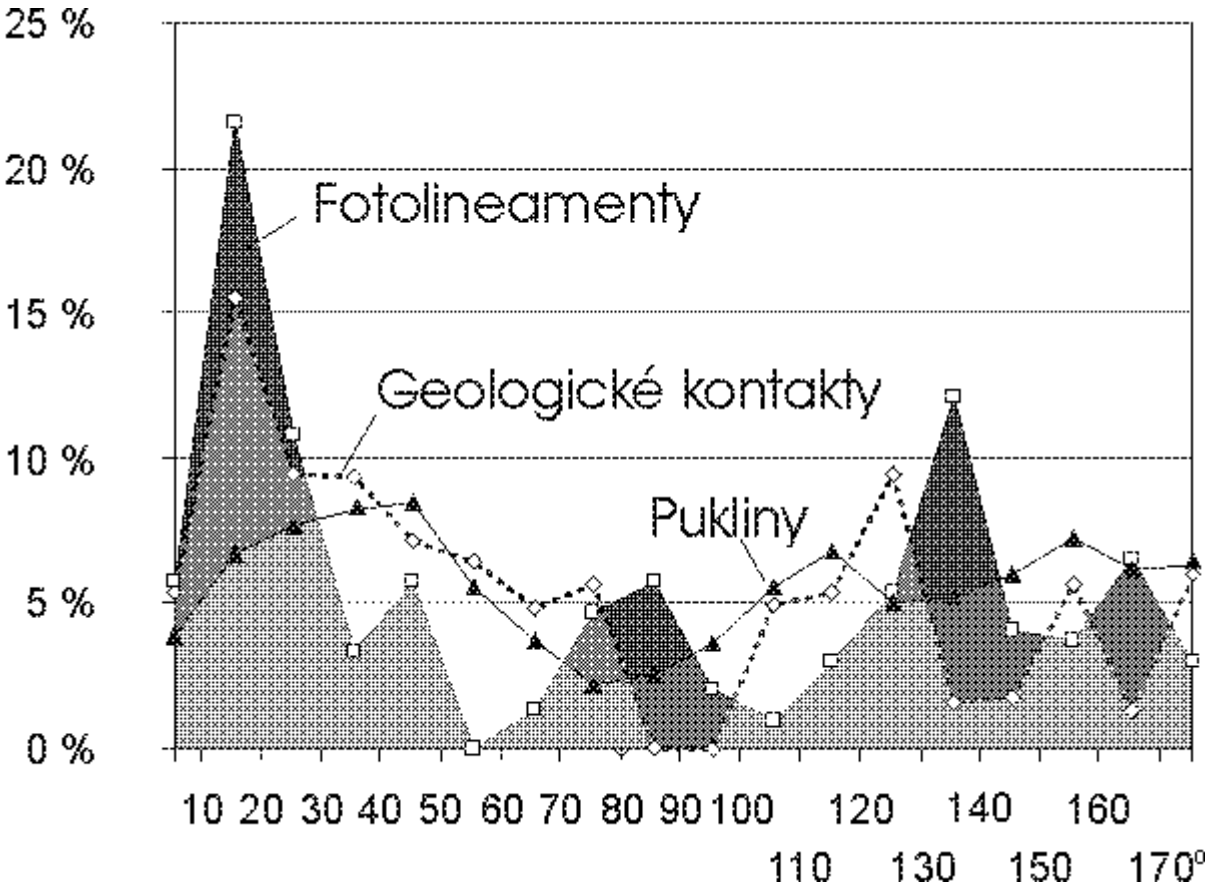
V granitech spodní voda cirkuluje hlavně v síti otevřených puklin. Proto je hlavním cílem výběru a bezpečnostních opatření v úložištích radioaktivního odpadu určení souborů otevřených puklin jak v regionálním, tak v lokálním měřítku.

V melechovském masívu na lokalitě Březek Coubal (1998) rozlišoval směry puklin i podle výplně, obr. 37. Souhrnný diagram a vlastní pozorování ukazuje, že pro jednotlivé směrové systémy existuje vždy celé spektrum výplně a to zřejmě v závislosti na hloubce a navětrání.



Typické zobrazení granittektonického rozpukání v růžicovém diagramu.
A - souhrnné zobrazení směrů ruptur z centrální části melechovského masívu, u kterých byly spojitě sledovány změny kinematického charakteru.
B - příspěvek různých kinematických typů ruptur k výslednému obrazu (červeně - tahové pukliny a pukliny bez smykového pohybu, žlutě - pukliny s pérovými strukturami, světle zeleně - smykové pukliny, tmavě zeleně - smykové zlomy, modře - ruptury s tektonickým jílem).

Obr. 37 Souhrnný diagram puklin různého kinematického a dynamického projevu na lokalitě Březek, podle Coubala (1998). I když byly do diagramu zahrnuty rozdílné regionální systémy, diagram ukazuje pro jednotlivé pukliny různého tektonického stylu podobnou orientaci



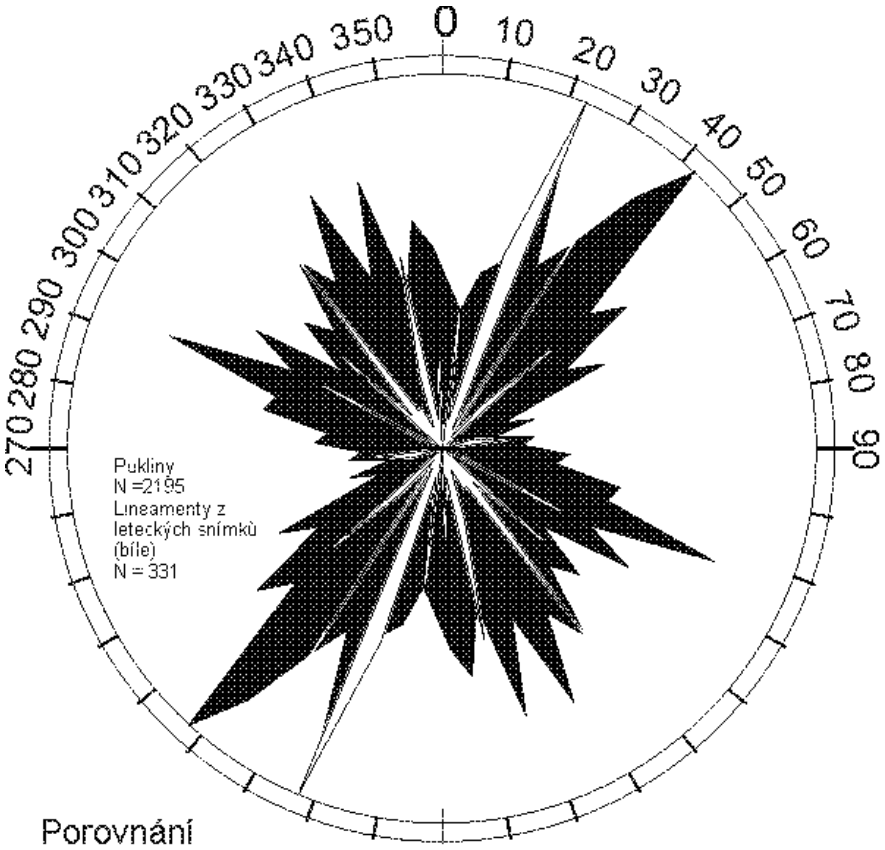
Obr. 38 Porovnání četností směrů různých strukturních prvků

1.4 VZTAH ROZPUKÁNÍ A GEOMORFOLOGIE

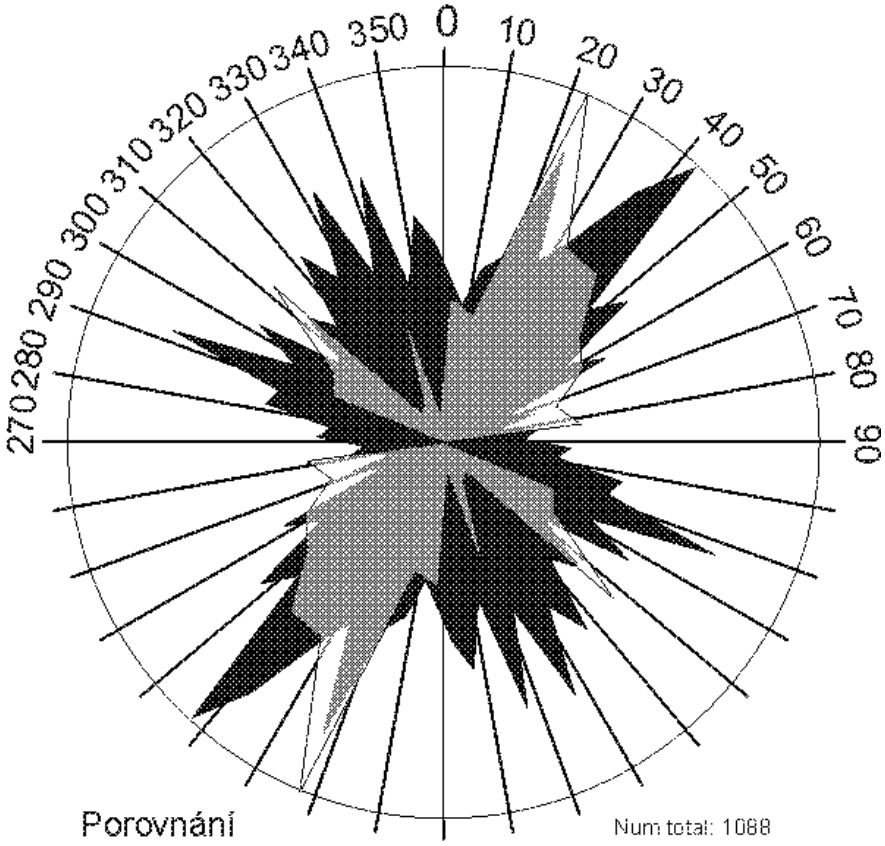
Puklinová stavba byla zjišťována s výjimkou silničních a železničních zářezů většinou v lomech, kde je kladen specifický požadavek na charakter rozpukání, a jsou proto založeny mimo zóny vlivu větších zlomů. Přesto porovnání zjištěných puklin s *lineamenty* dálkového průzkumu a s topografií vykazuje shodu je i v menších detailech (viz obr. 38,39,40), což podporuje obě metody. Lineamenty dálkového průzkumu tedy zřejmě vyznačují zóny výraznějšího rozpukání až zlomy., rovněž jako topografie a obě metody lze proto kombinovat. To je pro obecně silně zakrytou oblast melechovského masívu důležité zjištění a naskýtají se zde výrazné možnosti pro využití topografických podkladů. Podle souhrnného diagramu z lokalit v.,. a z. části melechovského masívu jsou *sv.-jz.* pukliny nejčetnější celkově směrově stálé s maximem 42 stupňů a sdruženým, samostatně se vydělujícím směrem 23 stupňů. Tomuto směru odpovídá i nejčetnější a nejzřetelnější maximum lineamentů dálkového průzkum, (viz obr. 38,39).

Zjištěná hlavní maxima puklin na jednotlivých studovaných lokalitách zanesená .do mapy 1: 25 000 (Příloha 1) a jejich prodloužení, vyznačují trendy rozpukání. Na jednotlivých lokalitách je možné pozorovat směrovou shodu vrstevnic či geomorfologických útvarů jako jsou vodní toky a hřbety s hlavním směrem rozpukání. Tuto skutečnost nejlépe dokumentuje

tok Sázavy, kde se na vytvoření jejího hluboce zaříznutého koryta postupně uplatňují jednotlivé hlavní směry rozpukání tj. od Z k V 331 –291-353-48 a 291 stupňů, obr. 40.

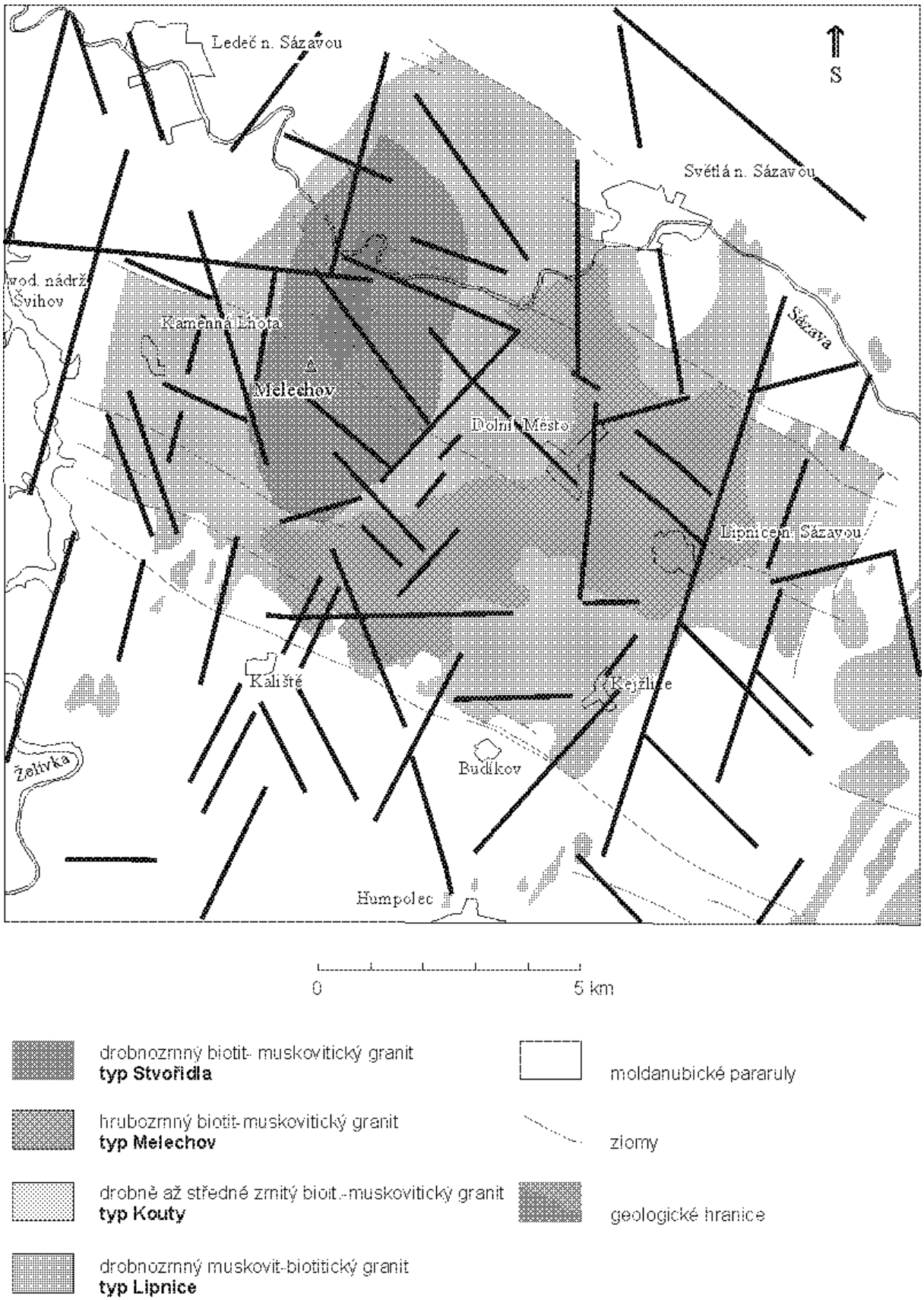


Porovnání
směrové analýzy fotolineamentů s diagramem puklin

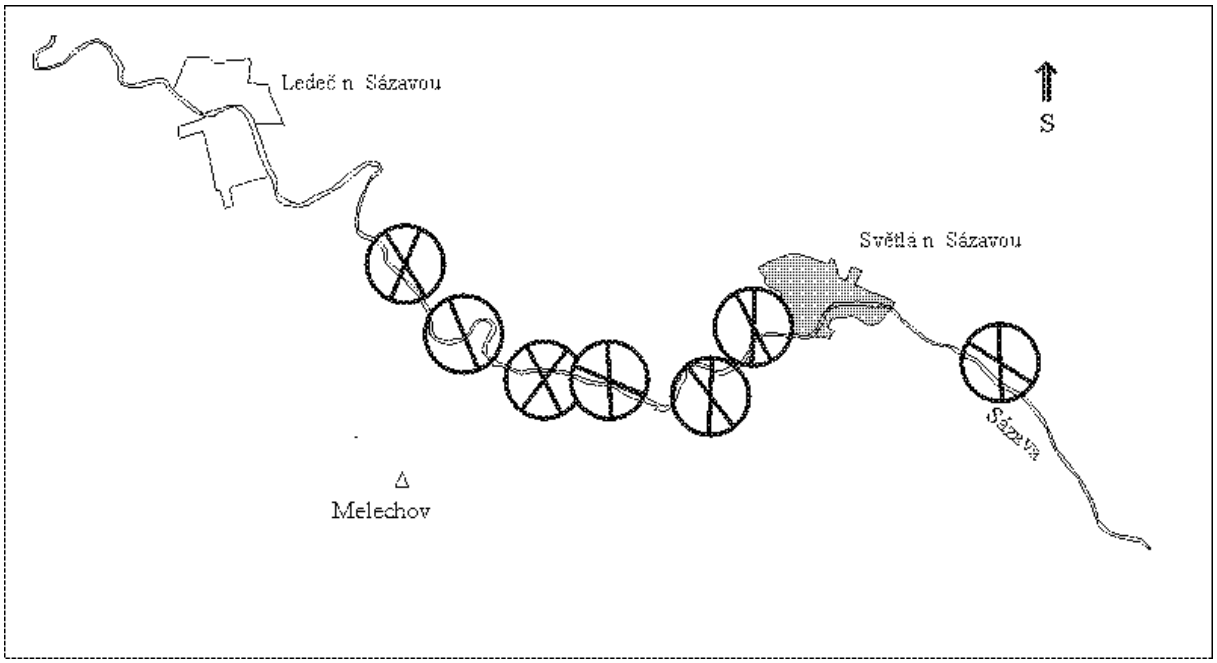


Porovnání
směrové analýzy geologických kontur (bíle) s diagramem puklin

Obr. 38 Porovnání směrové distribuce puklin s ostatními strukturními prvky



Obr. 39 Schéma lineamentů podle družicových snímků SPOT, J. Procházka a kol. 1998. Geologické stavba melechovského masívu (podle B. Mlčocha, ČGÚ Praha)



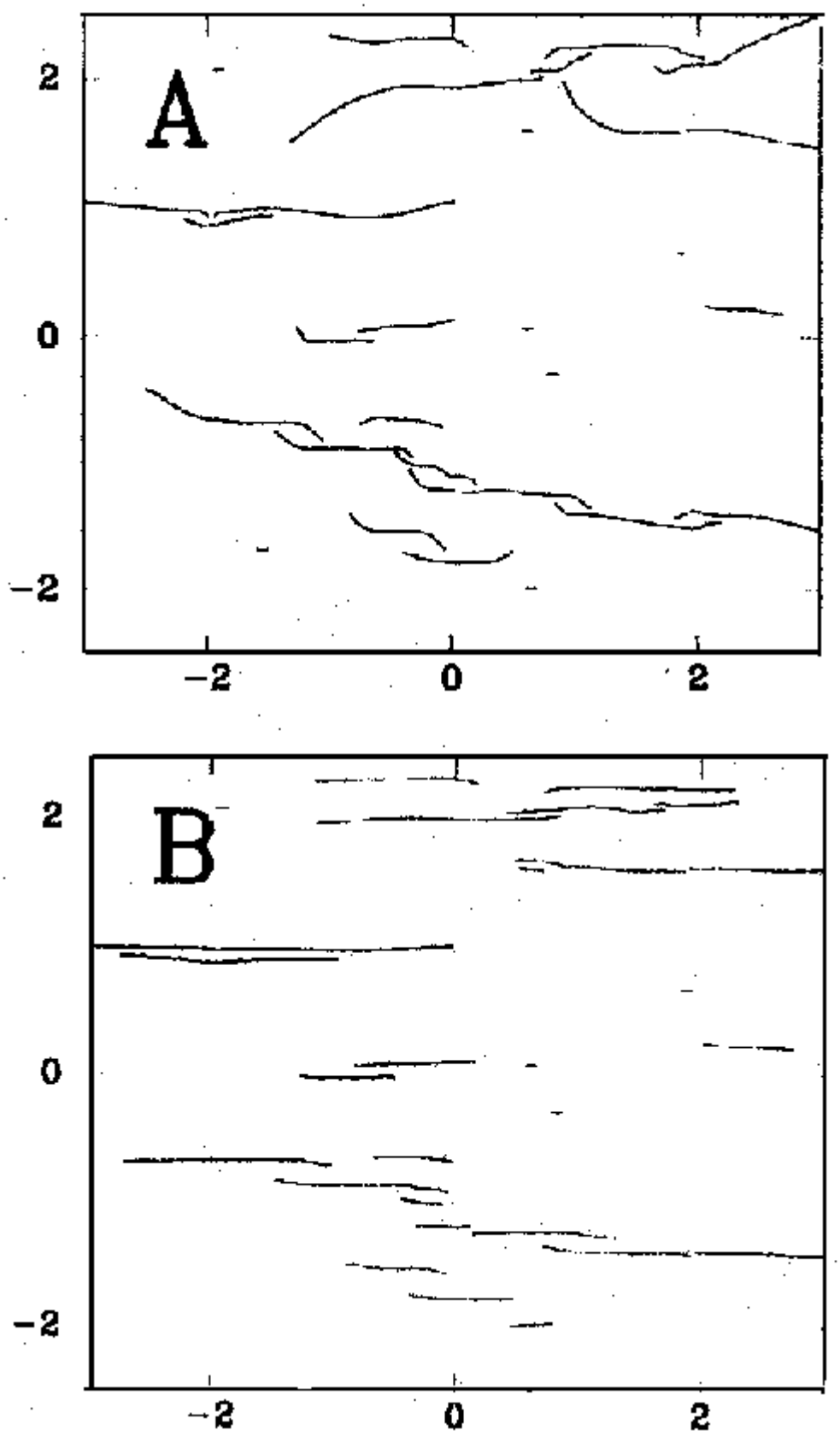
Obr. 40 Porovnání orientace hlavních maxim z měřených souborů puklin s tokem Sázavy

1.5 ANALÝZA SMĚRŮ NAPĚTÍ

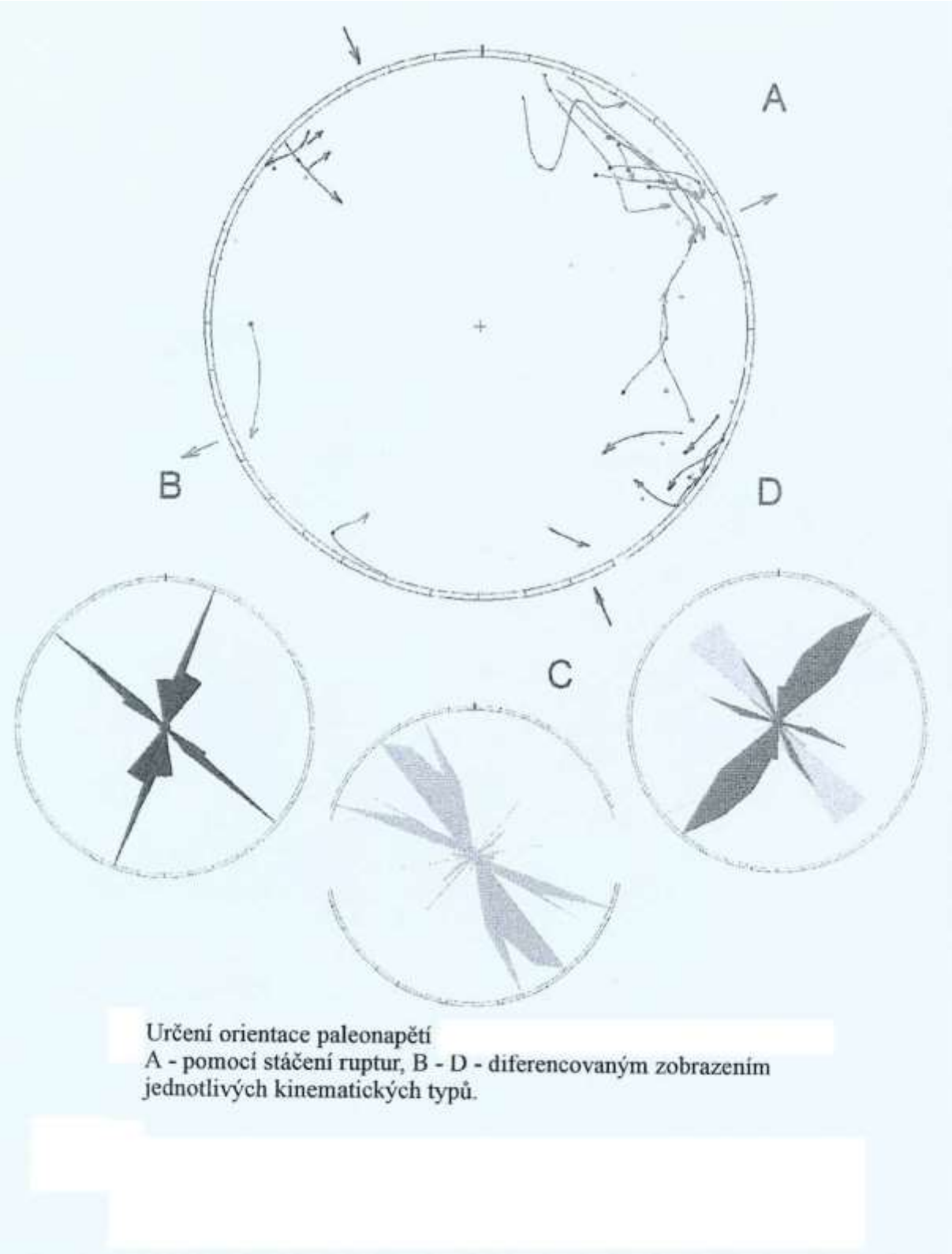
Orientace napětí byla zjišťována jednak ze souborů rýhovaných puklin a jednak může být zprostředkována i z diagramů orientace puklin. Rýhované pukliny mají odlišný charakter podle lokality, nejvíce puklin s rýhováním bylo zjištěno na lokalitě Březinka, Kamenná Lhota a Březek, popřípadě a v s. oblasti.

Pro posouzení orientace hlavních napětí můžeme vyjít z diagramu Olsona a Pollarda (obr. 41), popřípadě Ramsaye a Hubera (1987). Regionální stressové pole převládající nad lokálním vytváří jednotně orientovaný systém puklin bez směrových variací. Podle schématu Ramsaye a Hubera (1987) je zde rovněž minimální pohyb. Tyto pukliny tudíž nenesou znaky rýhování, ale jejich samotná orientace určuje hlavní směr napětí. Z tohoto hlediska je systém v oblasti jednotně a ostře vymezených maxim *ZSZ – VJV, SSZ – JJV a SV – JZ* jednoznačný. Lokální napětí zakřivujících se konců puklin byla studována Coubalem (1998), obr. 42.

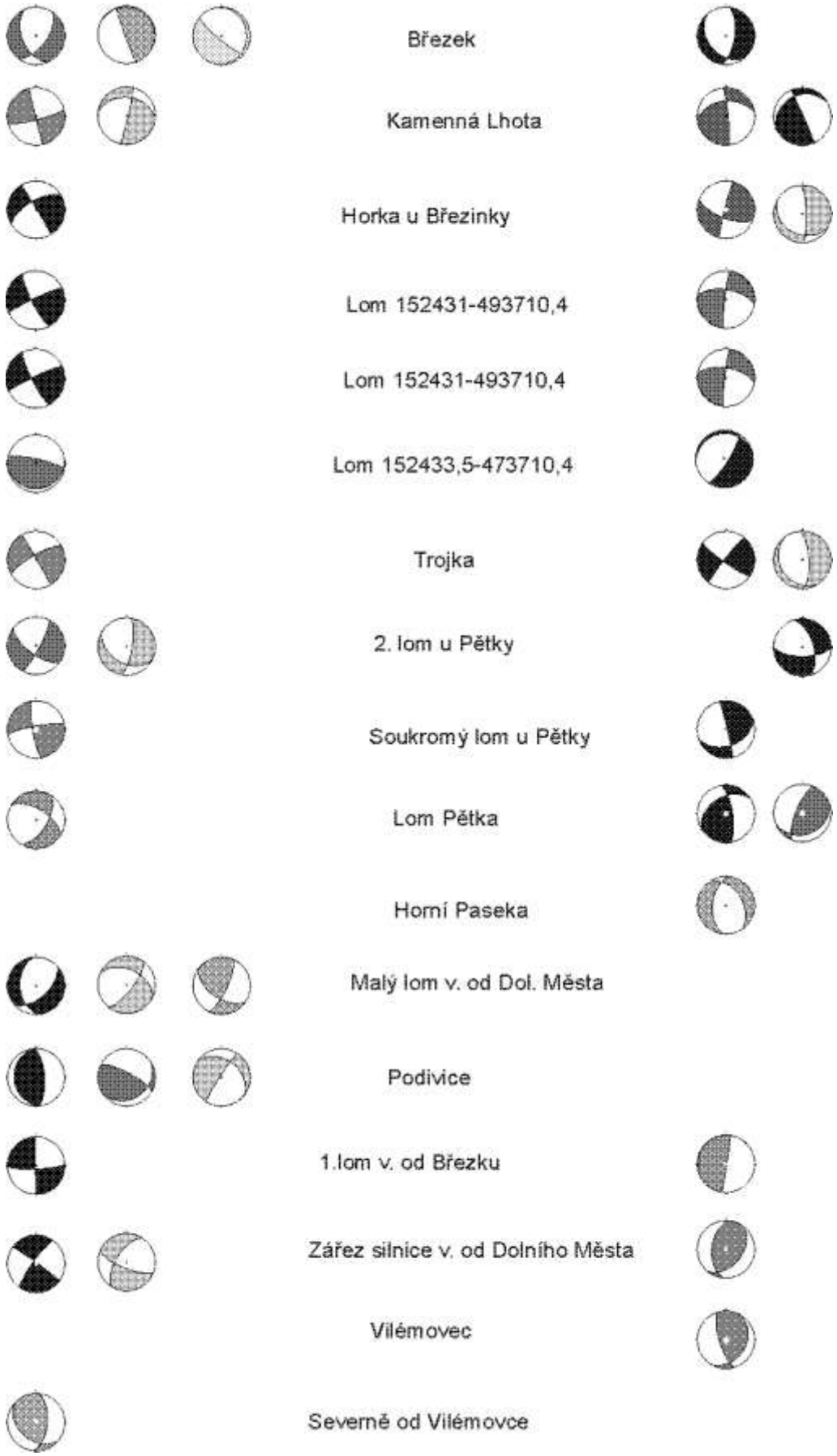
Výpočet orientace napětí z rýhovaných ohlazů byl proveden na změřených puklinách a zlomech s čitelnými ohlazy. Pro určení smyslu pohybu byly použity asymetrické struktury, jako jsou odtrhy Riedelových střihů (obr. 18) apod., popřípadě byly interpretovány jako pohyb bez určení. Napětí podle ohlazů má řadu generací, na jedné lokalitě se vyskytují až tři směry, vyskytují se i pukliny s dvěma generacemi rýh, případně s dvěma navzájem obrácenými smysly pohybu (obr.19,33,34,). Použití této metody předpokládá, že na lokalitě byly již vyvinuty pukliny, na jejichž soubor byl uplatněn pohyb. Nejčastěji se vyskytuje napětí typu horizontálních posunů (obr. 43), ale jsou přítomny i prvky násunů či poklesů. Zjištěné směry odpovídají sv. – jz. a sz. – jv. napětí. Napětí zjištěné z ohlazů se hlavně uplatnilo na puklinách sz. – jv., s. – j. ssv.- jjz. a sv.- jz. směru, méně na puklinách zsz. –vjv. Směru, (Přílona 3). Pro uvedené směry puklin se uplatnil ve větší míře pohyb, což se projevuje i jejich větším směrovým rozptylem v souhrnném diagramu (obr. 20).



Obr. 41 Směrová stabilita puklin (A) – při hlavním uplatnění lokálního stressu, (B) – regionálního stressu (Olson, Pollard, 1989).



Obr. 42 Lokální napětí v lomu Březek stanovená na základě stáčení puklin (obr. A), (Coubal 1998)



Obr. 43 Souhrn vypočítaných paleotensorů napětí pro lokality z Melechova

1.6 DISKUSE

PROBLÉM GRANITTEKTONIKY v melechov-ském masívu

Při studovaném problému a všeobecně při studiu granitů v Českém masívu se setkáváme s problémem tzv., granitové tektoniky zavedené hlavně Cloosem a Balkem ve dvacátých létech minulého století. V následující tabulce jsou uvedeny hlavní možné typy porušení granitů, Cloosova granittektonika se týká hlavně postorogenních typů granitů.

Tab. 3 Přehled deformačních typů granitů

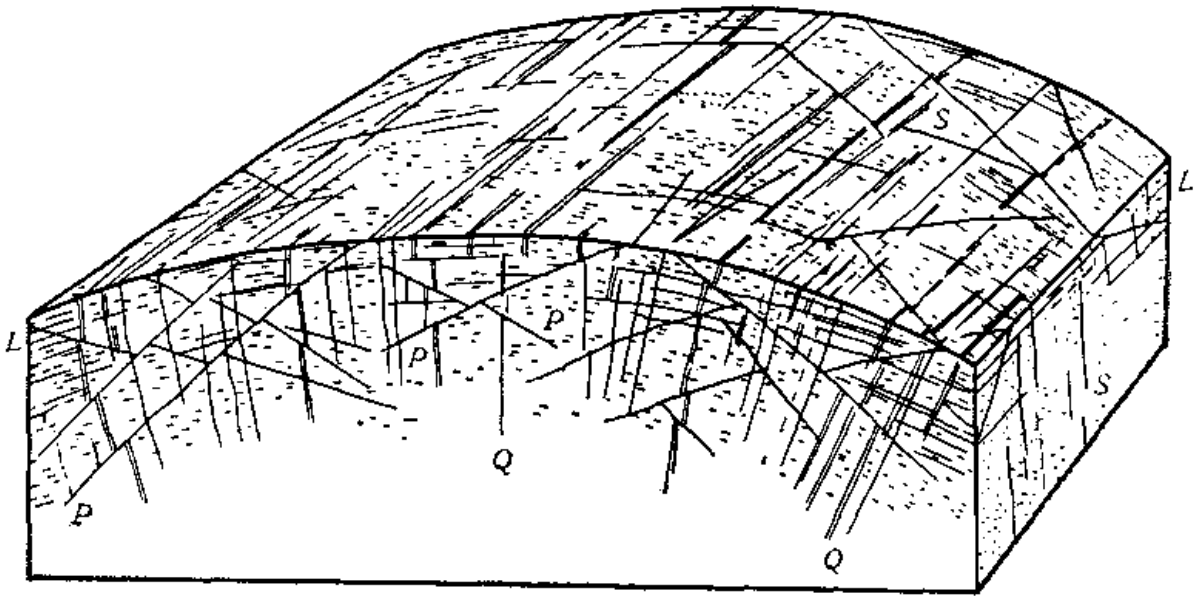
Časové zařazení v deformaci	*Typ porušení*	*Textury*
Preorogenní	Křehké	Mylonity – S&C stavby
	Duktilní	Výše teplotní mylonity (křemen deformován plasticky, živce křehce až plasticky) – S&C stavby, novotvořené minerály
Synorogenní	Mylonitizace a zotavení	Silné usměrnění minerálů s rekrystalizací
Postorogenní	Nejsou deformovány nebo pouze slabě	Všesměrné

1.6.1.1 Geometricko-genetické vlastnosti souborů puklin v granitoidních tělesech

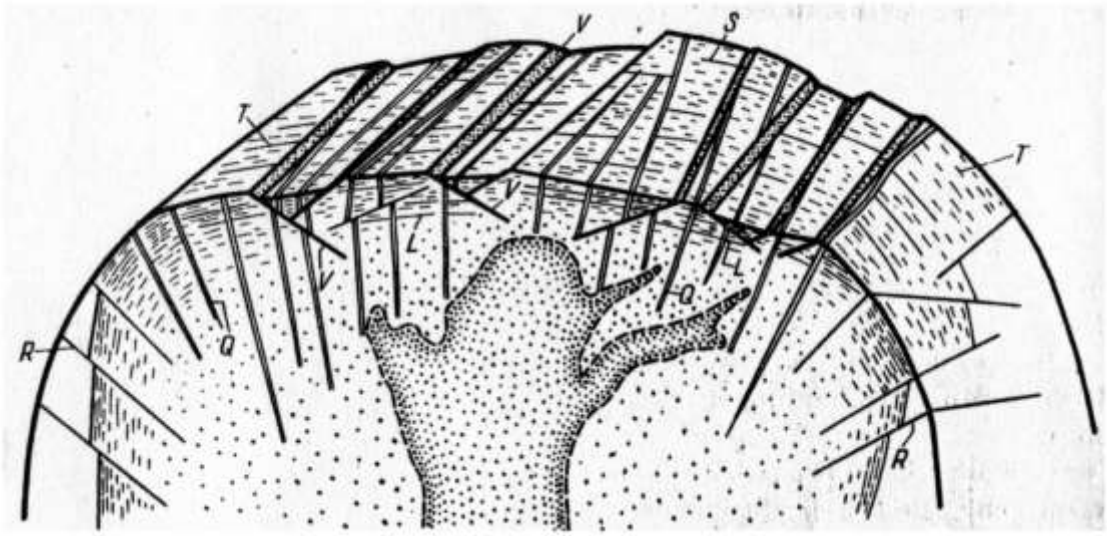
Dělitelnost granitů má vnitřní (endogenetické), a vnější (exogenetické) příčiny. Vnitřní (endogenetické) příčiny vzniku puklin v granitoidech jsou způsobeny vnitřní strukturou tj. uspořádáním minerálů a celkovým tvarem tělesa ve fázi proudění a tuhnutí taveniny. *Pukliny v tomto případě jsou samostatným tektonickým elementem omezeným pouze na granitoidní tělesa*.

Dynamickým podnětem vzniku puklin je předpokládaná tepelná kontrakce a napětí odvozené od pohybu magmatu. V granitech byly struktury spojované s prouděním magmatu studovány hlavně Cloosem 1923 (obr. 44) a Cloosem a Balkem.(obr. 45).

Směr proudění je odvozován na základě shodné orientace protažených minerálů a šlírů v hornině. Zákonitosti toku magmatu byly potvrzeny experimentálně případně ověřeny empiricky na vulkanických aparátech (obr.46,47,48). Uvedené příklady ukazují komplexitu magmatického toku i v dobře definovaných podmínkách . Dalším diskutovaným zdrojem napětí a vzniku anizotropie vedoucím ke vzniku geometricky zákonitě orientovaných puklin je předpokládané tzv. „vytahování“ plutonů ve fázi tuhnutí (obr. 49). Struktury „vytahování“ granitů závisí na regionálním napětí ve kterém vznikají v okolních horninách vrásy, přičemž pluton již zaujímá své místo ale hornina není úplně vykrystalována. Předpokládá se, že následkem vytažení jsou ještě reorientovány minerály. Důležitým faktorem je působící váha nadložních hornin. Pokud je váha nadložních hornin malá, jako je tomu v komínovitých vulkanických aparátech, jsou minerály orientovány vertikálně, v opačném případě uniká materiál do stran a vzniká plochá, nebo jen mírně ukloněná stavba.



Obr. 44 Blokdiagram teoretického uspořádání hlavních strukturních prvků v intrusivním tělese podle Cloose (1923).

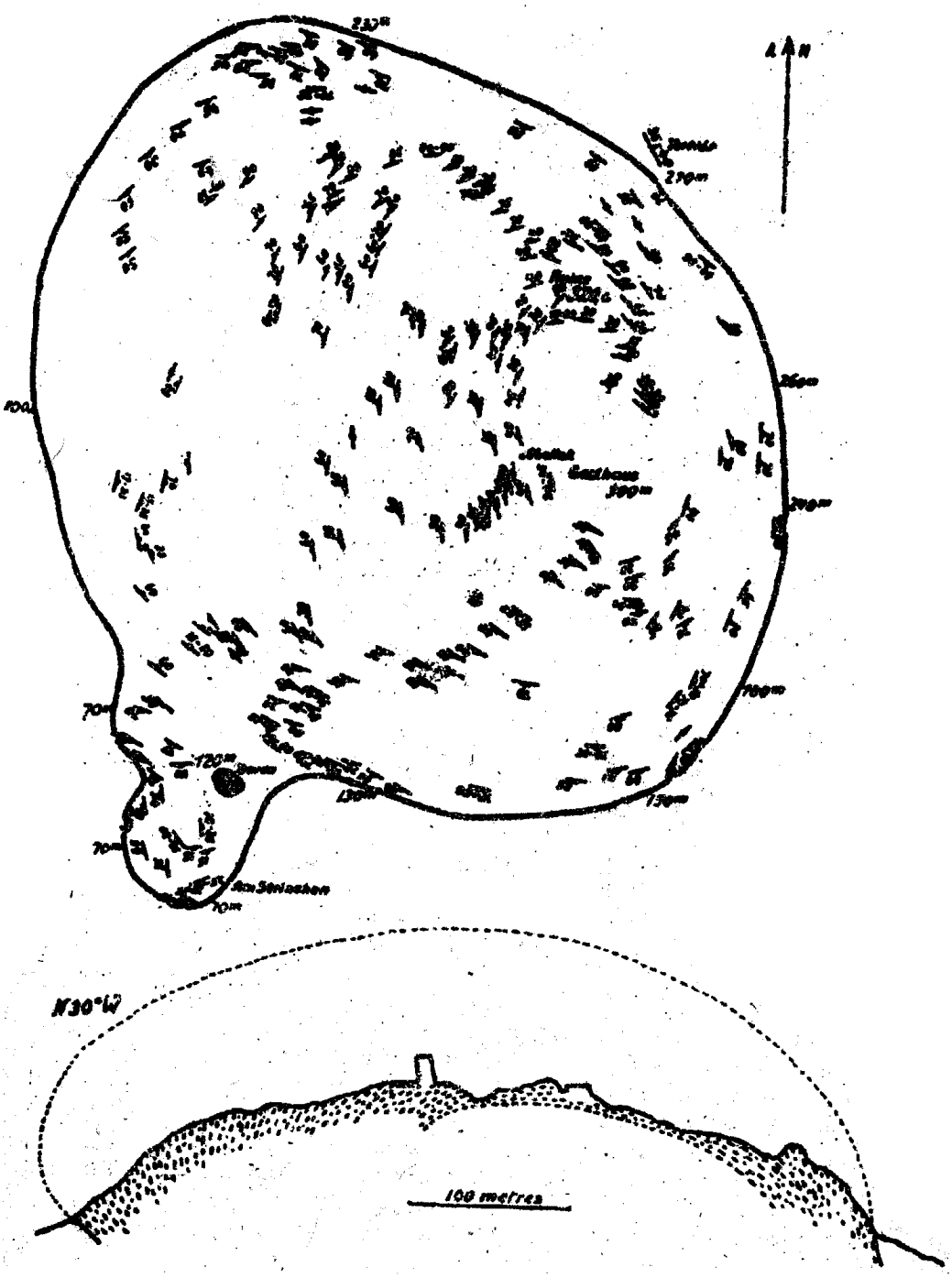


Obr. 45 Schematický blokdiagram prototektonických strukturních prvků v granitovém masívu, podle Cloose a Balka in Ashgirei (1963), L – lineární textury, S – podélné pukliny, Q – příčné pukliny, L – ploché pukliny, R – boční násuny

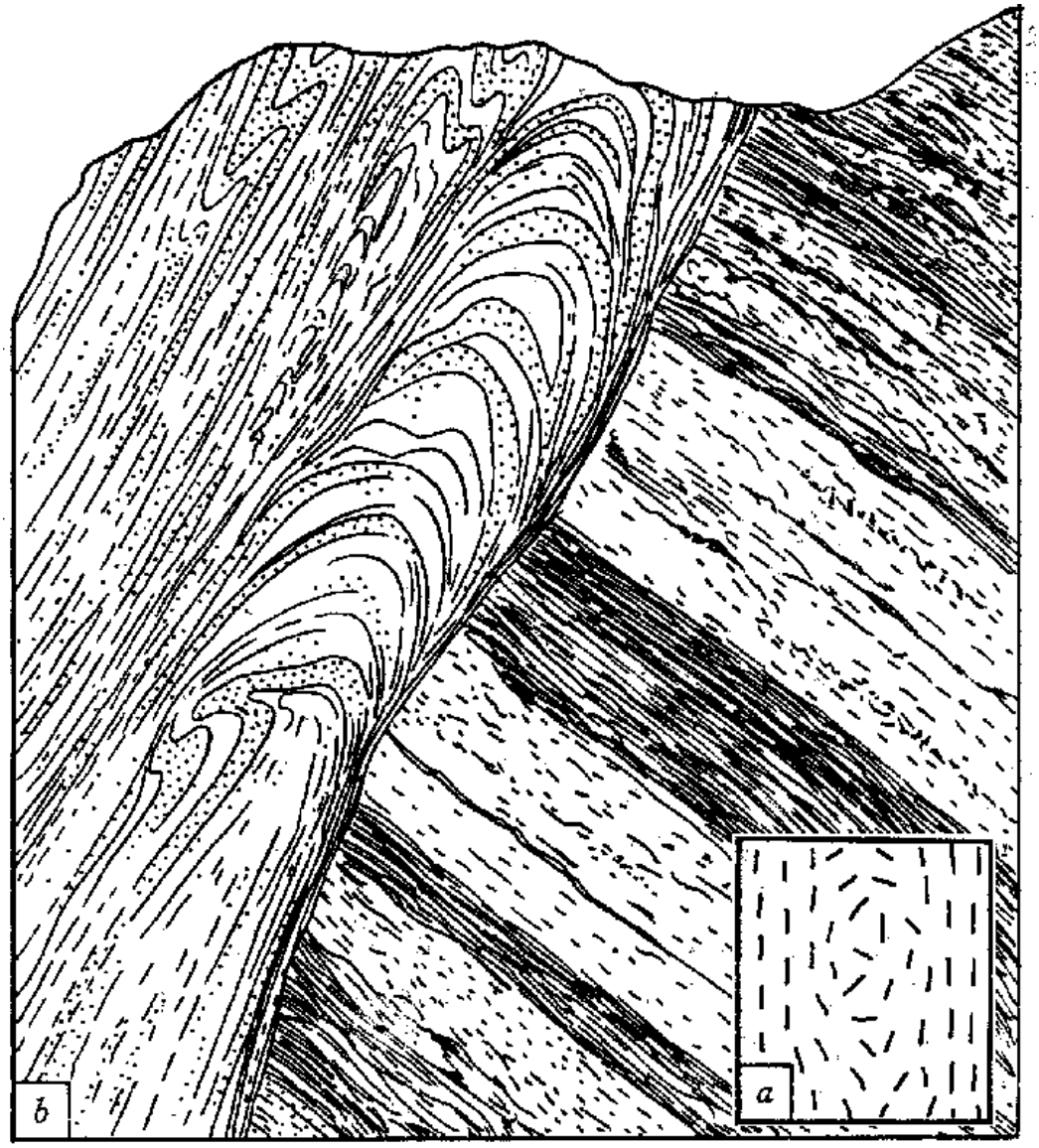
V případě „vytahování“ plutonů již přechází granit do deformačního stádia a orientace minerálů již může nabývat charakteru tektonitu.

Na základě pravidelného geometrického vzájemného vztahu mezi orientací – usměrněním minerálů a puklinami v postorogenetických plutonech je v modelech H. Cloose a R. Ballka odvozováno jejich genetické sepětí. Pro pukliny je používána terminologie tzv. příčných

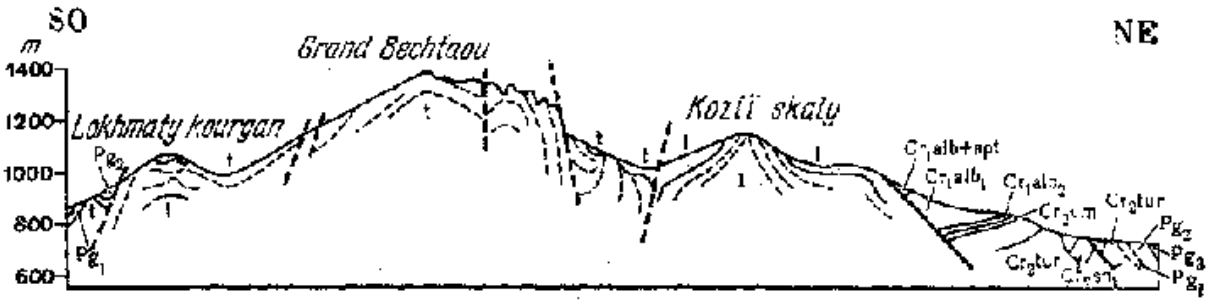
puklin Q (Querklűfte): podélných puklin, S – (Längsklűfte): a L (Lagerklűfte): ležaté pukliny (obr. 44,45).



Obr. 46 Klenba vytvořená planární tokovou stavbou představovanou rovnoběžnou orientací tabulárních živcových vyrostlic v trachytu Drachenfelsu, Bonn (Cloos, 1927)



Obr. 47 Usměrnění krystalů v horninové žíle, a – usměrnění rovnoběžné se stěnami na okraji žíly a neuspořádaná orientace uvnitř intruzívní masy v místech volného toku, b - obloukové uspořádání minerálů v místech toku pod napětím, podle Buddingtona



Obr. 48 Stavba v intruzívních masách tvořených řadou intruzivních dómů, Pavlinov in Belousov (1974)

Obr. 49 Diagramatický profil batolitem s přepokládanými směry toku, vyvolanými tlakem P a roztahováním ve směru S, Hills (1943)

Ve schématech sestavených Balkem a Cloosem jsou zobrazovány ještě diagonální pukliny i když nemají jméno. Podle schématu prototektonické prvky (pukliny) vytvářejí regionální systémy. **Charakteristickým rysem těchto puklin je jak bylo uvedeno jejich omezení pouze na granitový masív**. Výše uvedená schémata „roztahování“ plutonů Cloose a Balka uvažovala pravděpodobně pouze situace tzv. čistého střihu. Dnešní výzkumy potvrzují řadu kinematických situací, ve kterých se při intruzi projevuje horizontální posun tj. transpresní a transtenzní režimy intruzí s charakteristickými režimy synkinematické deformace plutonů, které se zákonitě promítají do tvorby textur. Je nutno dále poznamenat že tyto výzkumy byly provedeny v tzv. ohraničených batolitech (granites circonscrits, Raguin 1963), které jsou charakteristické pro svrchní strukturní patra zemské kůry a výzkum stavby v neohraničených

(granites uncirconscrits – granity přecházejí do migmatitů) nebyla takto komplexně proveden. U plutonů spodních pater zemské kůry (obr. 14), lze předpokládat, že vzhledem k jejich dlouhodobému tuhnutí se již neuplatňují napětí způsobená kontrakcí a „vytahováním“.

Pro výše uvedené modely a empirická pozorování nenacházíme v melechovském masívu podklady. Jednak zde není různorodá textura velkých živcových krystalů, umožňující pozorování stavební anizotropie horniny. Planární stavba lipnické „žuly“ a kouteckého granitu je patrně zděděným nestráveným prvkem starších migmatitů. Přehled o planární a lineární stavbě dávají měření provedená Š. Mrázovou (obr. 4), korelace mezi směry anizotropie magnetické susceptibility a směry puklin v podstatě není.

V odchylných případech uváděných např. Ashgireiem (1963) kdy byly zjištěny jiné typy usměrnění minerálů protiřečící zákonitostem geometrie toku očekávaných v určitém tvaru prostoru vyplňovaného magmatem,. je zapotřebí hledat pro rozpukání jiné vysvětlení. Tím jsou vnější - **exogenetické** příčiny vzniku puklinatosti. Jsou spojeny se začleněním granitoidních těles do regionálního tektonického pole, kdy puklinový systém a poruchy jsou většinou společné pro okolní horniny a pro granity, (obr. 50,51).

Charakteristickým znakem těchto puklin je jejich souhlasná orientace uvnitř žulového tělesa a v plášti plutonu (obr. 50).

Výjimku z výše uvedeného pravidla představují ploše ukloněné pukliny, o kterých bylo pojednáno samostatně. Jestli pukliny budou vytvářet jednotně orientované regionální systémy nejméně kilometrových řádů, do kterých se promítá deformace žulového tělesa jako celku, nebo lokálně směrově variabilní soubory závisí, jak bylo uvedeno, závisí na poměru regionálního a lokálního napětí. Při dominantním převládnutí regionálního napětí (homogenní regionální stresové pole), budou systémy jednotně orientované a pukliny rovné. Při převládajícím lokálním napětí se pukliny budou zakřivovat a budou směrově variabilní (obr. 41).

Do uvedeného schématu vstupuje:

a) vznik nových a oživení starých zlomů, poruch,

b) uplatnění výrazné planární stavby starší deformace, stavby synorogenního granitu, popřípadě planární struktury vzniklé balónovým efektem (pokračující výstup dalších porcí magmatu ve střední části batolitu vede k deformaci starších okrajových částí plutonu). Tyto struktury způsobující výraznou mechanickou nehomogenitu granitoidu,

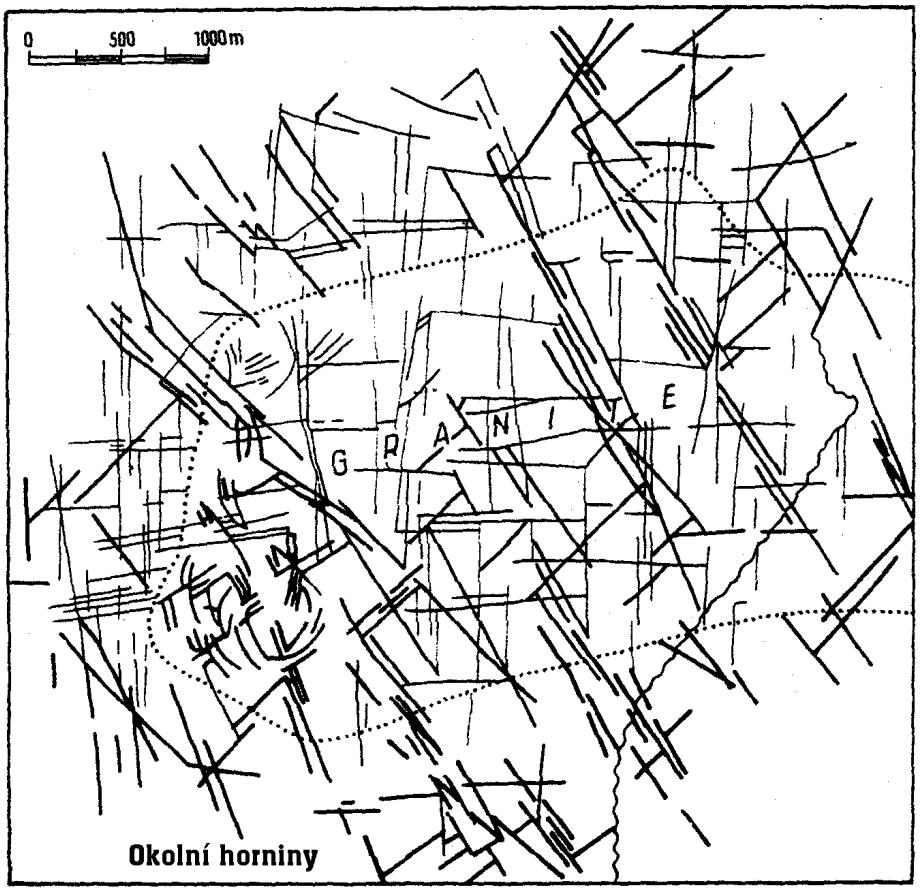
c) lokální vliv přetlaku fluid

d) předpokládaný vliv odlehčení horninového masívu při zachování reziduálního stresu Price & Cosgrove (1990).

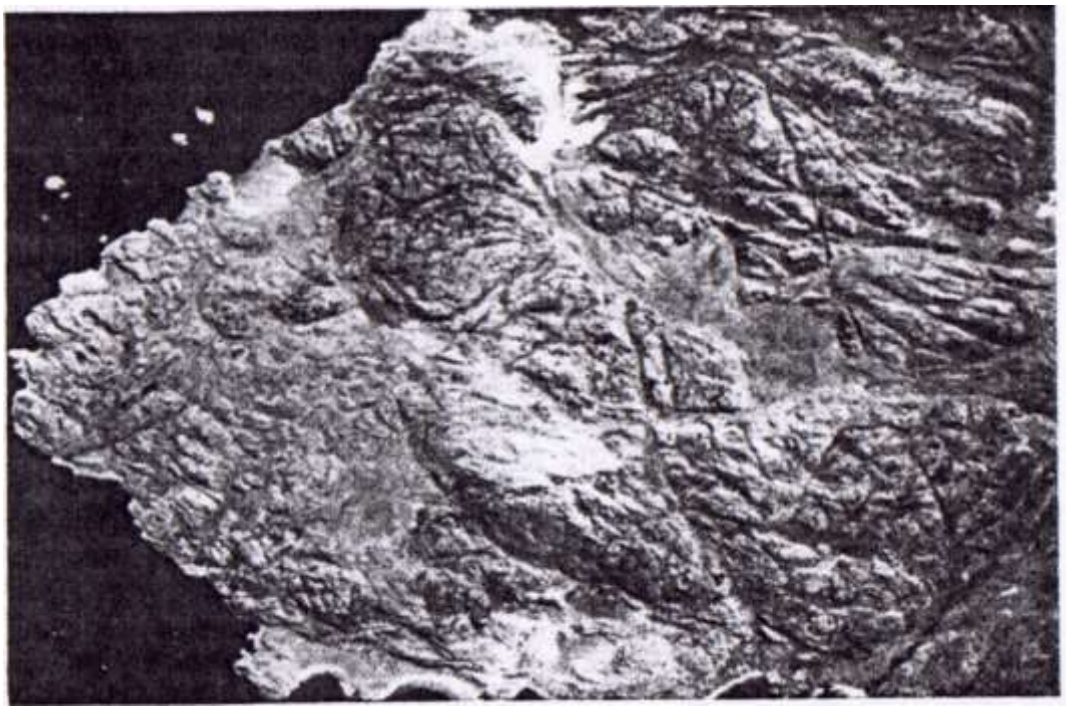
V těchto případech se vytváří tzv. porušené lokální stressové pole. Pukliny proto mohou představovat buďto samostatný tektonický prvek postihující poměrně uniformně celý žulový masív, nebo doprovodný (lokální) fenomen doprovázející vznik poruch. Naopak mladší poruchy mohou využívat starších puklinových (planárních) systémů.

Časové vztahy mezi puklinami a zlomy (horizontálními posuny), zhruba poskytují tři situace:

a) Pukliny jsou starší než zlomy. Starší pukliny jsou rozevírány, střižně postižené v závislosti na jejich orientaci se zpeřenými puklinami nebo žilkami, které se vyvíjejí v místech



Obr. 50 Pukliny v západní části Dšeksanského granitového masívu a v okolních horninách. Pukliny z granitu pokračují do okolních hornin, (Pospelov, 1942)



Obr. 51 Příklad porušení granitů mladšími poruchami několika generací nezávislými na magmatické stavbě. Žulové území oblasti Bohuslän ve Švédsku, podle Cloose (1932)

interakce puklin a zlomů. Starší pukliny si mohou uchovat relikty původní stavby, případně obsahovat deformované pérové struktury a struktury rozdřípení

b) Pukliny vytvořené současně se zlomem odpovídají identickému stressovému poli, ve kterém vznikly zlomy, jejich četnost stoupá směrem ke zlomu (na rozdíl od puklin starších nebo mladších než zlom).

c) Pukliny mladší než zlom jej buďto protínají, nebo na něm končí, aniž by byly zlomem posunuty. Zároveň nejsou v blízkosti zlomu rozevírány a to i v případě, že jsou se zlomem spojeny mineralizované žíly. Pukliny tvořené současně, nebo později se zlomem se mohou stáčet do kolmého směru na zlom a indikovat tak porušení regionálního stressového pole. Na protilehlých stranách zlomu pak může z důvodů mechanické proměnlivosti existovat rozdílné geometrické uspořádání puklin. Geometrické charakteristiky puklin tak mohou být využity pro identifikaci časových vztahů mezi puklinami a zlomy. D.C.P. Peacock (2001).

V oblasti Melechova jsou pukliny příliš směrově stálé na variabilitu granittektonických struktur prezentovanou např.na základě usměrnění ASM (Mrázová, 1998). Z těchto důvodů dáváme při interpretaci jejich vzniku přednost výkladu začlenění hornin do regionálního stressového pole.

1.7 PROBLÉM GENEZE GRANITOIDŮ MELECHOV-SKÉHO MASÍVU A KONCEPČNÍ MODEL VÝVOJE

Pro posouzení vývoje melechovského masívu (obr. 52), se opíráme o následující skutečnosti:

1) Pt podmínky migmatitizace (Lexa et al.) tj. teplota 880^0 a 3 – 5 kb odpovídají hloubkám kolem 10 km. Datování migmatitizace pro moldanubikum na řadě vztahů poukazuje na střednoproterozoické stáří.

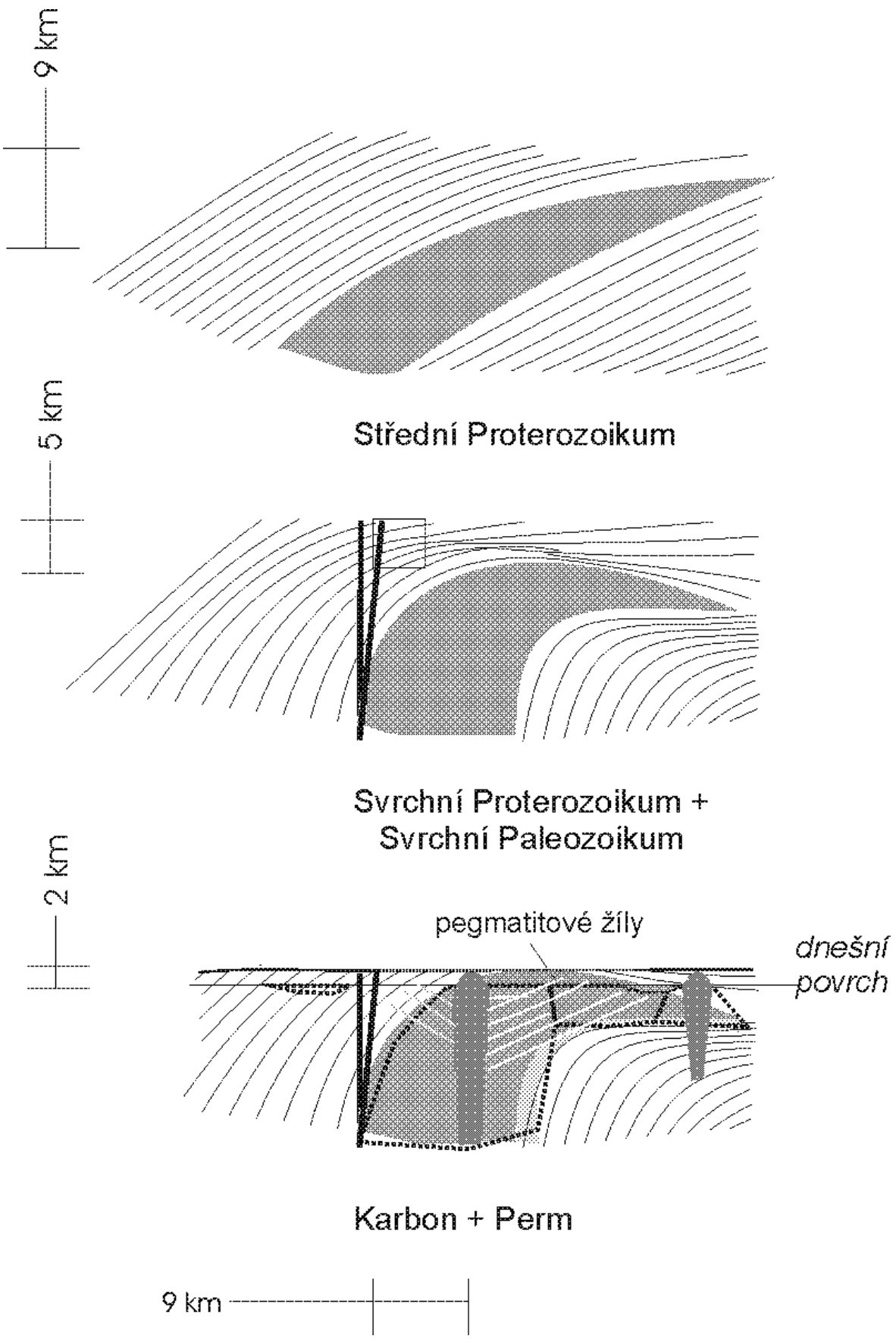
2) Struktury pokročilých migmatitů vytvořily horizont, jehož texturní relikty a geochemické stopy zůstaly nejvíce zachovány v lipnické „žule“.

3) Struktury tj. specifický migmatitový horizont byly později deformovány a vyneseny k povrchu podél hlavního západního zlomu centrálně moldanubického plutonu. Protolit migmatitového horizontu se stal zdrojem lipnického granitoidu a koutského typu a vytváří ploché těleso hustotně připodobitelné žulám v tíhovém profilu.

4) Do tohoto prostředí proniká Melechovský masív jako do svrchního patra, patrně ve svrchním karbonu – spodním permu a působí kontaktní metamorfózu-rekrystalizaci a mobilizaci prvků v kouteckém granitoidu a lipnické žule.

1.8 VYMEZENÍ OBLASTÍ NEJVĚTŠÍHO A NEJMEN-ŠÍHO ROZPUKÁNÍ

Na základě navštívených lokalit se nedá jednoznačně určit oblast největšího porušení jako rozsáhlejší areál. Rovněž jsem nezaznamenal tak porušené horniny, jak jsou známé např. ze středočeského plutonu tj. větší pásma hematitizace, chloritizace. Celkově lze konstatovat, že relativně nejvíce jsou porušeny okrajové části masívu, oblast kolem Světlé, Podivic, j. od Holého vrchu a směrem na j a jv, od Pustého Lhotska.



Obr. 52 Koncepční vývojové schéma Melechovského masívu (s použitím tíhového profilu podle Šrámka et al. 1996)

Relativně nejméně jsou porušeny oblasti:

1) Širší okolí Stvořidel,
2) oblast na z. od Dolního Města mezi Bystrou, Záběhlicemi a Meziklasím.

Celkově lze předpokládat ubývání rozpukání směrem do hloubky. To se projevuje na lokalitě Březek, Stvořidla a Horka u. Březinky (ústní sdělení J. Páša).

1.9 DOPORUČENÍ PRO DALŠÍ PRŮZKUM

Pro doplnění a upřesnění získaného strukturního obrazu území doporučuji:

1. Doměřit pukliny na zbývajících lokalitách s cílem získání co nejúplnějšího obrazu rozpukání masívu.
2. Využít topografických podkladů a metod dálkového průzkumu pro doplnění a zpřesnění dosud určených hlavních směrů rozpukání a zlomového porušení v oblasti.
3. Pokusit se určit/odhadnout hypsometrickou křivku relativního ubývání zvláště horizontálních puklin do hloubky, na opěrných polygonech nebo profilech. Opěrným bodem mohou být některé hlouběji obnažené oblasti s menším rozpukáním, jako jsou Stvořidla, Březek
4. Provést texturní a strukturně-petrologický výzkum vztahů minerálů, deformace z hlediska objasnění geneze granitoidů, výzkum vést přes hranice žul.
5. Geochemický výzkum vést přes hranice žul z důvodů vysvětlení geneze lipnické „žuly“.
6. Provést detailní mineralogický výzkum – např. chemické složení ilmenitů jakožto genetického indikátoru, morfologický výzkum ilmenitů a zirkonů. Vést přes hranice žul.
7. Ověřit hloubku lipnického granitoidu vzhledem k jeho migmatitové povaze.
8. Otestovat možnosti využití reflexně seismických metod (Vibroseis) na zákonitosti výskytu subhorizontálních puklin.
9. Ověřit možnosti využití detailních magnetometrických měření na ploše 10*10 m se směrovým vyhodnocením izolinií pro doplnění měření puklin v zakrytých oblastech.

1.10 ZÁVĚR

V období od 19. září 2000 do 30. 4. 2001 bylo prováděno měření a studium křehkého porušení melechovského masívu podle zadání úkolu ve znění „Strukturně-geologické mapování pro lokalizaci testovacích polygonů v oblasti melechovského masivu“. Bylo proměřeno a vyhodnoceno celkem 53 lokalit (tab. 1), tj.větších a menších lomů, zářezů silnic a tratí, přirozených odkryvů. Celkem bylo získáno 3000 měření puklin, rýhovaných puklin, zlomů a pegmatitových žil. Tzv. Lipnická žula se jeví podle terénního posouzení jako rekrystalizovaný a deformovaný nebulitický migmatit, postižený před hlavními etapami rozpukání ještě násunovýni střižnými zónami a rekrystalizací. Typovou lokalitou jsou výchozy mezi hřbitovy v Lipnici, kde je jednoznačně vyvinuta původní metamorfní foliace hornin a dále na sever pod hradem mladší křehce duktilní zóny, které ji porušují. Křehce

duktilní zóny a metamorfní foliace jsou nejstaršími deformačními projevy uvnitř tělesa melechovského masívu. Lipnický a koutský typ žuly jsou pronikány *pegmatitovými roji žil*. Tyto žíly o malé mocnosti (největší zjištěná mocnost ca 20 cm jsou na jednotlivých studovaných lokalitách směrově a mají stálou mocnost stálé a to i na stometrové vzdálenosti (lom Březek). Podle dosavadních pozorování mají tendenci upadat ploše pod malými úhly (10 – 30 stupňů) směrem do středu masívu, tj. na východní straně směrem na západ, na západní směrem na s. a sv. Z tohoto hlediska se jeví jako jediný projev tzv. granitové tektoniky připodobitelný k okrajovým pegmatitovým žilám studovaným Cloosem v nevadské žule. Z tohoto hlediska jsou i možným doprovodným jevem mladší intruze žuly centrální části melechovského masívu tj. vlastního melechovského typu, do původních migmatitů lipnické žuly a granitů koutského typu.

Všechny *pukliny* s výjimkou přípovrchových exfoliačních puklin ca do hloubek max. 3 m, jsou projevy tříštivé tektoniky v pevné žule. Pukliny nesou rysy klasického zlomového porušení v křehkém materiálu tj. Riedelovy střihy, ohlazy, pérové struktury, struktury rozdřípení (Hodgson, 1961).

Překvapivá je regionální směrová stálost hlavních puklinových systémů. Jako směrově nejstálejší (v rámci načítacího okna 2 stupňů) se jeví systém ZSZ – VJV. Směrová stálost puklin zsz. – vjv. puklin potvrzuje naprosto dominantní vliv regionálního stressového pole na jejich vznik, převládajícího nad lokálním napětím.

Důležité zjištění je interakce starších subhorizontálních puklin s mladšími vertikálními. Vertikální pukliny se na starších subhorizontálních rozvětvují podobně jako zlomy v pokusech s horizontálními posuny nad zlomy fundamentu. Uvedený jev dokládá, že v případě melechovského masivu některé horizontální pukliny vznikly již v rané fázi křehkého porušení. Toto konstatování má významný dopad na interpretaci vzniku horizontálních puklin, které jsou autorem považovány za reakci homogenního tělesa na příčné stlačení.

1.11 LITERATURA

Anderson, F. D. (1951): The dynamics of faulting.- Oliver & Boyd. Edinburgh

Ashgirei, G. D.(1963): Strukturgeologie.- VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften. Berlin.

Béloussov, V. (1974): Géologie structurale.- Éditions Mir, Moscou.

Cloos, H. (1923): Das Batholitenproblem.- Fortschr. Geol. Paläontologie,1,1-80.

Cloos, H.,Balk, R., Cloos,E., Scholtz, H. (1927): Die Plutone des Passauer Waldes, ihr Bau und Werdegang und ihre innere Tektonik. (Tektonik und Magma III.)122 Abn. Berlin.

Coubal, M. (1994): Zpráva o strukturně geologickém výzkumu na lokalitě melechovský masív.- MS Archiv ČGÚ.

Coubal, M. (1995): Detailní studium křehkých deformací na lokalitě melechovský masiv.- Archiv ČGÚ.

Drábek, M. (1994) : Mineralogie horninového prostředí a výplní projevů křehkých deformací v melechovském masívu.- Archiv ČGÚ. Praha.

Hills, E. S.)1943): Outlines of structural geology, 2nd edition. London.

Hoeppener, R. (1955): Tektonik im Schiefergebirge.- Geol. Rdsch., 44:26-58.

Chapman, C. A. & Rioux, R. L. (1958): Statistical study of topography, sheeting and jointing in granite, Acadia National Park, Maine.- Am. J. Sci. 256, 111.

Jahns, R.H. (1943): Sheet structures in granites: its origin and use as a measure of glaciation erosion in New England.-J. Geol., 51, 2, 71 – 98

Klečka, M., Rajlich, P. (1984): Subhorizontal shear zones at the mantle and western periphery of the central massif of the Moldanubian pluton. Věst.Ústř.Úst.geol., 59, 275-282. Praha. (in Czech)

Košťák, B. & Zeman, J. (1982): Tektonofyzikální model deformace souvrství s pružnou kompetentní vrstvou.- Čas. mineral. geol., 27, 1

Lexa, O., Schulmann, K., Táborská, Š., Tolar, V. (1999) Strukturní výzkum Melechovského masívu.- Univ. Karlova, Přírodovědecká fakulta, Ústav petrologie a strukturní geologie.

Olson, J. & Pollard, D. D. (1989): Inferring paleostresses from natural fracture patterns: A new method.- Geology, 17, 345 – 348.

D.C.P. Peacock (2001) The temporal relationship between joints and faults.- Journal of Structural Geology, Vol. 23 (2-3), (2001) pp. 329-341

Pospelov, G. L. (1942) Matěrialy k tektonike intruzivov .- Izv. Tomsk. industr. in-ta 62,t. 62, vyp. I, 39 – 106.

Price, N. J. (1966): Fault nad joint development in brittle and semi-brittle rock.- Pergamon Press. Oxford.

Price, N. J. & Cosgrove, J. W. (1990): Analysis of geological structures.- Cambridge University Press

Procházka, J. a kol. (1998) : Geologický výzkum testovací lokality „Melechovský masív“.- ČGÚ. Praha.

Ramasy, J.G., Huber, M. T. (1987): The techniques of modern structural geology.- Vol. 2, Folds and Fractures, Academic Press, London.

Reches, Z. (1978): Analysis of faulting in three dimensional strain field.- Tectonophysics, 47,109 –129.

Reches, Z. (1983): Faulting of rocks in three dimensional strain field, II. Theoretical analysis.- Tectonophysics, 95, 133 – 156.

Schulmann, K., Lexa, O. (2000): Výzkumné práce na projektu strukturně geologického výzkumu na lokalitě Melechov za rok 2000.-) Ustav Petrologie a Strukturní geologie, Albertov 6, 128 43 Praha 2.

Schulmann, K., Konopásek, J., Štípská, P., Táborská, Š., Ulrich, S., Venera, Z., Hrouda, F.,Hanák, J., Ondra, P., Wolgemuth, J. (1997): Studie strukturních poměrů melechovského masívu a fyzikálních vlastností jeho hornin.

Schulmann, K., Venera, Z., Konopásek, J., Lexa, O. (1998): Strukturní a petrologický výzkum Melechovského masívu.- Ústav petrologie a strukturní geologie, Přírodovědecká fakulta University Karlovy.

Šerman, S.I., Bornjakov, S. A., Buddo, V. Ju. (1983): Oblasti dinamičeskovo vlijanija razlomov – (rezultaty modělirovanija).- AN SSSR, sibirskoje otd., Inst.zemnoj kory. Nauka sib. otd.,111s. Novosibirsk.

Tchalenko, J. S. (1970): Similarities between shear zones of different magnitudes.- Geol. Soc. Amer. Bull., 81,6,1625 –1640.

Turner, F. J. (1955): Nature and dynamic interpretation of deformation lamellae in calcite of three marbles.- Am. J. Sci, 251: 276-298; New Haven, CT.

Zulauf,G. (1990): Spät-bis postvariszische Deformationen und Spannungsfelder, in der nördlichen Oberpfalz (Bayern) unter besonderer Berűcksichtigung der KTB- Vorbohrung.- Frankfurter geowissenschaftliche Arbeiten, Serie A, Bd. 8 Frankfurt am Main.