



Strukturně-geologický vývoj jižní části Moravského krasu

Dizertační práce

Mgr. Jiří Rez

Vedoucí: prof. RNDr. Jiří Kalvoda, CSc.
Konzultant: doc. RNDr. Rostislav Melichar, Dr.

Brno 2010

Bibliografické údaje:

Jméno a příjmení autora: Jiří Rez
Název dizertační práce: Strukturně-geologický vývoj jižní části Moravského krasu
Název v angličtině: Tectonic history of the southern part of the Moravian Karst
Studijní program: Geologie
Studijní obor (směr), kombinace oborů: Geologické vědy se zaměřením
Školitel: prof. RNDr. Jiří Kalvoda, CSc.
Rok obhajoby: 2010

Anotace:

Stavba jižní části Moravského krasu je příkrovová. Byly rozlišeny dvě generace násunů. Násuny starší generace T_1 oddělují dva stejně staré, ale faciálně odlišné vývoje: mělkovodní hostěnický, charakteristický silně kondenzovanou sedimentací, a hlubokovodnější vývoj horákovský, charakteristický mocnými sledy kalciturbiditů. Násunová zóna se složitou šupinovitou stavbou je dokumentována v lomech Mokrý a vrtech (např. SV1). Tyto starší násuny jsou porušeny násuny generace T_2 . Během nasouvání byly násuny T_1 zvrásněny ve výrazné antiformy v nadloží a synformy v podloží násunů mladší generace T_2 . Starší generace násunů vznikla současně s hlavním nasouváním kulmských příkrovů ve visé, mladší generace násunů vznikla v reakci na pravostranné horizontální pohyby podél moravské střížné zóny ve westphalu. Takto vzniklá stavba byla porušena sítí mladších zlomů několika generací. Napjatostní analýza zlomů rozlišila tři napjatostní fáze, které jsou kompatibilní s fázemi získanými napjatostní analýzou založenou na mechanickém dvojčatění kalcitu.

Annotation:

The Southern part of Moravian Karst has nappe structure. Two generations of thrust faults were recognized. Older T_1 thrusts juxtaposed two different coeval facies: condensed shallow-water Hostěnice facies and deeper-water Horákov facies with huge thicknesses of calciturbiditic sequences. The thrust zone with complex inner structure is documented in Mokrý quarries and in boreholes (e.g. SV1). These older thrusts were offset by younger T_2 thrusts. T_1 thrusts were folded into antiforms in hanging-walls and into synforms in foot-walls of T_2 thrusts. T_1 thrusting was coeval with the main nappe stacking of Culmian flysch during Viséan; T_2 thrusting can be linked to the dextral shearing along the Morava shear zone in Westphalian. This fold/thrust structure underwent several faulting events. Fault-slip data stress analysis yielded three stress-states, which are compatible with stress-states yielded by calcite twinning stress inversion.

Klíčová slova:

Moravský kras, příkrovy, násuny, napjatostní analýza, dvojčatění, kalcit

Key words:

Moravian Karst, nappes, thrusts, stress analysis, twinning, calcite

Prohlášení:

Na předkládané práci jsem pracoval samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval a uvedl v seznamu literatury. Svoluji k zapůjčování práce v knihovně.

Jiří Rez

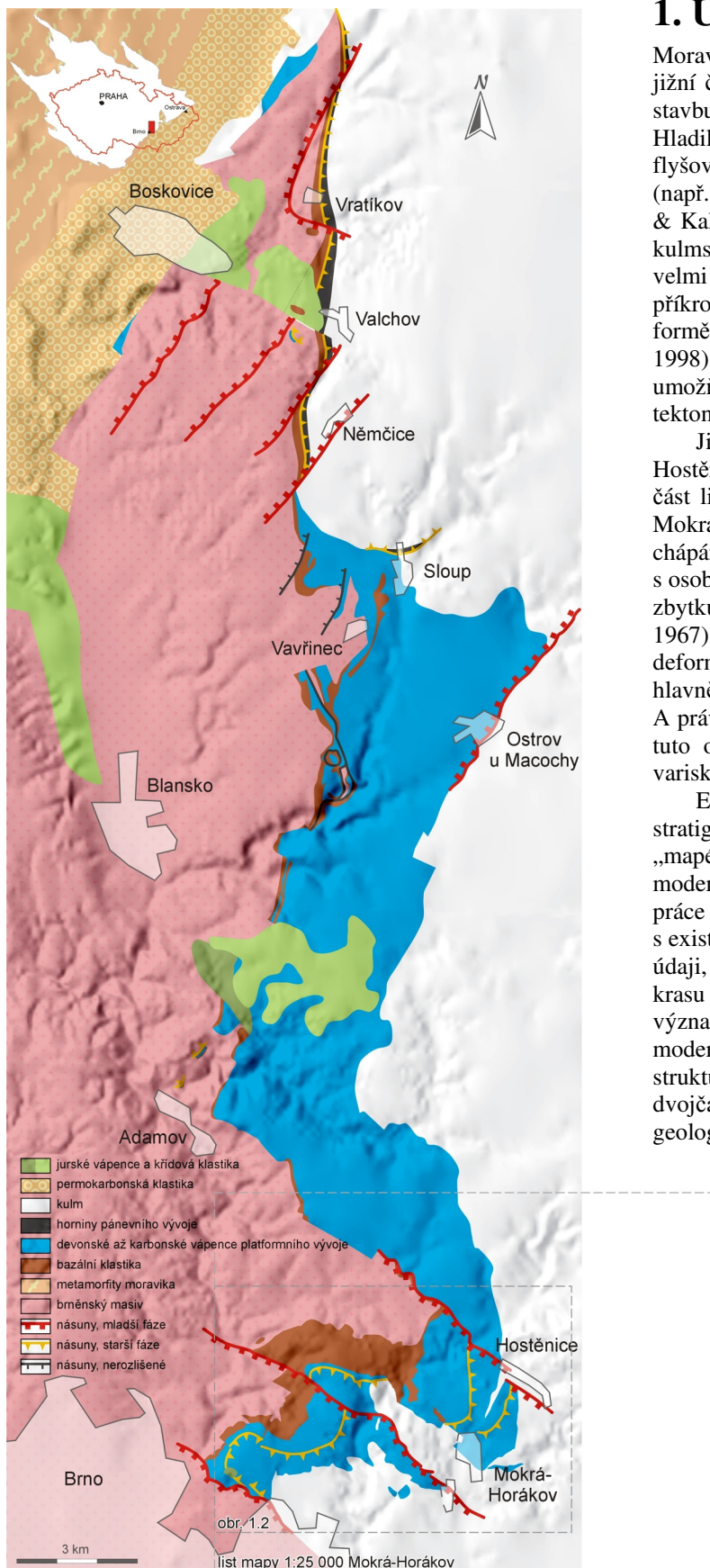
Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval prof. Kalvodovi za trpělivost, podporu a určení mikrofauny, doc. Melicharovi za podporu, inspiraci a kritické připomínky, které celou práci vždycky posunuly dál, a dr. Otavovi za poskytnutí terénní dokumentace J. Dvořáka a L. Maštery.

děkuji...

Obsah:

1. Úvod.....	1
2. Historie výzkumů.....	3
3. Metodika	7
4. Stratigrafie a faciální vývoj.....	9
4.1. Přehled facií	9
4.2. Lomy Mokrý	10
4.3. Vybrané profily v oblasti	10
4.4. Vybrané vrty	11
5. Strukturní data.....	13
5.1. Vrássová deformace	13
5.2. Struktury odlepení.....	17
5.3. Násunové zlomy.....	18
5.4. Zlomová stavba.....	22
5.5. Napjatostní analýza kalcitových dvojčat.....	24
6. Diskuse.....	30
6.1. Diskuse Dvořákovy koncepce.....	30
6.2. Diskuse pozorované stavby.....	30
6.3. Diskuse napjatostní analýzy	32
6.4. Problém křtinských/hlíznatých vápenců	34
7. Závěry	36
8. Literatura.....	37
Příloha 1: Seznam dokumentačních bodů.....	41
Příloha 2: Přehled stratigrafických vzorků.....	55
Příloha 3: Přehled měření orientace kalcitu	57
Příloha 4: Mapa lokalizací obrázků použitých v textu a vybraných dokumentačních bodů.....	65



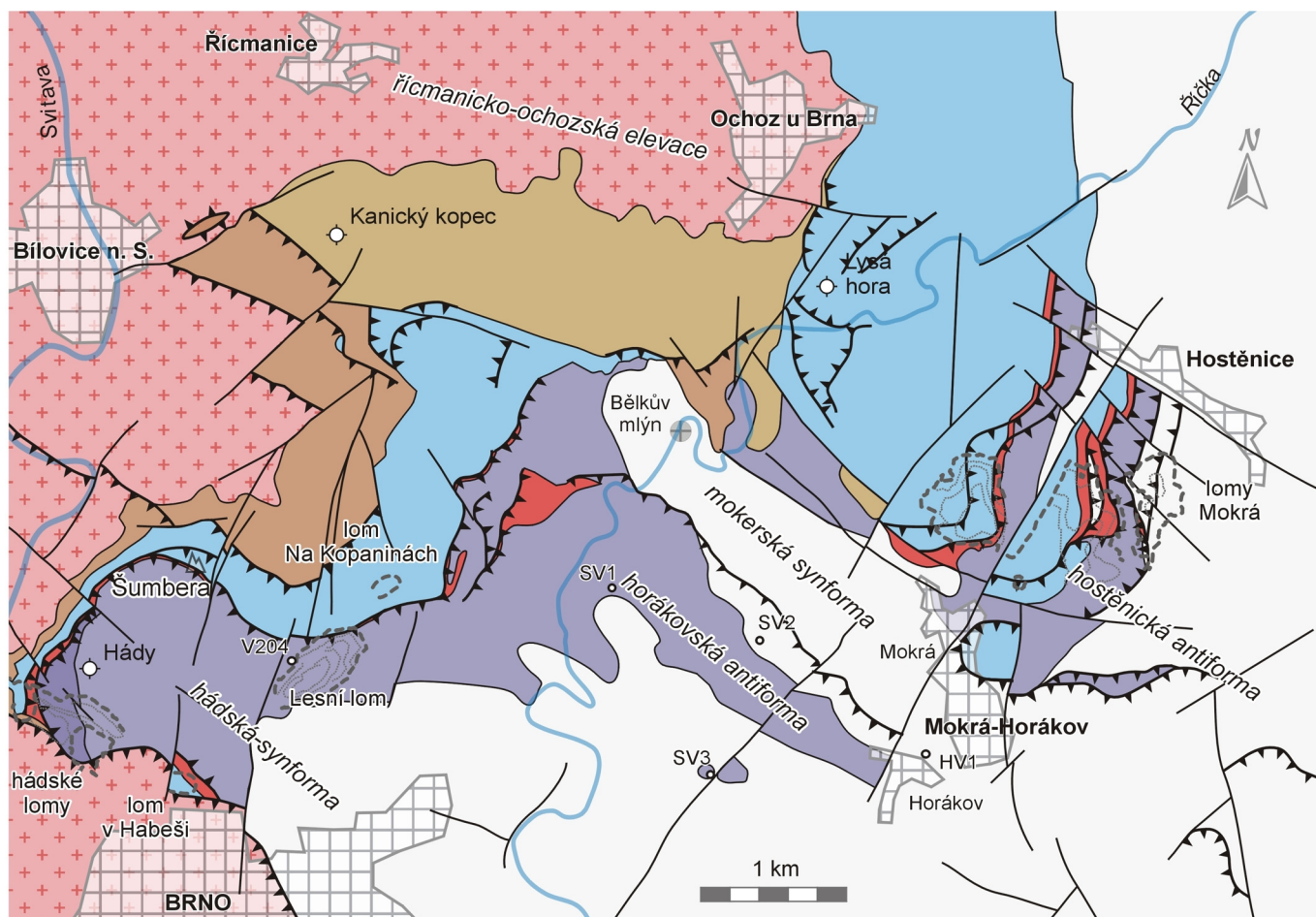
Obr. 1.1: Zjednodušená obkrytá mapa východního okraje brněnského masivu (upraveno podle Buday 1996, Dvořák & Pták 1963, Hladil 1987b, Melichar & Kalvoda 1997).

1. Úvod

Moravskoslezské paleozoikum, jehož nedílnou součástí je i jižní část Moravského krasu, má nepochybně příkrovovou stavbu (např. Bábek et al. 2006, Čížek & Tomek 1991, Hladil & Melichar 1999, Schulmann et al. 1991). A to nejen flyšové příkrovy kulmu, ale i podložní předflyšové sledy (např. Čížek & Tomek 1991, Dvořák et al. 2005, Melichar & Kalvoda 1997, Rez et al. v tisku). Relativně monotónní kulmské sledy umožňují rozlišení příkrovové tektoniky velmi omezeně, a to v podstatě pouze pokud jsou na příkrovových plochách přítomny „exotické“ horniny ve formě tektonických šupin (např. Chadima & Melichar 1998). Oproti tomu faciálně pestré předflyšové sekvence umožňují poměrně přesně dešifrovat kinematiku příkrovové tektoniky moravskoslezského paleozoika.

Jižní část Moravského krasu je oblast zhruba mezi Hostěnicemi a Brnem (obr. 1.1, 1.2), která zabírá značnou část listu Základní geologické mapy ČR 1:25000, 24-413 Mokrá-Horákov (obr. 1.1). Jižní část Moravského krasu je chápána jako víceméně samostatná strukturální jednotka s osobitým geologickým vývojem, poněkud odlišným od zbytku Moravského krasu (Bábek et al. 2006, Dvořák 1967). Hlavním rozdílem, kromě celkově nižší teploty deformace (Bábek & Otava 2006, Franců et al. 2002), je hlavně přítomnost značných mocností líšeňského souvrství. A právě faciálně pestré sedimenty líšeňského souvrství činí tuto oblast zajímavou pro studium kinematiky a stavby variských externid.

Existuje relativně velké množství faciálních a stratigrafických dat, plody dlouholeté práce paleontologů a „mapérů“, která ale zatím nebyla zasazena do jednotného, moderně pojatého strukturálního plánu. Hlavním cílem této práce je syntetizovat existující a nová strukturální data s existujícími i novými faciálními a litostratigrafickými údaji, vytvořit funkční model stavby jižní části Moravského krasu a nastínit její deformační historii. Neméně významným cílem je provést napjatostní analýzu oblasti moderními metodami: mnohonásobnou inverzí zlomových struktur a napjatostní analýzou založenou na mechanickém dvojčatění kalcitu, která je zatím v českých strukturně-geologických vodách zcela nová.

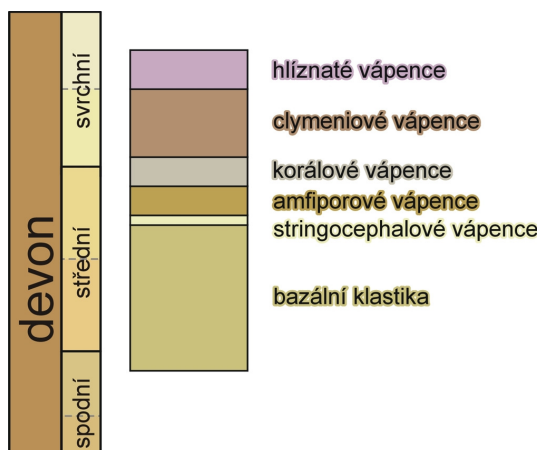


Obr. 1.2: Zjednodušená odkrytá geologická mapa jižní části Moravského krasu (upraveno podle Dvořák 1997b, Hladil 1987b, Hladil et al. 1991). Uvedeny jsou také názvy hlavních struktur použité dále v textu (upraveno podle Dvořák 1967).

2. Historie výzkumů

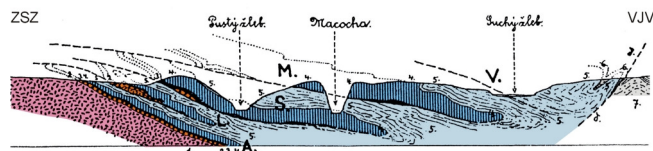
Celou historii výzkumů Moravského krasu lze vystihnout čtyřmi jmény: Zapletal, Kettner, Dvořák, Hladil, i když by se slušelo připsat ke každému z nich několik dalších jmen spolupracovníků. A přesně v tomto pořadí se také střídaly koncepce tektonické stavby oblasti. Následující řádky se pokusí vyzdvihnout podstatné práce, jak strukturně-geologické, tak stratigrafické a nastínit tak historické pozadí pro diskusi stavby jižní části Moravského krasu.

Jednu z prvních ucelených tektonických koncepcí publikoval Zapletal (1922a). Tektonická stavba Moravského krasu vznikla podle Zapletala ve třech fázích: 1) jako první vznikly podélné vrásy směru S-J; 2) ve druhé fázi byly podélné vrásy převrásněny příčnými a porušeny přesmyky; 3) vzniklá stavba byla porušena poklesovými zlomy SSZ-JJV a SSV-JJZ směrů. Publikoval také geologické mapy (Zapletal 1922b, 1927), které již zachytily hlavní rozložení horninových typů v oblasti. Vyčlenil také základní typy vápenců (obr. 2.1). Pokorný, který mapoval jižní část Moravského krasu na sklonku 40 let (Pokorný 1949, 1950), se při interpretaci přidržel Zapletalova konceptu. Jeho mapa však opět obsahuje některé zajímavé detaily (např. překocené vrásy v údolí Říčky), i když nezahrnuje strukturně velmi složitou oblast dnešních lomů Mokrá.



Obr. 2.1: Stratigrafické schéma Moravského krasu (Buday 1996, Zapletal 1922a).

Příkrovovou stavbu Moravského krasu a přilehlých oblastí (němčicko-vratíkovského pruhu a brněnského masivu) koncipoval Kettner ve čtyřicátých letech dvacátého století (Kettner 1942, 1947, 1949). Rozpoznal dvě různé devonské facie: facii Moravského krasu (karbonátovou) a facii drahanskou (břidličnou). Poněkud mladší mělkovodní facie Moravského krasu byla během variské orogeneze ještě před sedimentací kulmu včetně podložního brněnského masivu nasunutá od západu na facii drahanskou podél tzv. drahanského nasunutí během tzv. bretonské fáze (Kettner 1949, 1967). Po sedimentaci kulmu, který podle Kettnera na takto vzniklou stavbu transgredoval, došlo k obnovení násunových pohybů (tzv. asturská fáze), během nichž byly předkulmské sledy nasunuty na kulm (Kettner 1949, Kettner & Prantl 1942). Také samotná facie Moravského krasu má předkulmskou příkrovovou stavbu. Kettner pozoroval čtvero opakování amfiporového horizontu v tzv. světlých vápencích (lažánecké vápence v dnešním smyslu). Vysvětlil je existencí čtyř k východu se ponořujících, od západu nasunutých ležatých vrás s „vyválcovanými“ překoceními rameny (\approx vrásových příkrovů) opírají se o



Obr. 2.2: Příklad Kettnerova geologického řezu Moravským krasem (Kettner 1949); Legenda: 1-brněnský masiv; 2-bazální klastika; 3-stringocephalové vápence (josefovské); 4-amfiporové vápence (lažánecké); 5-korálové vápence (vilémovické); 6-červené vápence hlíznaté (křtinské); 7-kulmské droby; A-autochton; L-lažánecká vrása; S-suchdolská vrása; M-macošská vrása; V-vavřínecká vrása (jediná nemá amfiporové vápence).

mnohé profily v severní části Moravského krasu (např. obr. 2.2).

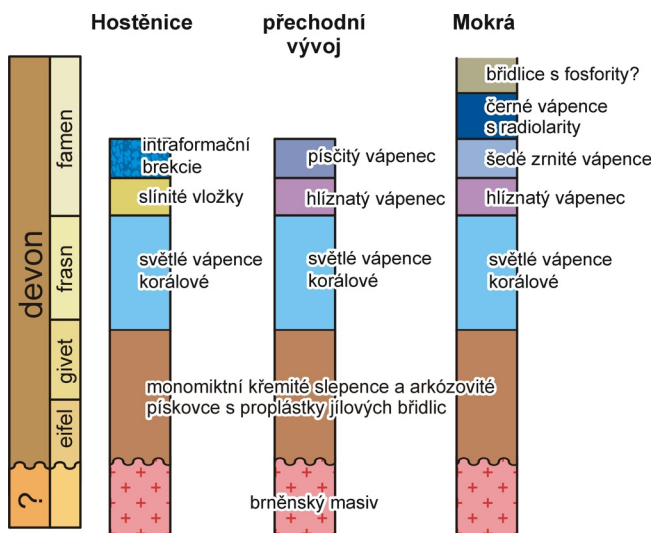
V jižní části Moravského krasu pracoval Kettnerův žák Josef Jarka (1948). Mapoval území od Křtin po Mokrou s cílem ověřit příkrovovou stavbu definovanou Kettnerem i v jižní části Moravského krasu. Tuto koncepci však nepotvrdil (avšak sám přímo nevyvrátil). Zjistil, že opakování amfiporového horizontu ve světlých vápencích není tektonické, ale že jde o různě staré vrstvy. Kettner (1967) to vysvětlil jednoduše: protože se celá stavba Moravského krasu uklání k severu, je na jihu zachována pouze autochtonní série. Také Jarka vyslovil názor, že v jižní části je zachována pouze bazální násunová plocha nejspodnější - lažánecké vrásy v podobě hlíznatých křtinských vápenců. V souladu s Kettnerem považoval tektonickou stavbu za předkulmskou, hranici s kulmem za transgresivní, reaktivovanou během mladších variských pohybů. Disproporcí v sedimentárním sledu jižně a severně od říčmanicko-ochozské elevace (různě mocná bazální klastika a absence josefovských vápenců na jih od říčmanicko-ochozské elevace) vysvětlil Jarka blíže nespecifikovaným tektonickým sblížením různých sedimentárních sledů během variské orogeneze.

Z dnešního pohledu je velmi přínosná publikace Prantla (1948), který spolupracoval s Kettnerem na severu Moravského krasu (Kettner & Prantl 1942). Prantl si povšiml faciálních rozdílů v dnešním líšeňském souvrství a definoval dva odlišné, avšak stejně staré faciální vývoje: mělkovodnější maloměřický a hlubokovodnější líšeňský vývoj (obr. 2.3). Styk obou facií je podle Prantla tektonický, líšeňský vývoj včetně podložního brněnského masivu je nasunut na maloměřický podél plochého zlomu odhaleného v Růženině lomu na Hádech (Prantl 1948).

		maloměřický vývoj	líšeňský vývoj
devon	famen	tmavé deskovité vápence s vložkami břidlic, které směrem do nadloží převládají, bez radiolaritových rohovců	tmavé deskovité vápence s podřízenými vložkami břidlic a radiolaritovými rohovci
		šedé brekciovitité vápence	šedé brekciovitité nebo celistvé vápence
	frasn (givet?)	hrubě lavicovitá nebo masivní světlé vápence "korálové"	dobře zvrstvené, tříštinaté kalové vřpence "amfiporové"
		polymiktní bazální slepenec s vápnitým nebo arkózovým tmelem	?

Obr. 2.3: Srovnání mělkovodního maloměřického a hlubokovodnějšího líšeňského vývoje devonské karbonátové sedimentace v jižní části Moravského krasu (Prantl 1948).

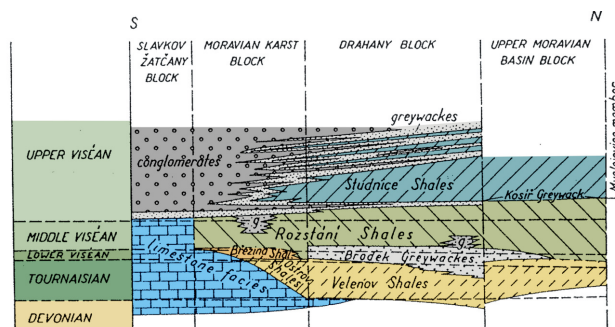
Také Slezák (1956) rozlišil v okolí Mokré dva od famenu odlišné vývoje: vývoj hostěnický a vývoj Mokré (obr. 2.4), které však do sebe laterálně přecházejí (přechodní vývoj). Z tektonického hlediska považoval za nejdůležitější východovergentní násuny severojižního směru, které území rozdělily do čtyř dílčích ker. Tyto násuny porušují také břidlice rozstaňského souvrství. Slezák proto kladl hlavní fázi deformace do krátkého hiátu mezi sedimentací rozstaňských břidlic a slepenců myslějovického souvrství, během kterého došlo k násunu vápenců na kulm. Tato starší stavba byla následně porušena sz.-jv. zlomy.



Obr. 2.4: Stratigrafické schéma okolí Mokré-Horákov (Slezák 1956).

V padesátých letech začal v moravskoslezském paleozoiku pracovat Jaroslav Dvořák. Již prvními pracemi nastínil základní prvky své koncepce (Dvořák 1957, 1958, Dvořák & Pták 1963), která byla po následující desetiletí základem chápání geologie moravskoslezského paleozoika. Zpočtybnil násunovou koncepci tektoniky Moravského krasu a rozpoutal tak ostrou diskusi s Kettnerem (Kettner 1958, 1967). Kettner nazíral na stavbu moravskoslezského paleozoika velmi mobilisticky (příkrovová stavba zahrnující i horniny podložního brněnského masivu, vzniklá velkým laterálním zkrácením kůry), inspirován svými výzkumy v Západních Karpatech, kdežto Dvořák vysvětloval pozorované jevy atektonicky (díličními transgrese a regrese, případně gravitačními skluzy) se zdůrazněním vertikálních pohybů kůry.

Kettnerova koncepce, ač založená na mnohých veskrze správných pozorováních, měla několik zjevných nedostatků. A to hlavně: 1) opakování amfiporových vápenců mylně interpretované jako tektonické a 2) vyvráždění vápenců před sedimentací kulmu během tzv. bretonské fáze. Již Jarka (1948) prokázal různé stáří amfiporových vápenců a vyvrátil tak jejich tektonické opakování. Pozdější výzkumy (např. Zukalová 1971), které vyvrcholily prací Hladila (1983), jasně prokázaly cykličnost sedimentace macošského souvrství a tedy sedimentární opakování amfiporových vápenců. Bretonská fáze, jejíž existence byla hlavním tématem diskuse v 50. a 60. letech, byla založena na domněle jiném tektonickém stylu podložních vápencových a nadložních kulmských sledů, zdánlivě transgresivním kontaktu kulmu a předpokládala hiát mezi vápencovou a kulmskou sedimentací. Chlupáč a Dvořák však postupně přinesli paleontologické důkazy, které dokázaly „nepřerušenu“ sedimentaci mezi vápencovým devonem a kulmem (např. Dvořák 1958,

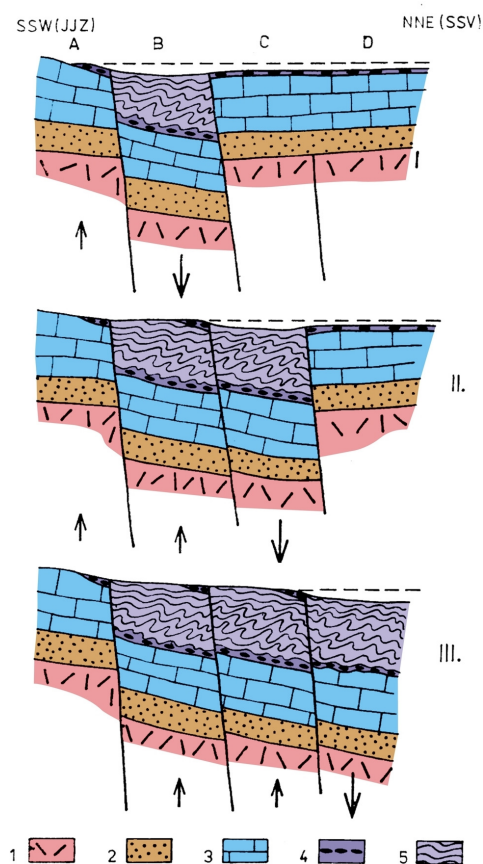


Obr. 2.5: Stratigrafické schéma jižní části moravsko-slezského paleozoika (Dvořák 1973).

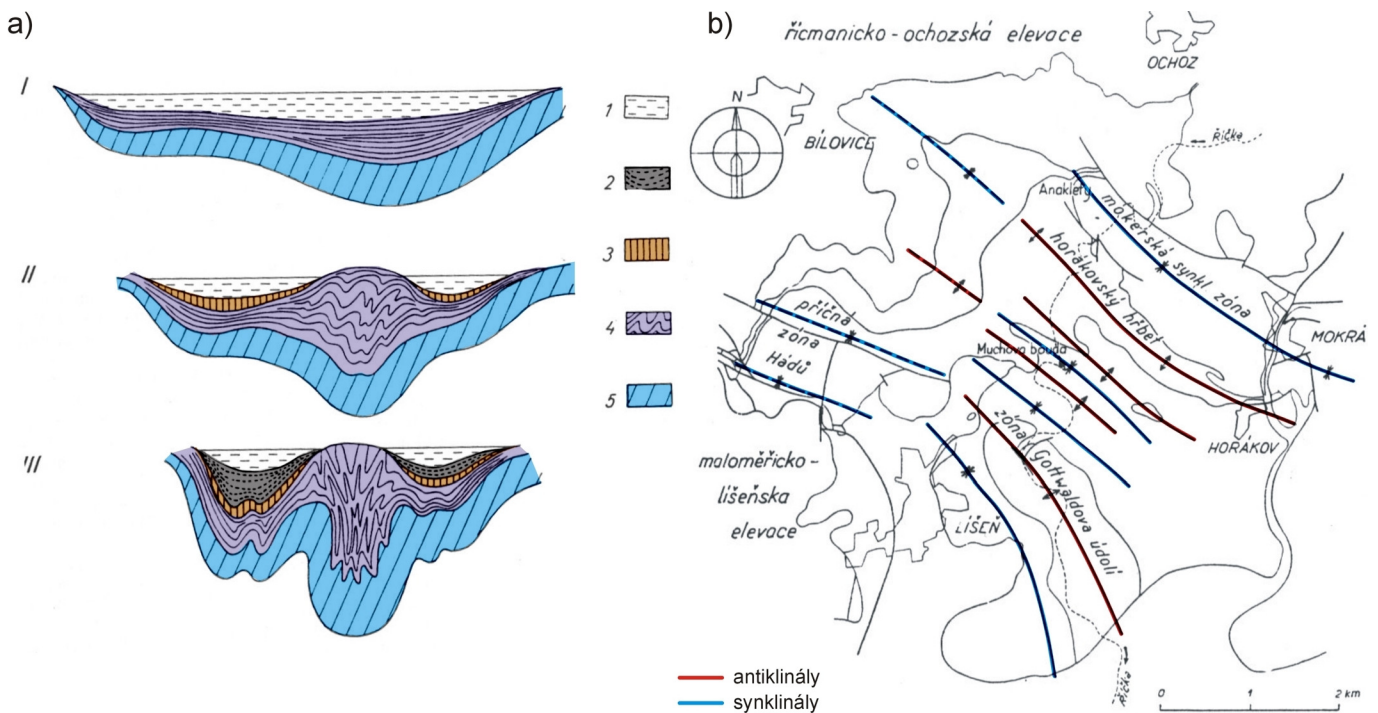
1963, Dvořák & Pták 1963, Dvořák & Zusková 1998, Chlupáč 1960). Dvořák dokonce popsal plynulé přechody těchto dvou facií (Dvořák & Pták 1963).

Dvořák považoval horniny moravskoslezského paleozoika za sedimenty geosynklinály s-j. směru (použil termín Moravský záliv) vyvinuté v předdevonském krystaliniku Brunie (na západě byla ohraničena ostrovem brněnského masivu), která byla postupně vyplňována od severu. Na jihu této geosynklinály sedimentovaly mělkovodní facie Moravského krasu (např. Dvořák 1973; obr. 2.5).

Jižní část Moravského krasu se podle Dvořáka vyvíjela do značné míry samostatně v dílčí pánvi, oddělené od severní části Moravského krasu příčnou strukturou říčmanicko-ochozské elevace (Dvořák 1963, 1967, Dvořák et al. 1984). Sedimentace devonských až spodnokarbonských sledů byla ovlivňována několika faktory:



Obr. 2.6: Schéma sedimentace líšeňského souvrství v lomech Mokrá ovlivněné různým poklesáváním ker v čase (Dvořák et al. 1987). Legenda: 1-brněnský masiv; 2-bazální klastika; 3-vilémovické vápence; 4-křtinské vápence; 5-hádsko-říčské vápence.



Obr. 2.7: Dvořákův model jižní části Moravského krasu a) vývoj subsidence a synsedimentární komprese dílčí pánve jižní části Moravského krasu: během sedimentace I-hádsko-říčských vápenců, II-břežinských břidlic a III-rozstáňských břidlic (Dvořák 1967). Legenda: 1-voda, 2-rozstáňské břidlice, 3-břežinské břidlice, 4-hádsko-říčské vápence, 5-macošské souvrství; b) průběh zámkových linií hlavních vrásových struktur (Dvořák 1967).

(1) předdevonsky založenou kernou stavbou podložních hornin brněnského masivu a nehomogenní subsidencí jednotlivých ker vedoucí k častým faciálním změnám pozorovaným v terénu, (2) zužování sedimentačního prostoru ve směru JZ-SV a vyklenování říčanicko-ochozské elevace, které zapříčinilo zvýšení přínosu siliciklastického materiálu do pánve, a (3) vyklenování tzv. horákovského hřbetu během famenu a spodního tournai, které rozdělilo pánve na dvě dílčí (obr. 2.7a).

Předdevonsky založená kerná stavba a rozdílná mobilita jednotlivých ker v čase byla podle Dvořáka zásadní pro vytváření poměrně složité faciální situace v terénu. Dvořák (1987) pozoroval mělkovodnější křtinské a hlubokovodnější hádsko-říčské vápence často několikrát v jednotlivých krách nad sebou (hlavně v lomech Mokrá). Vysvětloval to opakovaným změlčováním a prohlubováním sedimentace. Tuto představu nejpodrobněji popsal v lomech Mokrá, které odkrývají velmi pestrou horninovou mozaiku. Jednotlivé k severovýchodu mírně ukloněné kry zde dosahují rozměrů cca 300 x 500 m. Dvořák definoval poměrně složitý scénář vertikálních pohybů jednotlivých ker (obr. 2.6): kry postupně poklesaly od JZ k SV a došlo vždy k sedimentaci hádsko-říčských a křtinských vápenců a následně k výzdvihu kry za současného poklesu kry sousední. Během těchto vertikálních pohybů docházelo k deformaci čerstvě sedimentovaných vápenců, často docházelo ke skluzům nestabilních sedimentů z ukloněných ker za vzniku sv.-vergentních ležatých vrás (např. Dvořák et al. 1987).

Již během sedimentace hádsko-říčských vápenců docházelo k zužování sedimentačního prostoru dílčí pánve jižní části Moravského krasu a diapirickému vyklenování horákovského hřbetu (Dvořák 1967). Současně s vyklenováním horákovského hřbetu probíhala zrychlená subsidence osy pánve a vytvářelo se synklinorium v podložním macošském souvrství (obr. 2.7a). Tomuto

uspořádání podle Dvořáka odpovídají průběhy os synklinál a antiklinál v macošském souvrství na západě území, které směrně navazují na antiklinály a synklinály v souvrství líšeňském (Dvořák 1967; obr.2.7b). Horákovský hřbet podle Dvořáka rozdělil dílčí pánve jižní části Moravského krasu na dvě menší, ve kterých sedimentovaly březinské a rozstáňské břidlice. Celá takto vzniklá stavba byla „zasypaná“ račickými slepenci myslějovického souvrství.

Dalším důležitým prvkem ovlivňujícím sedimentaci ve studovaném území byla podle Dvořáka říčanicko-ochozská elevace, která se vyklenovala v průběhu sedimentace, na jejích svazích sedimentovaly mělkovodní tournaiské brekciovité vápence.

Vrásovou stavbu považoval Dvořák za jednoduchou. Popsal vrásy ssv.-jjz. směř s vergencemi k západu i k východu, místy spojené s lokálními násuny k Z a V (Dvořák 1967, Dvořák et al. 1987). Evidentně starší, ssv.-vergentní překocené až ležaté vrásy považoval Dvořák za gravitační skluzy. Pouze v práci z roku 1967 (Dvořák 1967) uvažoval se synsedimentárním ssv.-jjz. zužováním sedimentačního prostoru, které způsobilo vyklenutí antiklinoria horákovského hřbetu.

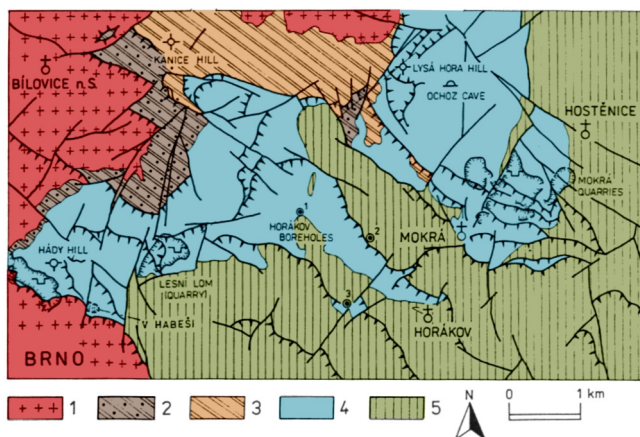
Stratigrafické duplikace vysvětloval Dvořák buď redepozicí fauny nebo gravitačními skluzy (i když některé struktury označil jako násuny, např. násun zachycený vrtem SV1 nebo šupinu vápenců v kulmu východně od Mokré). Násun granodioritu brněnského masivu přes bazální klastika a vápence v lomech na Hádech označil zaolistolit (Dvořák 1989), i když ve svých raných pracích (Dvořák & Pták 1963) považoval tuto strukturu za násun a důkaz ssv.-jjz. syn- a post-sedimentárního zužování pánve.

Ve druhé polovině osmdesátých let proběhlo geologické mapování na listu 24-413 Mokrá-Horákov. Redaktorem listu byl Jindřich Hladil (Hladil 1987a, b). Mapování poskytlo celou řadu litostratigrafických a faciálních poznatků, které Hladila a kol. oprávnily obnovit

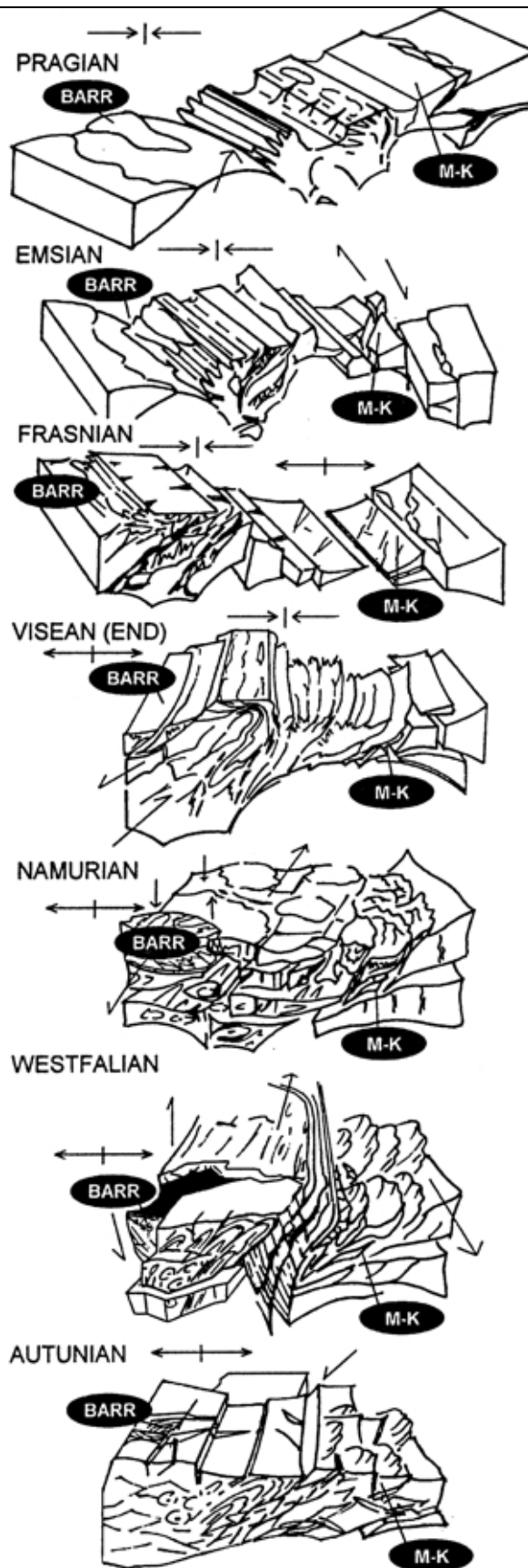
diskusí příkrovové stavby jižní části Moravského krasu. Dvořák reagoval na sérii článků s příkrovovou tematikou (např. Hladil 1991a, 1995, Hladil et al. 1991, Hladil et al. 1999a) ve Věstníku ČGU (Dvořák 1993) a publikací svojí verze mapy Mokrý-Horákov (Dvořák 1997b). Za přečtení stojí také reakce Hladila a Kalvody na Dvořákovy kritické poznámky (Hladil & Kalvoda 1993).

Hladil sérií článků v devadesátých letech nastínil základní prvky faciálního vývoje nejen v jižní části Moravského krasu (ve spolupráci s Kalvodou, viz kapitola 4, např. Hladil et al. 1991), ale také celého moravskoslezského paleozoika (Hladil 1991b, 1994). Ze vzájemných prostorových vztahů jednotlivých facií vyvodil tektonický scénář (obr. 2.8) zahrnující emskou až frasnou extenzi spojenou s pravostrannou transtenzí, během níž docházelo k tvorbě obrovských mas útesů macošského souvrství, famenskou inverzi pánve spojenou s tvorbou kalciturbiditů a později kulmu, která přešla ve visé v kolizi, během níž došlo k enormnímu zkrácení prostoru a „zestohování“ mocných kulmských sledů, namurskou pravostrannou rotací bloků provázenou dalším sešupinatěním již deformovaných hornin, která vyvrcholila ve westphalu tvorbou moravské střížné zóny. Celý tento scénář završil permský gravitační kolaps (Hladil 1995, 1998).

Základní důkazy sv.-vergentní násunové tektoniky v jižní části Moravského krasu (obr. 2.9) jsou uvedeny ve vysvětlivkách ke geologické mapě Mokrý-Horákov (Hladil 1987a) a v člancích z roku 1991 (Hladil 1991a, Hladil et al. 1991). Hladil popsal násun brněnského masivu na vápence macošského a líšeňského souvrství v Růženině lomu na Hádech, nasunutí hlubokovodních facií na mělkovodní (Hladil et al. 1991, Kalvoda 1997) zachycené ve vrtech SV1, SV2 a SV3, násunové struktury v Lesním lomu a ve východním okolí Mokrý (obr. 2.9). Poměrně složitá násunová stavba vznikla podle Hladila ve dvou fázích: během kolize na konci visé a během pravostranné rotace bloků odtržených od podloží v namuru provázené vznikem násunů (Hladil 1998). Tato pravostranná rotace je podle Hladila doložena nejen konfigurací jednotlivých pruhů různých facií paleozoika (Hladil 1995, 1998), ale také paleomagneticky (90-110°; Hladil et al. 1999b, Krs et al. 1995). Tato rotace může však být vysvětlena i silným přetiskem starších struktur během pohybů podél moravské střížné zóny (Hladil & Melichar 1999, Rajlich 1990).



Obr. 2.9: Schématická mapka jižní části Moravského krasu (Hladil et al. 1991). 1-brněnský masív; 2-polymiktní bazální klastika s polohami tufů; 3-křemenné pískovce s podřízenými vložkami arkóz a slepenců; 4-vápence; 5-kulm;



Obr. 2.8: Scénář vývoje českého masivu během variské orogeneze: po extenzi až transtenzní fázi prag – frasn následuje komprese ve visé projevující se vznikem kulmských příkrovů následovaná namurskou pravostrannou transpresí spojenou s rotací bloků odloučených od podloží vrcholící ve westphalu vznikem moravské střížné zóny (Hladil et al. 1999a).

3. Metodika

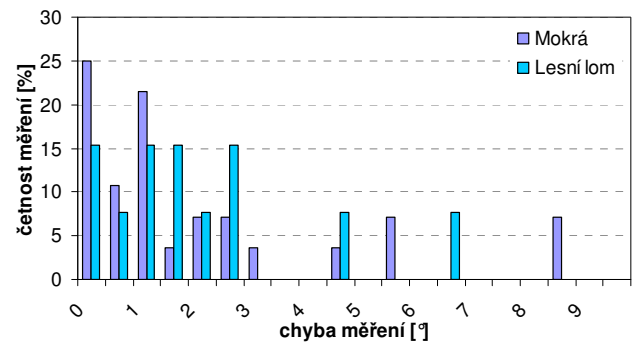
Strukturní model studovaného území byl vytvořen na základě podrobného mapování velkých lomů v oblasti, vyhodnocení klíčových vrtů a reinterpretaci terénních dat Dvořáka, Maštery a Hladila z mapování z roku 1987 (Hladil 1987b).

- Geografické mapové podklady pro detailní mapování lomů Mokrá poskytla v elektronické podobě Heidelberg Cement Group (situace lomových stěn z roku 2003).
- Byla pořízena rozsáhlá fotodokumentace lomových stěn, která posloužila pro zakreslení jednotlivých dokumentačních bodů.
- Detailní mapování jednotlivých litologických typů vápenců bylo kalibrováno biostratigraficky. Konodontovou faunu určil prof. Kalvoda. Celkem bylo rozpuštěno 64 vzorků. Lokalizace a stáří jednotlivých vzorků je uvedeno v příloze 2. Lokalizace vzorků je vynesena v příloze 4 (v příloze 4 jsou vyneseny také lokalizace obrázků použitých v textu a lokalizace orientovaných vzorků použitých pro napjatostní analýzu kalcitových dvojčat).
- Strukturní měření byla provedena kompasem firmy Freiberg se stupňovým dělením. Hlavními dokumentovanými strukturami byly plochy vrstevnatosti. Z ploch vrstevnatosti tvořících ramena vrás byly vypočteny vrásové osy (vektorový součin normál ploch vrstevnatosti). Dále byly dokumentovány zlomy, žíly a indikátory směru do nadloží (převážně gradace).
- Kromě vlastních měření z lomů Mokrá a Lesního lomu byla použita data převzatá z terénních deníků Dvořáka a Maštery z geologického mapování listu Mokrá-Horákov, které poskytla ČGS. Naprostá shoda matic orientace (např. Melichar 1991) vlastních a přejatých dat potvrzuje důvěryhodnost měření Dvořáka a Maštery (tab. 3.1).

Dvořák, Maštera (78 měření)		Rez (668 měření)
305/47	S_1	300/58
53/17	S_2	53/13
157/39	S_3	150/28
0,521	$(S_2-S_3)/(S_1-S_3)$	0,591

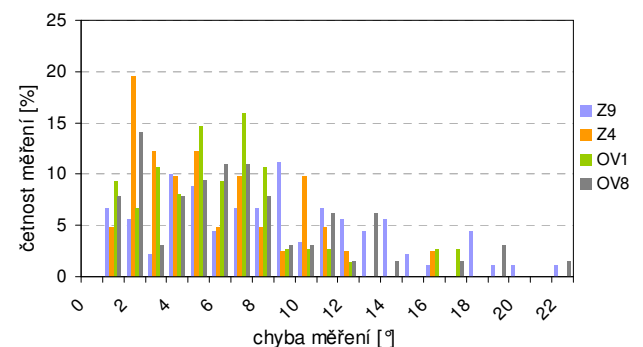
Tab. 3.1: Srovnání matic orientace ploch vrstevnatosti z lomů Mokrá (charakteristické vektory a poměr charakteristických čísel).

- Souřadnice dokumentačních bodů byly odečteny z mapových podkladů, u přejatých dat byly použity mapy dokumentačních bodů 1:10 000. Použitý souřadnicový systém je S-JTSK. Veškerá měření jsou v příloze 1.
- Strukturní data byla vyhodnocena v programu Spheristat 2.2. Veškeré strukturní diagramy jsou vyneseny v Lambertově projekci na spodní polokouli. Krok kontur konturových diagramů je jedno procento, počáteční kontura je jedno procento. V diagramech jsou pro lepší vizualizaci hlavních trendů vyneseny charakteristické vektory a plochy matice orientace dat – čísla 1, 2 a 3 jsou označeny charakteristické vektory matice orientace (≈ hlavní směry přednostní orientace dat), modrými oblouky čárkovaně charakteristické plochy matice orientace (jsou to plochy kolmé k jednotlivým charakteristickým vektorům matice orientace).
- Mapa trendů vrstevnatosti (obr. 5.2) byla konstruována také v programu Spheristat 2.2. Jedná se o průměrné vrstevnatosti v síti bodů 500 x 500 m, počítané jako vážený průměr (1/vzdálenost) všech vrstevnatostí v okruhu 2 km.



Obr. 3.1: Histogram chybovosti měření ploch zlomů a rýhování (90-úhel svírající rýhování a normála zlomu).

- Napjatostní analýza zlomů byla provedena pomocí programu *Mark 2010* Kernstockové a Melichara, využívající metodu mnohonásobné inverze (Kernstocková & Melichar 2010, Melichar & Kernstocková 2010). Data byla vytřídněna (byly použity pouze zlomy se změřeným rýhováním a jeden zlom byl vyloučen kvůli příliš velké chybě měření) a ortogonalizována. Histogram chybovosti měření je na obr. 3.1. (chyba měření je chápána jako úhel svírající měření plochy zlomu a rýhování). Protože se jedná o metodu mnohonásobné inverze, je výsledkem výpočtu velmi vysoké množství redukovaných tenzorů napjatosti, které v 9D-prostoru vytvářejí shluky, které odpovídají jednotlivým napjatostním fázím. Ve výsledcích v kapitole 5.4 (obr. 5.13) jsou pro názornost uvedeny hustotní diagramy orientace hlavních normálových napětí těchto redukovaných tenzorů, které mohou být ale někdy zavádějící, protože nerozlišují mezi tenzory s různými tvarovými parametry Φ . Samotné hledání napjatostních fází (maxim hustotní funkce) však program *Mark 2010* provádí v 9D-prostoru. Výsledkem celé procedury jsou redukované tenzory napjatosti, charakterizované třemi směry hlavních normálových napětí (σ_1 , σ_2 a σ_3) a Lodeho tvarovým parametrem μ_L . Pro srovnání s napjatostní analýzou kalcitových dvojčat byl Lodeho parametr přepočten na parametr Φ ($\Phi=(\sigma_2-\sigma_3)/(\sigma_1-\sigma_3)$; $\Phi=(\mu_L+1)/2$). Zlomy byly separovány do jednotlivých homogenních souborů pomocí úhlů, které svírají jejich C-linie s 9D-vektorem napjatosti (jejich tvorba viz Melichar & Kernstocková 2010). Zlom byl přiřazen dané fázi, pokud byla odchylka těchto dvou vektorů maximálně 5°. Pokud splňoval zlom toto kritérium pro více fází, byl přiřazen k fázi s nižší svírající úhlem.
- Pro účely napjatostní analýzy založené na mechanickém dvojčatění kalcitu byla zhotovena řada orientovaných výbrusů karbonátových žil, protože vápence ve studované oblasti jsou většinou mikritické, neobsahují dostatečné množství měřitelných kalcitových zrn a pro analýzu jsou



Obr. 3.2: Histogram chybovosti měření kalcitu (odchylka od úhlu 26,25°, který teoreticky svírá osa c a normála dvojčatné plochy).

tudíž nevhodné). Ze všech výbrusů byly 4 vybrány pro další analýzu (vhodná velikost zrna, dostatečné množství zdvojitých zrn). U každého zrna byla změřena orientace optické osy c , velikost zrna, orientace dvojčatných lamel, jejich tloušťka a hustota (počet lamel na mm). Tato měření byla provedena na pětiosém Fjodorovově stolku CTΦ-1 namontovaném na polarizačním mikroskopu MNH-8 (postup viz např. Melichar 1991). Při měření byly použity segmenty s indexem lomu 1.65 (střední hodnota pro kalcit) a byla zavedena korekce na rozdíl indexu lomu segmentů a minerálu (Fediuk 1961). Data byla zpracována v programu autora *TwinCalc 1.4*. Správnost měření byla ověřena výpočtem vzájemného úhlu normály dvojčatné lamely a osy c (teoreticky 26.25° , histogram odchylek měření od tohoto úhlu je na obr. 3.2) i dvojčatných ploch navzájem (teoreticky 45°). Takto byly rozlišeny i plochy štěpnosti, které mohou být poměrně snadno zaměněny s tzv. mikrolamelami (tj. lamely o pravé mocnosti menší než $0.5 \mu\text{m}$). Následně byla data ortogonalizována (metodou nejmenších čtverců byla rotována do teoreticky správných pozic).

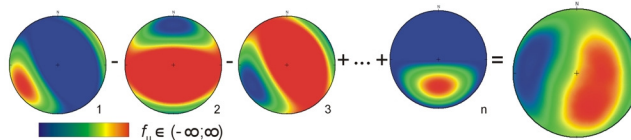
- Napjatostní analýza dvojčatných lamel kalcitu byla provedena v programu *TwinCalc 1.4* (teoretické pozadí viz Burkhard 1993, Ferrill 1998, Jamison & Spang 1976, Rowe & Rutter 1990, Turner 1953, Turner et al. 1954). V současnosti hlavní používanou metodou je metoda Laurenta a Lacomba (Lacombe & Laurent 1996, Laurent et al. 1981, Rocher et al. 2004, Tourneret & Laurent 1990). Tato metoda hledá nevhodnější tenzor napjatosti ze 100 až 1000 náhodně generovaných tenzorů napjatosti pomocí penalizační funkce f_L . Vybrán je tenzor s nejmenší hodnotou f_L . V následném kroku je tenzor napjatosti optimalizován prohledáním jeho nejtěsnějšího okolí (opět za použití funkce f_L). Výsledkem této metody je kompletní tenzor napjatosti (a tedy i velikosti diferenciálního napětí). V této práci byla použita modifikace metody Laurenta a Lacomba (Rez & Melichar 2010). Kvůli eliminaci možných chyb byla penalizační funkce počítána pro 64 152 000 tenzorů (krok orientace hlavních normálových napětí 1° , krok tvarového parametru Φ 0,1). Dále byla použita penalizační funkce f_R (Rez & Melichar 2010), která má ostřejší maxima a tím pádem přesnější výsledky. V obr. 5.17 – 5.20 jsou zobrazeny diagramy distribuce penalizační funkce f_R . Každý směr těchto diagramů představuje jeden z 1980 tenzorů napjatosti s daným směrem σ_1 (180 směrů $\sigma_3 \times 11$ hodnot Φ) s nejvyšší hodnotou penalizační funkce. Maxima jsou obarvena červeně, minima modře (viz legenda na obr. 5.16). Vizuální srovnání těchto diagramů s výsledky analýzy umožňuje jejich poměrně snadnou kontrolu.

- Souběžně s metodou Laurenta a Lacomba byla pro hrubou kontrolu napjatostních fází použita modifikovaná metoda klínů (Rez & Melichar 2010). Tato metoda využívá závislosti velikosti napětí potřebného ke zdvojití dané dvojčatné plochy na orientaci napětí. Tuto závislost lze vyjádřit pomocí Schmidova kritéria μ .

$$\mu = \sin(\pi/2 - \varphi) \cos \lambda$$

kde φ je úhel svírající napětí S a normála dvojčatné plochy e a λ je úhel svírající napětí S a kluzný vektor g , přičemž jak e , tak g jsou krystalograficky dané (např. Jamison & Spang 1976, Turner et al. 1954). μ nabývá hodnot 0 pro nejméně vhodně orientovanou napětí až 0,5 pro nejvýhodněji orientovanou napětí. Aby plocha zdvojitela, musí střížné napětí τ podél g přesáhnout kritické střížné napětí τ_c . Musí tedy platit vztah:

$$\tau_c < |\mathbf{S}| \mu \quad \tau_c \approx 10 \text{ MPa}$$



Obr. 3.3: Schéma výpočtu modifikované metody klínů (pravděpodobnostní funkce f_μ). Hodnoty μ pro zdvojitelné lamely (např. první diagram) se přičítají, hodnoty μ pro nezdvojitelné plochy (např. druhý diagram) se odečítají. Diagram vpravo je výsledná funkce f_μ . σ_1 leží v červené oblasti, σ_3 v oblasti modré.

Tohoto vztahu se dá využít jako pravděpodobnostní funkce orientace σ_1 (obr.3.3). Pro každý směr se vypočte tato funkce:

$$f_{\mu_{\alpha_L/\varphi_L}} = \sum_{i=1}^n \mu_{iT} - \sum_{i=1}^n \mu_{iU}$$

kde μ_{iT} jsou velikosti Schmidova kritéria zdvojitelných lamel a μ_{iU} jsou velikosti Schmidova kritéria nezdvojitelných ploch. Graficky je tento proces znázorněn na obr. 3.3. Tato metoda nedosahuje přesnosti metody Laurenta a Lacomba, ale může být použita pro první velmi rychlý odhad a pro rámcovou kontrolu ostatních metod.

- Velikosti diferenciálního napětí byly také určeny metodou Jamisona a Spanga (1976) a Rowa a Ruttera (1990). Obě metody jsou založeny na různých parametrech dožití závislých na diferenciálním napětí. Metoda Jamisona a Spanga využívá přímé úměry mezi počtem zrn s jedním, dvěma či všemi třemi zdvojitelnými systémy a diferenciálním napětí. Metody Rowa a Ruttera využívají pozitivní korelaci mezi velikostí diferenciálního napětí a 1) zvyšující se hustotou lamel (počet lamel na 1 mm) a 2) nárůstem celkového objemu dvojčatných lamel. Všechny metody jsou empiricky kalibrovány a mají stejné předpoklady a nedostatky (Ferrill 1998). Liší se teplotou deformace, pro jakou byly kalibrovány. Metoda Jamisona a Spanga je vhodnější pro teploty nižší než 200°C a metody Rowa a Ruttera pro teploty vyšší (Ferrill 1998). V textu jsou uvedeny výsledky obou metod, i když z hlediska teploty deformace v jižní části Moravského krasu (Franců et al. 2002) se jeví jako vhodnější metoda Jamisona a Spanga.

4. Stratigrafie a faciální vývoj

4.1. Přehled facií

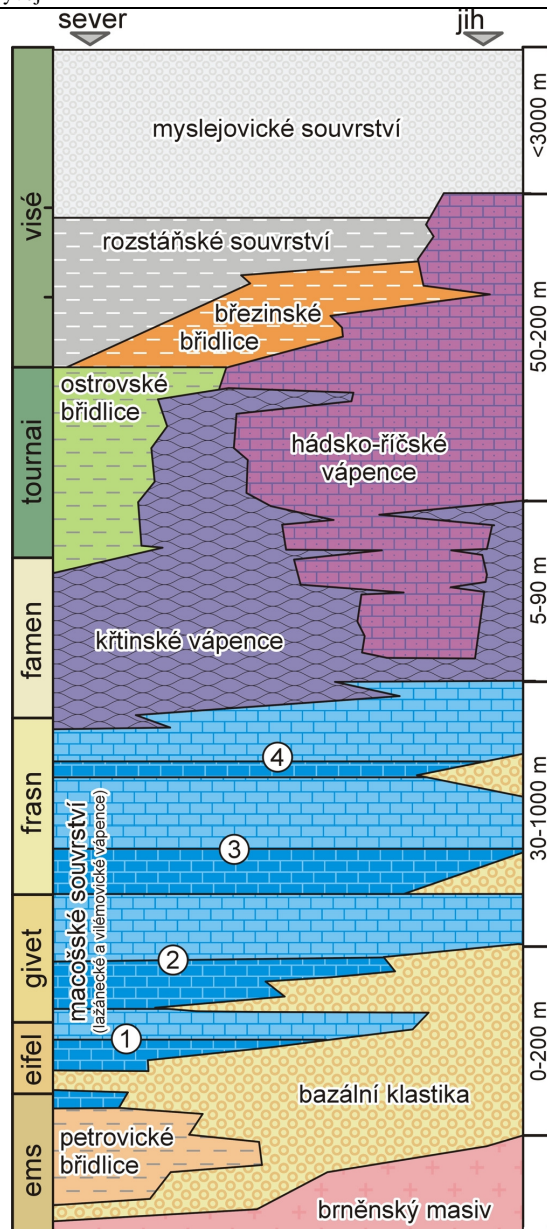
Jižní část Moravského krasu náleží facií Moravského krasu moravskoslezského paleozoika (ve smyslu Zukalové & Chlupáče 1982), je však faciálně mírně odlišná od severní a střední části Moravského krasu (obr. 4.1; např. Bábek et al. 2006, Chlupáč et al. 1986, Kalvoda et al. 2007), a to hlavně řádově většími mocnostmi líšeňského souvrství (které však může být na severu redukováno tektonicky) a absencí prvního cyklu souvrství macošského.

Jak již bylo uvedeno výše, faciální různorodost jižní části Moravského krasu byla rozpoznána již v minulém století (Pokorný 1950, Prantl 1948). Kalvoda vyčlenil v jižní části Moravského krasu dva od frasnú faciálně odlišné vývoje (obr. 4.2; Hladil 1987a, Hladil et al. 1991, Kalvoda 1997, Kalvoda et al. 2010): paraautochtonní vývoj hostěnický a allochtonní vývoj horákovský. Schematická mapka rozšíření obou facií, včetně jednotlivých výchozů použitých k jejímu sestavení, je na obr. 4.3 a 6.2.

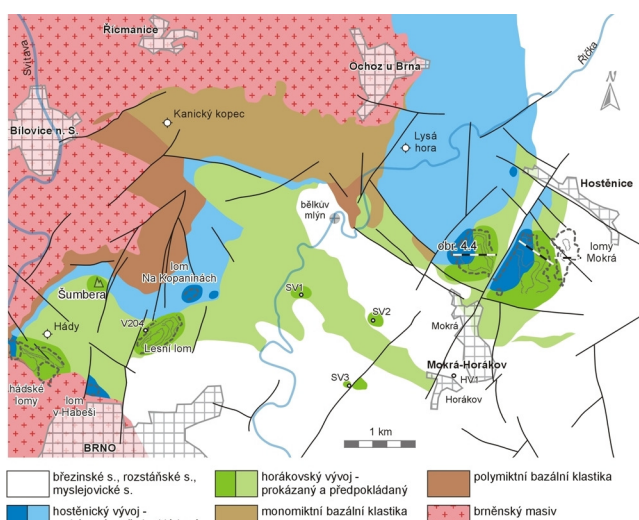
Prvním rozlišitelným členem mělkovodního **hostěnického vývoje** jsou vilémovické vápence čtvrtého cyklu – mikritické, biodetritické světlé vápence, sedimenty mělké, chráněné rampy s hojnými amfiporami (Hladil 1987a). Líšeňské souvrství v hostěnickém vývoji je zastoupeno velmi kondenzovaným sledem (mocným jen několik desítek metrů) mikritických a biomikritických vápenců famenu až středního tournai (**spodní křtinské vápence**¹). Na ně nasedají také velmi málo mocné mikrobekciovitě až bekciovitě případně písčité vápence - proximální kalciturbidity, laterální ekvivalent březinského souvrství (Kalvoda 1997).

Horákovský vývoj je oproti hostěnickému nepoměrně mocnější. Sedimentoval se v hlubších částech svahu a je charakterizován hlavně usazováním mocných sledů biodetritických kalciturbidit. Vilémovické vápence 4. cyklu jsou typicky otevřený útesový vývoj s častými brekciemi a masivními koloniovými korály (Hladil 1987a). Ve spodním famenu sedimentovaly tzv. **spodní hádsko-říčské vápence**, tmavě šedé, deskovité, biodetritické, s častými gradacemi. Na hranici famen/tournai došlo ke změlnění pánve (Kalvoda & Kukul 1987) a začaly sedimentovat kalové kalciturbidity – mikritické **svrchní křtinské vápence** (Kalvoda 1997). Ve středním tournai nastoupila sedimentace **svrchních hádsko-říčských vápenců** středně šedých až tmavě šedých, biomikritických až biodetritických kalciturbidit s radiolaritovými rohovci. Přejechod ve flyšovou sedimentaci charakterizuje sedimentace **březinského souvrství** zastoupeného rezavě hnědými březinskými břidlicemi, které se při bázi střídají s četnými vložkami vápenců, kterých směrem do nadloží ubývá. Již typicky kulmské sedimenty jsou zastoupeny zelenošedými břidlicemi s podřízenými vložkami drobných **rozstáňského souvrství** a račickými slepenci **souvrství myslejovického** (Kalvoda 1997, Kalvoda et al. 2010, Zukalová & Chlupáč 1982).

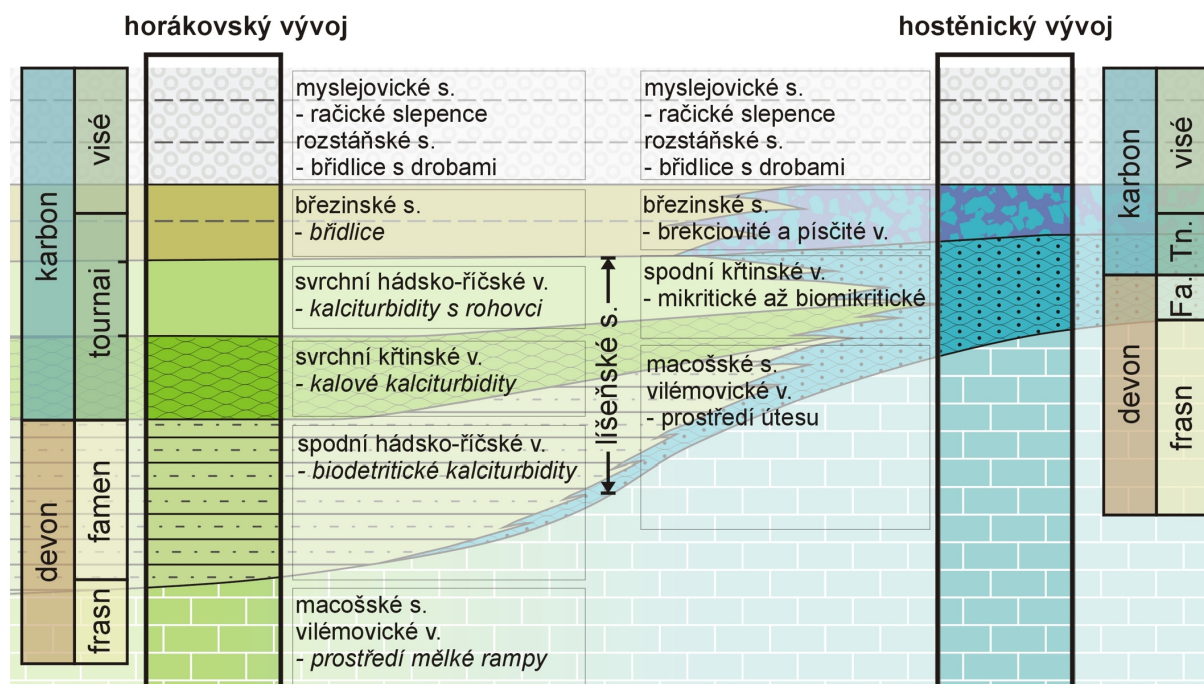
¹ Formální členění líšeňského souvrství na mikritické křtinské vápence a biodetritické hádsko-říčské vápence je v tomto případě nedostatečné. Pro snadnější orientaci v textu jsou používány neformální stratigrafické jednotky používané v těžební praxi.



Obr. 4.1: Srovnání vývoje severní a jižní části Moravského krasu (Hladil 1987a, Chlupáč et al. 1986).



Obr. 4.3: Schematická faciální mapa jižní části Moravského krasu (podle vlastních výzkumů a dat z Dvořák 1989, Hladil 1987a, Hladil et al. 1991, Kalvoda 1997, Rutová 2009)



Obr. 4.2: Stratigrafické schéma jižní části Moravského krasu (podle Kalvoda 1997, Kalvoda et al. 2010). Toto schéma je také použito jako legenda ke všem následujícím vyobrazením, pokud není uvedeno jinak.

4.2. Lomy Mokrá

Lomy Mokrá (západní, střední a východní lom) odkryly profil v celkové délce zhruba 1800 m, který zachycuje tektonický kontakt obou vývojů: hlubokovodnější horákovský vývoj je nasunut podél složité násunové zóny na mělkovodní vývoj hostěnický (obr. 4.4 a obr. 5.8).

Západní lom zachytil zdánlivě monotónní sled vilémovických vápenců, monoklinálně se uklánějících k východu, překrytých spodními hádsko-říčskými vápenci (obr. 4.4a). Kontakt vilémovických a spodních hádsko-říčských vápenců je postižen kluzem paralelním s vrstevnatostí zvýrazněným mylonitizací² a tlakovým rozpouštěním (ve východní stěně je jasně patrná vrása odlepení metrových rozměrů, obr. 5.5d). Také zhruba uprostřed sledu vilémovických vápenců je vyvinuta několik metrů mocná mylonitizovaná zóna oddělující mírně odlišné vilémovické vápence (větší podíl SiO₂ v nadloží; obr. 5.10b) s četnými projevy mezivrstevního skluzu (drobné střížné zóny paralelní s vrstevnatostí). To naznačuje allochtonitu sedimentů v nadloží této mylonitové zóny. Násun vilémovických vápenců na vilémovické vápence doložil Hladil (1987a) ve „starém lomu“ u správní budovy, kde jsou vápence 3. cyklu nasunuty na vápence 4. cyklu. V jižní části středního lomu odděluje vápence vilémovické pouze několik metrů mocná šupina spodních křtinských vápenců (obr. 5.8).

Střední lom odkryl velmi pestrý sled hornin obou vývojů (obr. 4.4b). Na západě vycházejí horniny hostěnického vývoje. Na vilémovické vápence nasedají silně zvrásněné a kondenzované spodní křtinské vápence následované několika metry brekciovitých vápenců. Nadložní horákovský vývoj je na podložní hostěnický nasunut podél násunové zóny mocné cca 100 m se složitou šupinovitou stavbou. Jednotlivé šupiny jsou odděleny mylonitovými násunovými plochami. První šupina má normální vrstevní sled. Je tvořena zvrásněnými svrchními

hádsko-říčskými vápenci a na ně nasedajícími břidlicemi s vložkami vápenců (březinské souvrství). Následuje generelně překocovaný sled horákovského vývoje. Na břidlice s vložkami vápenců březinského souvrství nasedají intenzivně zvrásněné svrchní křtinské vápence, pravděpodobně tektonicky duplikované, tvořící několik šupin s překocovým i normálním vrstevním sledem. Celý profil uzavírá ležatá antiklinála horákovského vývoje tvořená spodními hádsko-říčskými a vilémovickými vápenci (obr. 4.4b).

Profil ve **východním lomu** zachytil kompletně vyvinuté překocované rameno antiklinály horákovského vývoje z východní části středního lomu (obr. 4.4c). Nejvýše jsou spodní hádsko-říčské vápence, pod nimi svrchní křtinské a svrchní hádsko-říčské vápence. Tato antiklinála je nasunuta na horniny rozstáňského a myslejovického souvrství podél násunové zóny mocné cca 90 m s „melanžovitou“ šupinovitou stavbou, ve které se střídají šupiny různých typů vápenců s břidlicemi rozstáňského souvrství.

4.3. Vybrané profily v oblasti

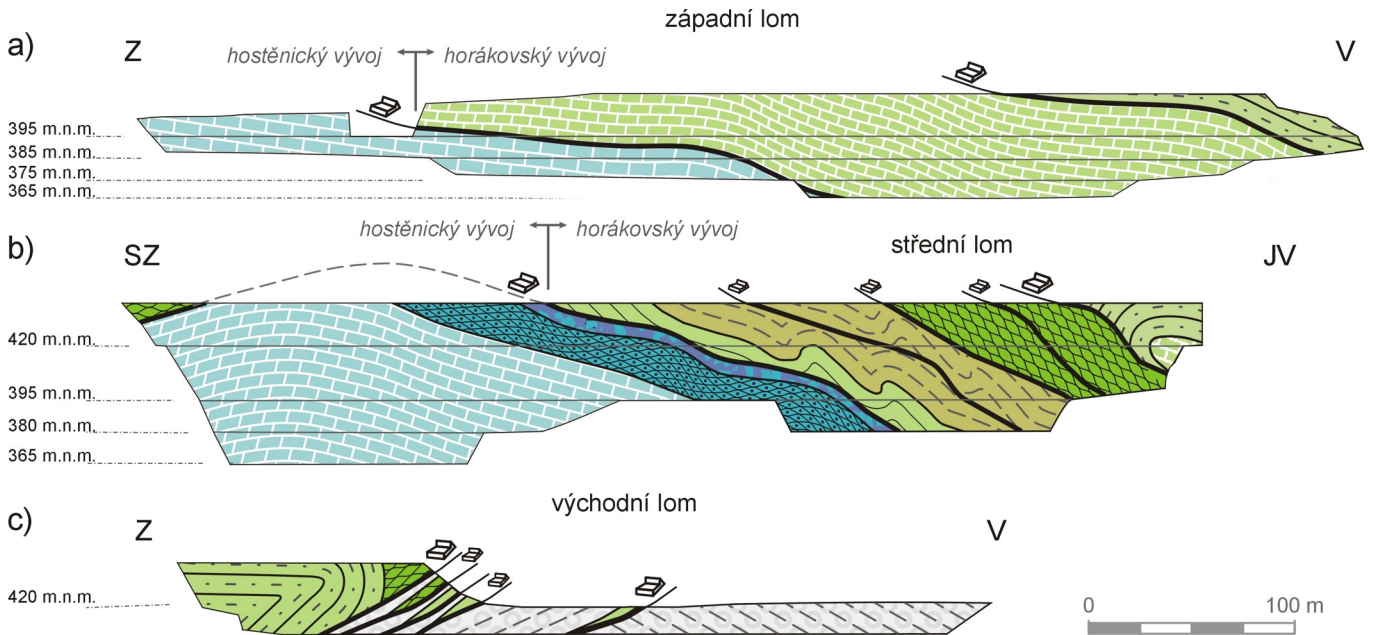
Pro vymezení rozsahu hostěnického a horákovského vývoje byla použita data z několika klíčových výchozů (obr. 4.3).

Západně od obce Hostěnice vystupují v malých lomech vilémovické vápence 4. cyklu, famenské až střednotournaiské spodní křtinské vápence a svrchnotournaiské až spodnoviséské brekciovité vápence hostěnického vývoje. Tento sled reprezentuje jednu z nejmělkých částí hostěnického vývoje (Kalvoda 1997).

Jihozápadně od Kanického kopce popsal Hladil (1987a) mísovitě prohnuté vilémovické vápence 2. cyklu nasunuté na vilémovické vápence 3. cyklu.

Lomy na Kapaninách odkrývají stejnou kondenzovanou sekvenci frasn/famenských hornin (vilémovické až spodní křtinské vápence) jako vrt V 204 (Hladil 1987a; viz dále), naznačující příslušnost k hostěnickému vývoji. Rutová (2009) popsal 2,5 m mocný profil sv. od lomů na Kapaninách, který zachytil kondenzovaný sled spodních křtinských vápenců stáří svrchní famen – spodní tournai (zóny *Pa. gracilis* až *Si. sandbergi*) hostěnického vývoje.

² Násunové plochy jsou podrobně popsány v kapitole 5.3 Násunové zlomy



Obr. 4.4: Schématické a idealizované profily a) západním, b) středním a c) východním lomem Mokrý. Pozice profilů je vyznačena na obr. 4.3. Násunové zlomy jsou zvýrazněny tlustou černou čarou, směr sunutí prostorovou šipkou.

Lesní lom severně od Brna-Líšně je tvořen vápenci horákovského vývoje a to včetně vápenců vilémovických v jeho sz. rohu (Hladil 1987a, Hladil et al. 1991). Nad vilémovickými vápenci jsou vyvinuty spodní hádko-říčské vápence (při kontaktu s vilémovickými vápenci silně deformované až mylonitizované, nabožené organickou hmotou). Ve východní stěně jsou zachyceny svrchní křtinské vápence a svrchní hádko-říčské vápence. Celý sled je porušen několika mezivrstevními prokluzy (násuny paralelními s vrstevnatostí). Hladil uvádí i tektonické opakování sekvencí svrchního famenu až spodního tournai ve východní stěně lomu (Hladil 1987a).

Profil zachycený na **Šumbeře** severně od Hádů je typickým příkladem horákovského vývoje (Hladil 1987a). Začíná vilémovickými vápenci horákovského vývoje, tedy relativně hrubozrnnými biodetritickými vápenci s masivními korály a četnými zbytky organismů otevřeného moře. Na vilémovické vápence nasedají spodní hádko-říčské vápence (při bázi s krinoidovými polohami).

Lomy na Hádech odkrývají profil horákovským vývojem. Celý několik desítek metrů mocný sled spodních hádko-říčských vápenců (cca 80 m) je poněkud odlišný od sledu zachyceného v Lesním lomu. Jedná se převážně o černě zbarvené, laminované vápnité břidlice s vložkami biodetritických vápenců, což je způsobeno buď velmi intenzivní deformací (časté jsou „hlíznaté“ polohy, viz diskuse dále) a nebo se jedná o nejhlubší, distální partie horákovského vývoje s velmi vysokým podílem nekarbonátových složek. Podle Dvořáka (2005) náležejí tyto vápence palmatolepisové biofacii, což může svědčit o tom, že tyto vápence sedimentovaly ve větších hloubkách. Zbytek profilu je tvořen spodními hádko-říčskými vápenci v typickém vývoji (Dvořák 1989).

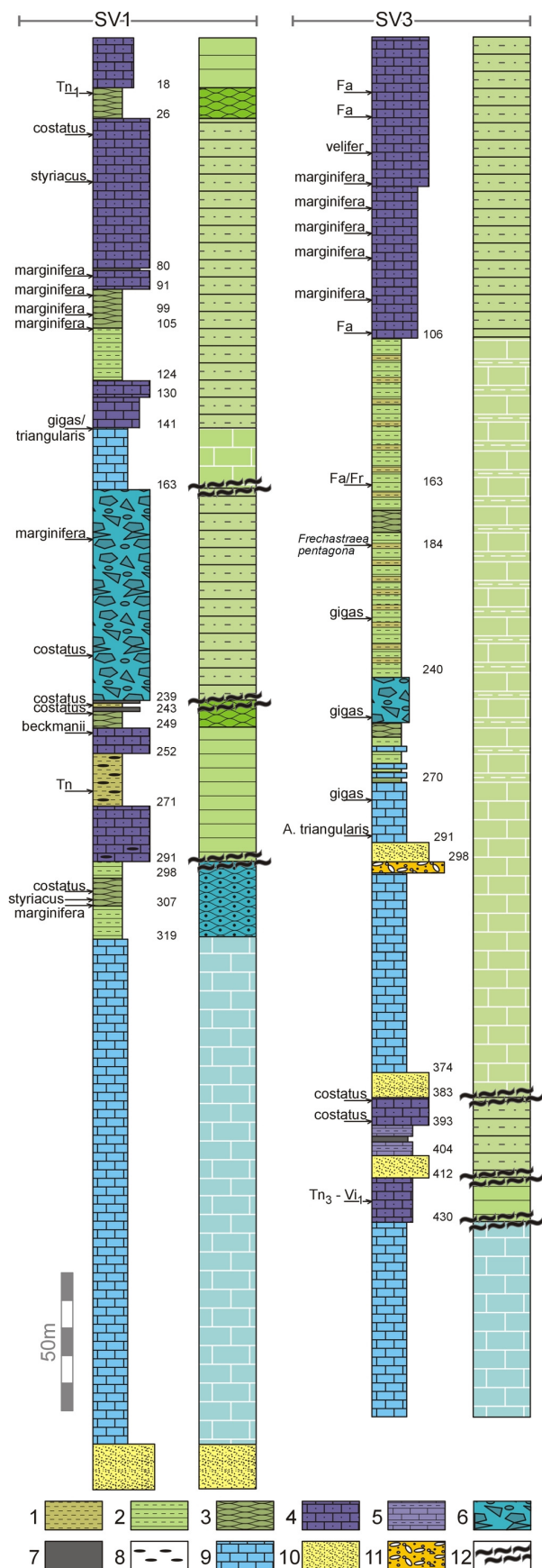
Lom v Habeši zachytil vilémovické vápence s amfiporami a velmi kondenzovaný sled spodních křtinských vápenců stáří famen – spodní tournai, tedy typický hostěnický vývoj (Dvořák 1989, Hladil 1987a, Prantl 1948). Severně od lomu v Habeši dokumentoval Hladil (1987a) brekciovité vilémovické vápence 4. cyklu bez amfipor, které lze přiřadit spíše horákovskému vývoji.

4.4. Vybrané vrty

V jižní části Moravského krasu byla vyhloubena celá řada vrtů. Mělké „prospekční“ vrty z okolí lomů Mokrý či Lesního lomu (ač jdou jejich počty do stovek) se pro účely této práce ukázaly jako naprosto nevhodné, kvůli nedostatečné, jednostranně zaměřené dokumentaci (většinou jsou k dispozici pouze rámcové litologické popisy a chemické analýzy). Nicméně existuje několik opěrných vrtů, které zachytily velmi zajímavý sled hornin.

Vrt **V 204** při západním okraji Lesního lomu navrtal 58 m spodních hádko-říčských vápenců a v jejich podloží 20 m silně kondenzovaných famenských mikritických – spodních křtinských vápenců (doložena fauna zón triangularis až velifer). Také podložní vilémovické vápence byly vyvinuty v kondenzovaném vývoji (Dvořák 1989), což naznačuje příslušnost k hostěnickému vývoji a přítomnost násunové plochy v hloubce 58 m, čemuž napovídá také intenzivní černé zbarvení vápenců a vložky „břidlic“ v této hloubce.

Vrt **HVI** potvrdil v hloubce 25 m násunutí spodních hádko-říčských vápenců na myslejovické souvrství. V hloubce 104 m zachytil vrt šupinu vápenců na rozhraní myslejovického a rozstáňského souvrství. Podložní břidlice a droby rozstáňského souvrství také obsahují několik šupin silně deformovaných vápenců. V hloubce 158,5 m vrt zastihl 10 m mocnou polohu svrchních hádko-říčských vápenců s rohovci a pod nimi svrchní křtinské vápence. Až do hloubky 410 m následovala tektonická melanž: střídání černých „břidlic“ (≈ mylonitů) a biodetritických a mikritických vápenců. V podloží této zóny navrtal vrt vilémovické vápence, které jsou nasunuty v hloubce 459 m na biodetritické vápence s vložkami břidlic a mikritických vápenců (Dvořák 1989).



Nejvýznamnějším vrtem je 536 m hluboký vrt *SV 1*, který zachytil stejný sled hornin jako střední lom v Mokré (obr. 4.5). Vrt navrtal 163 m horákovského vývoje, tedy 18 m svrchních hádsko-říčských, 8 m svrchních křtinských a 115 m spodních hádsko-říčských vápenců, a také 22 m vilémovických vápenců, které jsou korelovatelné s profily na Šumbeře a Lesním lomu, tedy typickými zástupci facie otevřené rampy horákovského vývoje (Hladil 1987a). Dále zachytil vrt *SV 1* spodní hádsko-říčské vápence s překocným sledem v celkové mocnosti 76 m na bázi s černošedými břidlicemi (= mylonit násunového zlomu) a cca 42 m mocnou šupinu svrchních hádsko-říčských vápenců (obr. 4.5), tedy 128 m mocnou násunovou zónu s duplexovitou vnitřní stavbou. Pod horninami horákovského vývoje byl v hloubce 291 m navrtán kondenzovaný vývoj hostěnický: spodní křtinské vápence mocné 21 m, vápence vilémovické a bazální klastika.

Vrt *SV 2* zachytil poměrně složitou šupinovitou strukturu vyvinutou v horninách horákovského vývoje (podrobnosti viz Dvořák 1989, Hladil 1987a).

500 m hluboký vrt *SV 3* zachytil násunovou zónu v hloubce 383–430 m (obr. 4.5). Nadložní horákovský vývoj je tvořen 106 m spodních hádsko-říčských vápenců. Dále cca 163 m sedimentů hlubší rampy – černošedých mikritických deskovitých vápenců střídajících se s vápnitými břidlicemi stáří svrchní frasn až spodní famen. Svrchní část tohoto poněkud neobvyklého vývoje přirovnal Hladil k vápencům vintockým. Obsahují faunu horákovské facie a do podloží přecházejí do vilémovických vápenců. Obdobný frasn/famenský vývoj popsal Kalvoda v lomu západně od Bedřichovic (Hladil & Kalvoda 1993, Kalvoda 1989). Vilémovické vápence horákovského vývoje dosáhly ve vrtu *SV 3* mocnosti cca 100 m a obsahovaly vložky klastik (obr. 4.5). V hloubce 383 m byla pod polohou klastik navrtána šupina spodních hádsko-říčských vápenců a pod ní šupina svrchních hádsko-říčských vápenců. Podložní vilémovické vápence náleží již hostěnickému vývoji.

Obr. 4.5: Litologické profily vrtů *SV1* a *SV3* (Dvořák 1989, Hladil 1987a) a jejich interpretace. Legenda: 1-vápnité břidlice; 2-mikritické vápence; 3-hlíznaté mikritické vápence; 4-tmavě šedé biodetritické vápence; 5-biodetritické vápence s vložkami vápnných břidlic; 6-brekciovité vápence; 7-černošedé laminované vápence; 8-rohovce; 9-vilémovické vápence; 10-šedozelené pískovce; 11-slepenec; 12-násunový zlom.

5. Strukturní data

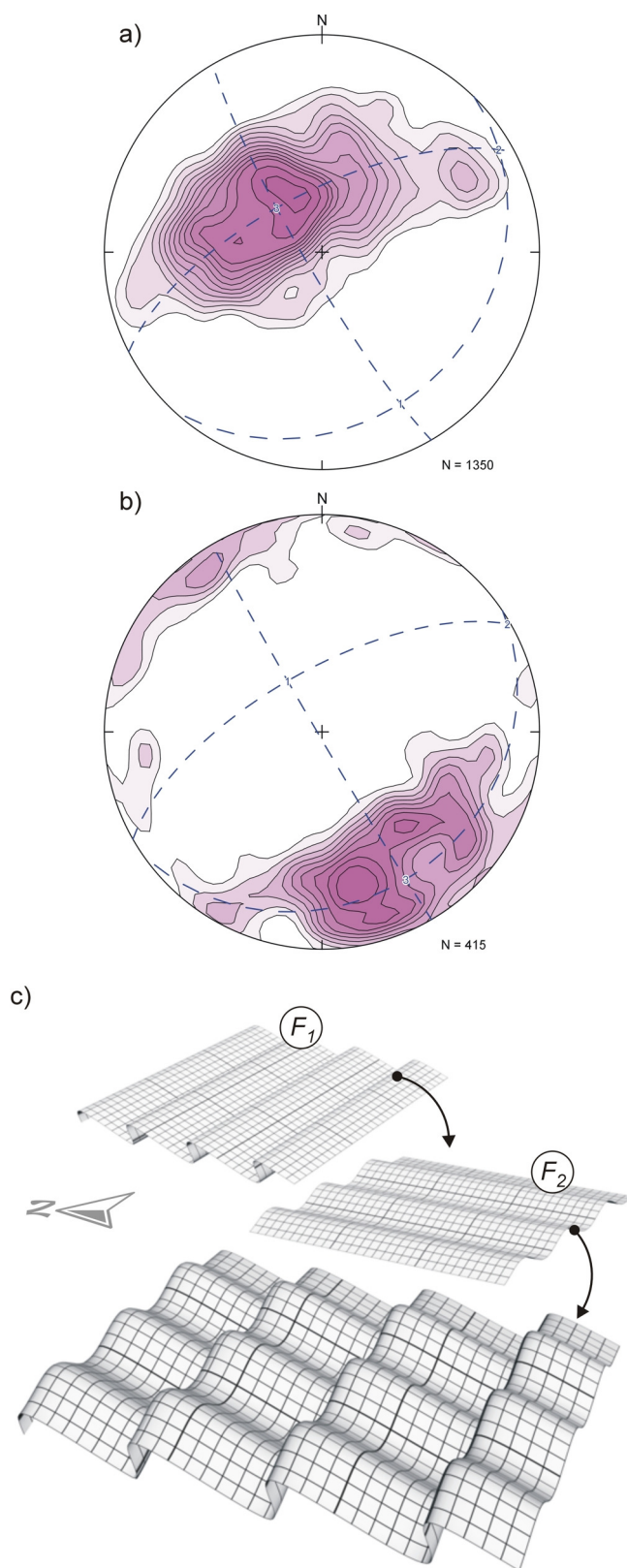
Jižní část Moravského krasu – přímé podloží variských flyšových příkrovů – prodělala komplexní deformační vývoj. Sedimentární sledy popsané výše prodělaly několikafázovou vrásovou deformaci, různé současné facie byly sblíženy systémem příkrovů a nakonec byla celá oblast postižena mladší radiální zlomovou tektonikou.

5.1. Vrásová deformace

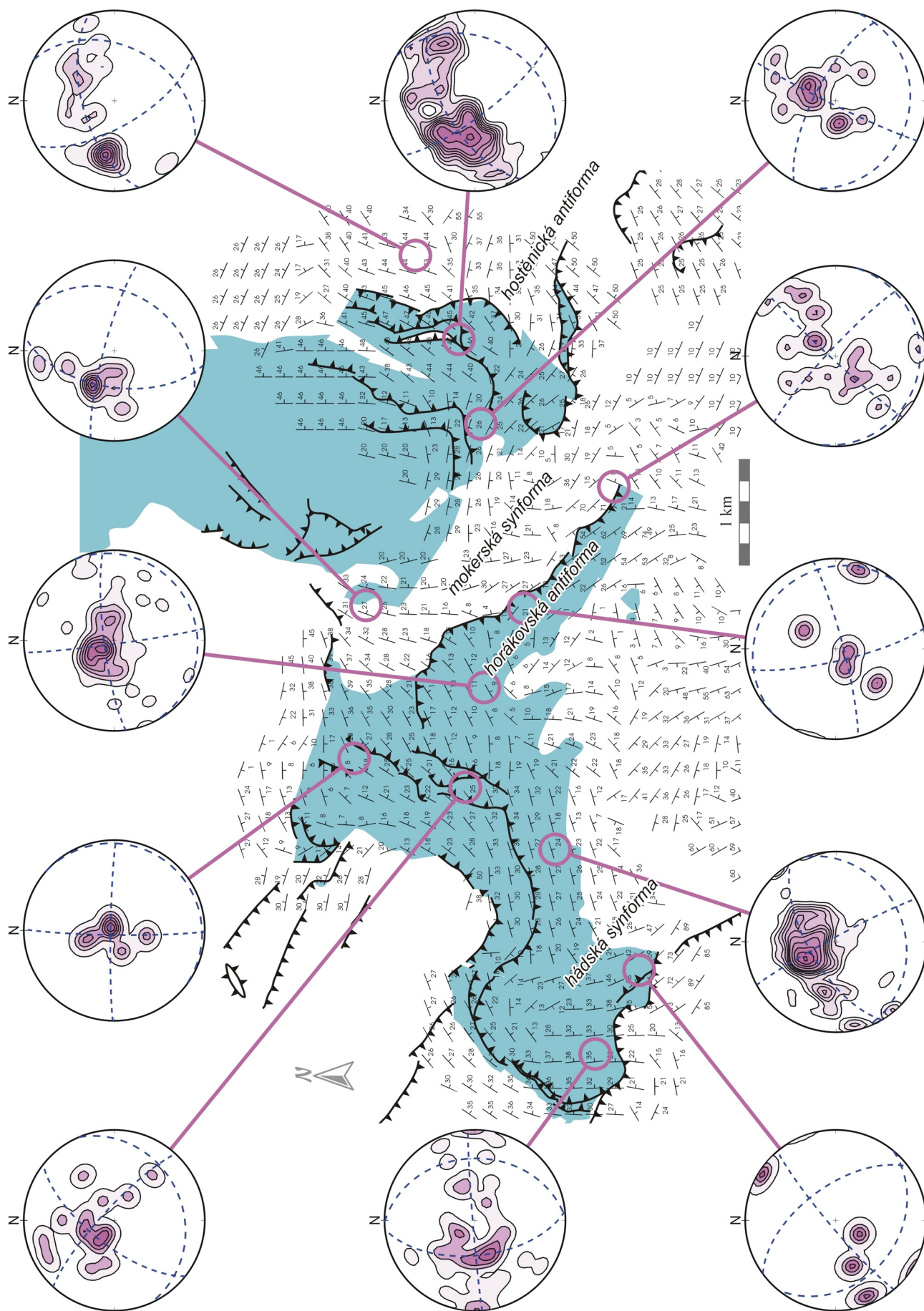
Základní „velké“ vrásové struktury jsou jasně patrné už z mapy (obr. 1.2, obr. 5.2). Jsou to hostěnická a horákovská antiforma a mokerská a hádská synforma. Tuto generální stavbu potvrzuje i mapa průměrných vrstevnatostí (obr. 5.2) a konturový diagram vrstevnatostí na obr. 5.1a. Také sklon hlavních vrásových os k JZ lze pozorovat v mapě (obr. 1.2) a potvrzuje ho konturový diagram vrásových os na obr. 5.1b. Tento sklon je v kontextu východního okraje brněnského masivu anomální, většina struktur se sklání k severu (např. Hanžl & Melichar 1995, Melichar & Kalvoda 1997, Rez & Melichar 2002). Z tohoto v hrubých rysech jednotného plánu vybočují lomy na Hádech, které mají vrásové osy anomálně ukloněné k severu (obr. 5.4e). To je pravděpodobně způsobeno druhotnou rotací při následných fázích deformace (viz kapitola 6. Diskuse).

Detailní vrásová stavba je samozřejmě mnohem složitější. Terénní pozorování v lomech Mokrá a Lesním lomu umožnila rozlišení dvou generací vrás. **Vrásy první generace F_1** jsou většinou ukloněné až ležaté, zavřené až izoklinální s jasnou vergencí k SV (obr. 5.3f, 5.3g, 5.4d, 5.4e). Výrazné pásmové kružnice v konturových diagramech na obr. 5.1a, 5.3a a 5.4a náležejí právě této generaci vrás. Jejich osy se uklánějí k JV (cca 145/20, obr. 5.1b, 5.3c, 5.4c). Směr rýhování na vrstevních plochách potvrzuje sv.-jz. kompresi se sv. vergencí (obr. 5.3b, rýhování získaná v Lesním lomu, obr. 5.4b, jsou v tomto ohledu bohužel neprůkazná, je jich málo a mají příliš velký rozptyl). Mechanismem vrásnění byl ohyb se skluzem, což naznačuje jak rýhování na vrstevních plochách jednoznačně spojené s vrásněním, tak i geometrie vrás – vrásy mají většinou konstantní pravou mocnost a spadají tedy do kategorie 1B, vznikající právě ohybem se skluzem (Ramsay & Huber 1989). Ostatně nehomogenita kalciturbiditů k ohybu se skluzem vyloženě vybízí. Intenzita deformace se mění v závislosti na vrásněném materiálu, nejdělněji bývají provrásněny křtinské vápence a březinské břidlice, většinou jen mírné zvrásnění vykazují vilémovické vápence (obr. 5.3h), což často vede k odlepení líšeňského souvrství a disharmonickému vrásnění. Intenzita deformace narůstá také v blízkosti hlavních násunových struktur.

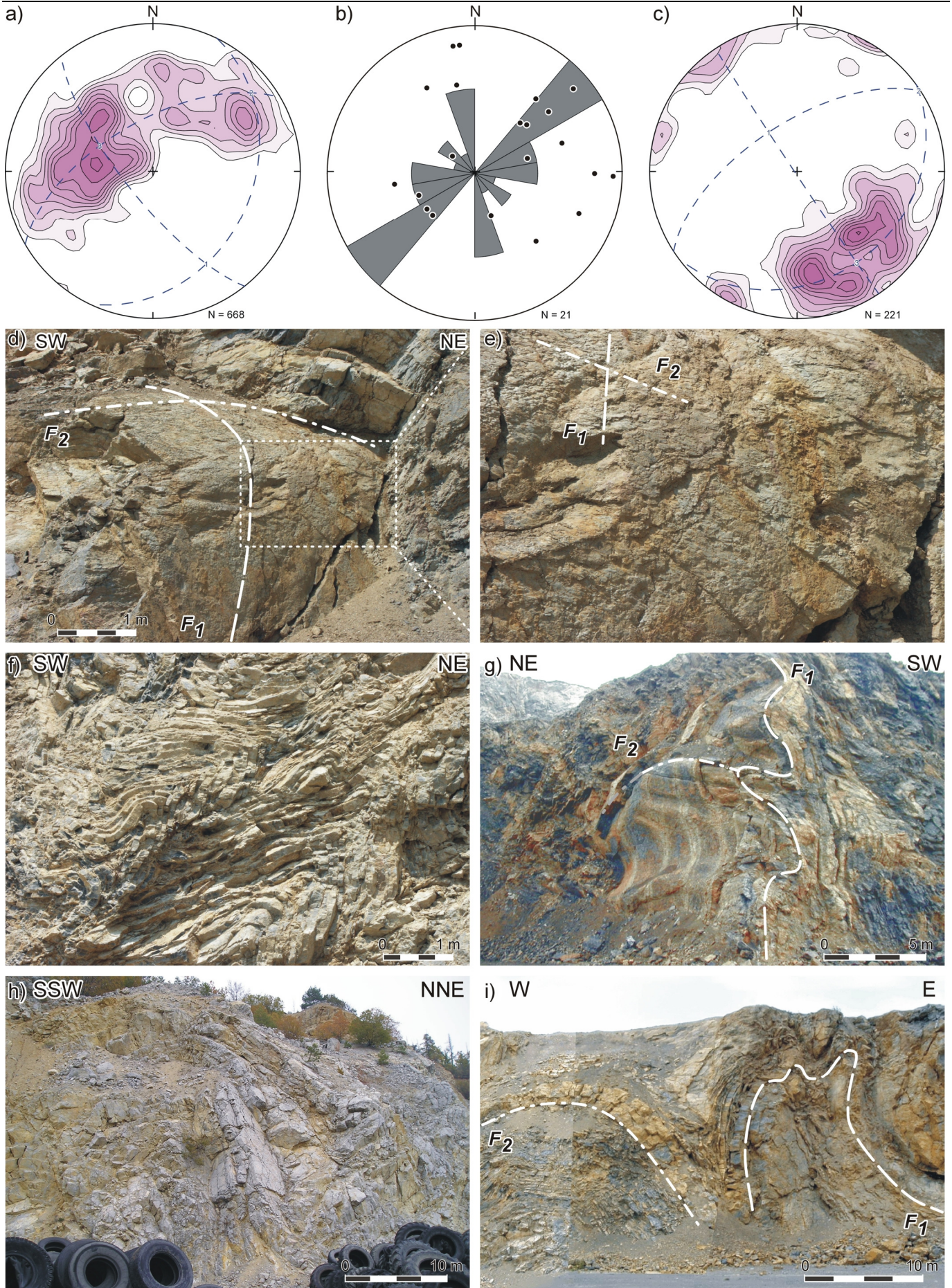
Vrásy F_1 jsou převrásněny **vrásami druhé generace - F_2** . Vztahy rýhování F_1 a F_2 jednoznačně určily relativní stáří obou fází vrásnění – vrásy F_1 jsou starší než vrásy F_2 (obr. 5.3e). Vrásy generace F_2 se od generace F_1 liší geometrií. Jsou mnohem méně výrazné, v konturových diagramech se projevují pouze větším rozptylem hlavní pásmové kružnice (např. obr. 5.3a). Vrásy F_2 jsou zhruba kolmé k vrásám F_1 (průměrné osy zhruba odpovídají bodům 2 v konturových diagramech vrásových os na obr. 5.1b, 5.3c, 5.4c), mají většinou mnohem větší vlnovou délku, bývají vzpřímené, rozevřené a symetrické. Jsou pozorovatelné jak v lomech Mokrá (obr. 5.3d, e, g, i) tak i v Lesním lomu (obr. 5.4e). Rýhování spojená s touto generací naznačují kompresi ve směru SSZ-JJV až SZ-JV (obr. 5.3b). Podle vzájemné orientace osních rovin a os vrás F_1 a F_2 se jedná o typ 2 (např. Ramsay & Huber 1989; obr. 5.1c).



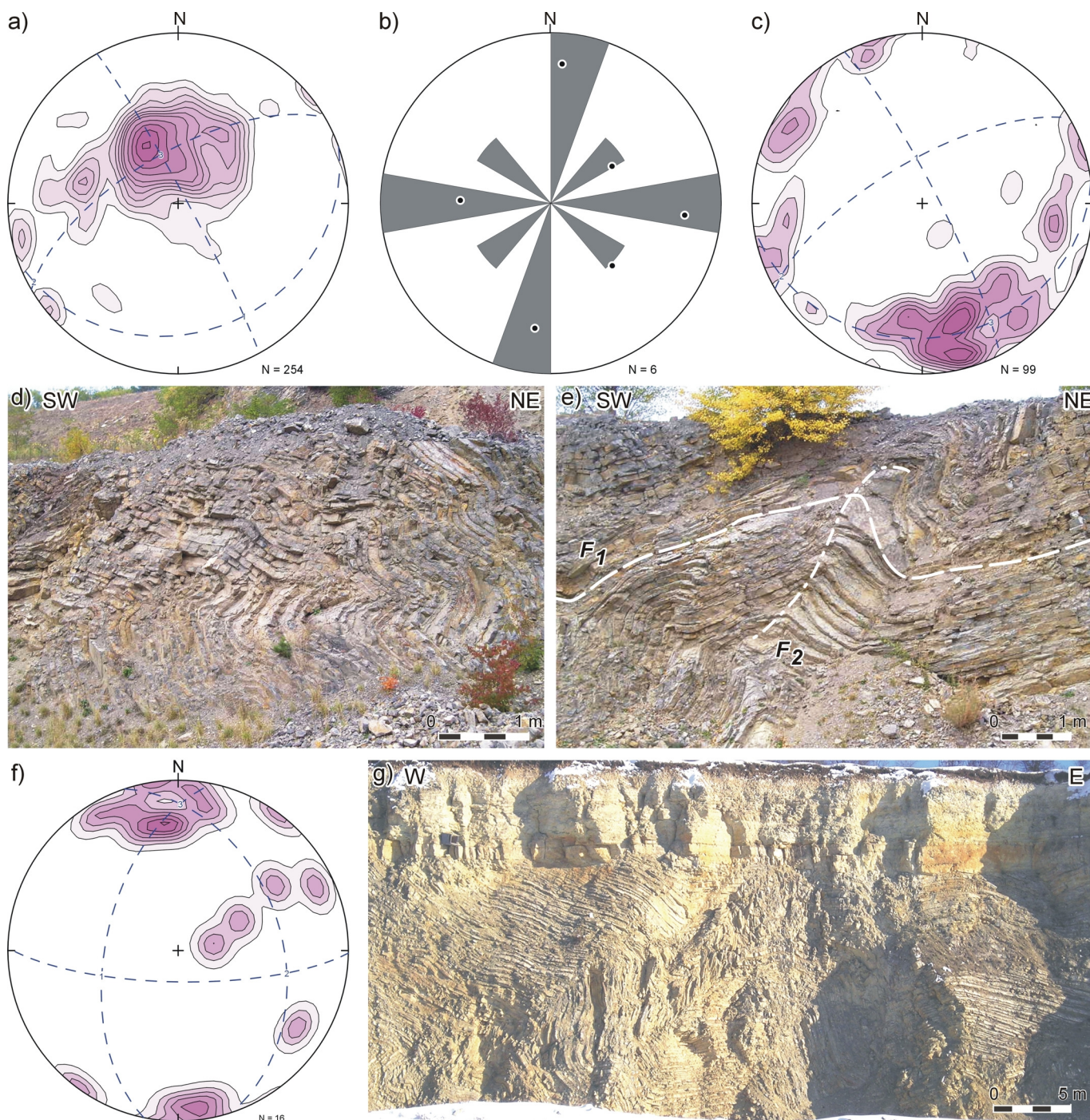
Obr. 5.1: Vrásová deformace v jižní části Moravského krasu a) konturový diagram všech použitých vrstevních ploch; b) konturový diagram všech použitých vrásových os; c) vznik převrásněných vrás typu 2 (např. Ramsay & Huber 1989)



Obr. 5.2: Mapa trendů vrstevnatosti (stejný výřez, jako mapa na obr. 1.2) doplněná konturovými diagramy vstupních dat. Modře je vyznačen rozsah vápenců.



Obr. 5.3: Vrásová stavba lomů Mokrý. a) konturový diagram ploch vrstevnatosti; b) růživový diagram rýhování na vrstevných plochách (pro kontrolu jsou vynesena i samotná měření); c) konturový diagram vrásových os; d) vrása F_1 převrásněná vrásou F_2 , střední lom, etáž 420, spodní křtinské vápence; e) detail vrstevní plochy se dvojím rýhováním, potvrzujícím relativní stáří F_1 a F_2 ; f) vrásky F_1 , střední lom, etáž 420, spodní křtinské vápence; g) vrásky F_1 převrásněné vrásou F_2 , střední lom, etáž 380, svrchní křtinské vápence; h) vrásky F_1 ve vilémovických vápencích, střední lom, západní stěna; i) vrása F_1 převrásněná vrásou F_2 , střední lom, etáž 395, svrchní hádsko-říčské vápence;



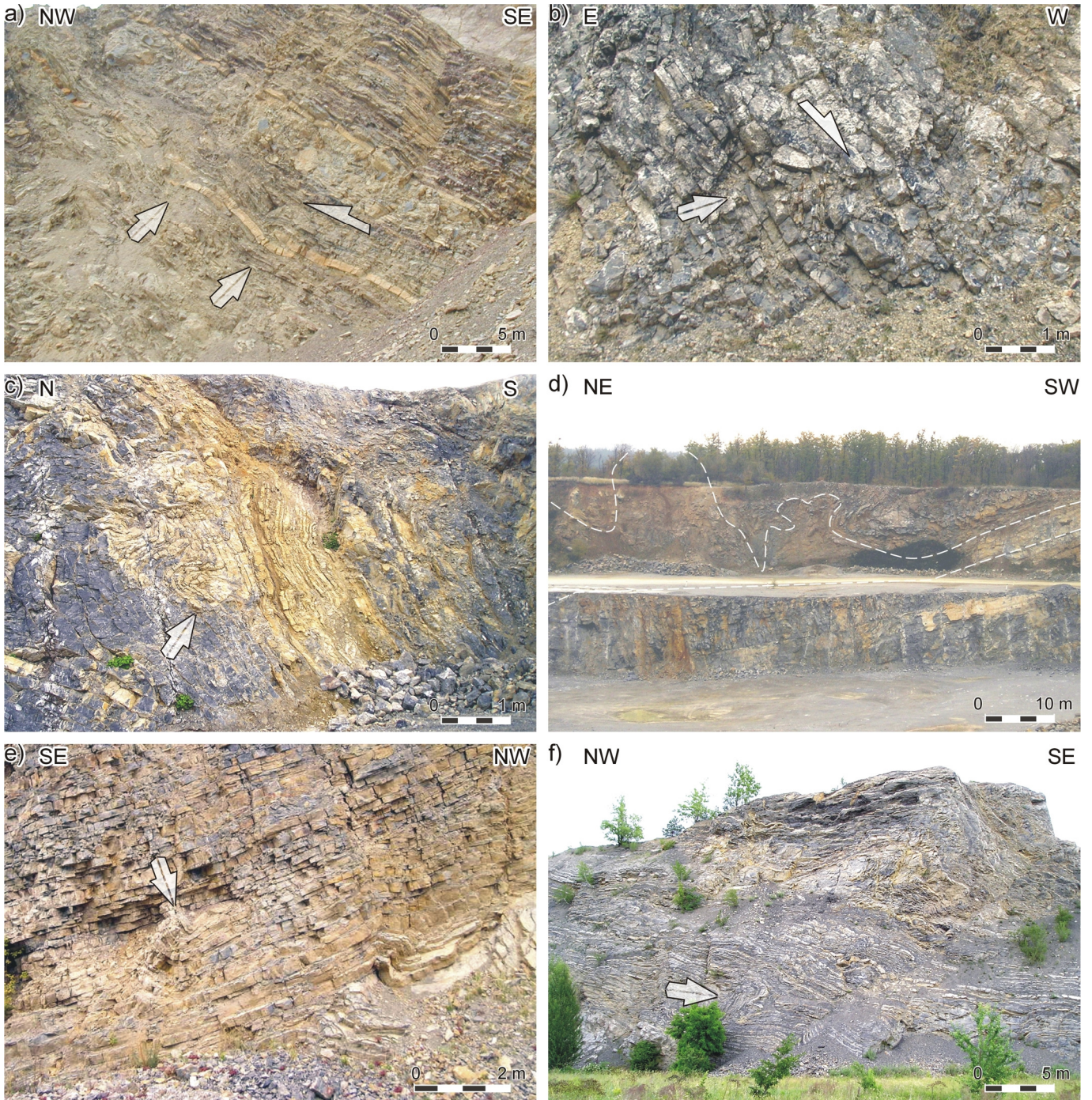
Obr. 5.4: Vrásová stavba v Lesním lomu a na Hádech. Lesní lom: a) konturový diagram ploch vrstevnatosti; b) růžicový diagram rýhování na vrstevních plochách (pro kontrolu jsou vynesena i samotná měření); c) konturový diagram vrásových os; d) vrásy F_1 , etáž 335, spodní hádsko-říčské vápence; e) vrása F_1 převrásněná vrásou F_2 , etáž 335, spodní hádsko-říčské vápence; Hády: f) konturový diagram vrásových os; g) „klasický“ pohled na horní etáž (380) „městského lomu“, vrásy F_1 s osami ukloněnými k severu, spodní hádsko-říčské vápence, nad diskordancí jurské vápence.

5.2. Struktury odlepení

Struktury odlepení vznikají jak při vrásnění, jako důsledek mezivrstevního kluzu, tak při nasouvání příkrovů, jako doprovodné struktury, a jsou v jižní části Moravského krasu hojně zastoupeny. Tato kapitola je hlavně grafickou dokumentací nejzajímavějších příkladů těchto struktur.

Protože hlavním vrásovým mechanismem je ohyb se skluzem, docházelo při deformaci často k přetržení kompetentnější vrstvy, vzniku drobné rampy a vzniku drobného násunu (obr. 5.5a). Někdy jsou tyto malé rampy doprovázeny vrásami zlomového ohybu (obr. 5.5b).

Jak již bylo uvedeno v předchozí podkapitole, reologické vlastnosti hornin v jižní části Moravského krasu jsou značně variabilní. To mělo za následek časté odlepení nekompetentních hornin od kompetentnějších a s tím spojeným vznikem vrás odlepení. Tyto struktury jsou zastoupeny ve všech měřítcích, od vrás řádově metrových (obr. 5.5c) po vrásy velikosti desítek metrů (obr. 5.5d a 5.5f).

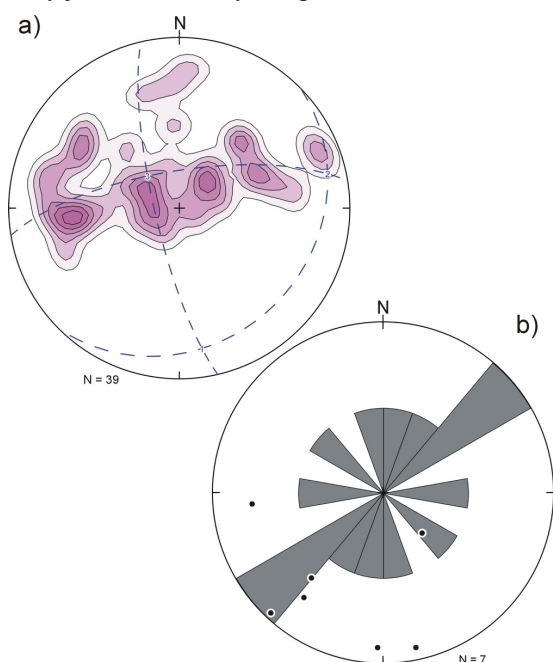


Obr. 5.5: Příklady struktur odlepení v jižní části Moravského krasu. a) Drobné rampy porušující vrstvu organodetritického vápence, březinské souvrství horákovského vývoje, střední lom Mokrý, etáž 395; b) Drobná rampa a přidružená vrása zlomového ohybu, svrchní hádsko-říčské vápence, východní lom Mokrý; c) Vrása odlepení, svrchní křtinské vápence, střední lom Mokrý, etáž 380; d) Vrása odlepení, spodní hádsko-říčské vápence odlepeny od podložních vilémovických vápenců, západní lom Mokrý; e) Vrstevní odlepení, spodní hádsko-říčské vápence, Lesní lom, etáž 335; f) Vrása odlepení, spodní hádsko-říčské vápence, lom V Džungli, Hády. Bílé šipky upozorňují na popisované struktury, bílé asymetrické šipky naznačují smysl stříhu.

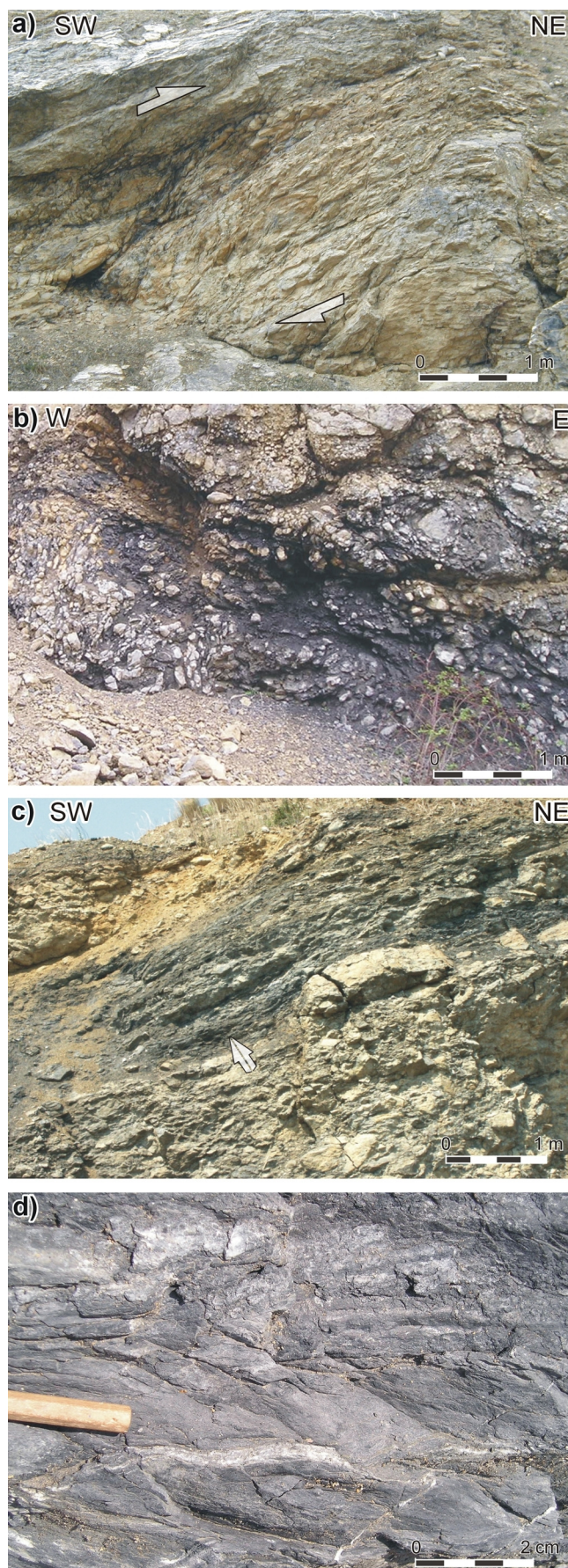
5.3. Násunové zlomy

Jak již bylo uvedeno výše, násunové zlomy sblíží dvě rozdílné, ale současné karbonátové facie – horákovský vývoj hlubšího svahu je nasunut na mělkovodní hostěnický vývoj podél několik desítek metrů mocné násunové zóny, velmi dobře odkryté v lomech Mokrá (obr. 5.8). Tato násunová zóna má poměrně složitou duplexovitou vnitřní stavbu. Jednotlivé šupiny jsou odděleny tmavě šedými až černými střížnými zónami – násunovými zlomy. Tyto střížné zóny prodělaly intenzivní deformaci jednoduchým stříhem a tlakové rozpouštění. Černé zbarvení je způsobeno nabohacením grafitizovaného organického materiálu tlakovým rozpouštěním během deformace. V lomech Mokrá lze sledovat různá stádia jejich vývoje. V raném stádiu se vyvinula břidličnatost, velmi často paralelní s původní vrstevnatostí a k ní kosá kliváž. Tlakové rozpouštění postupně „zaoblilo“ jednotlivé litony a zvýraznilo tak asymetrii vzniklé stavby (obr. 5.6a). Postupně došlo z výrazné redukci původní mocnosti střížné zóny, nerozpustný materiál začal převažovat nad zbytky vápenců, které „plavou“ v černé „břidličnaté“ základní hmotě (obr. 5.6b). V nejpokročilejším stádiu má násunový zlom podobu černé břidlice (obr. 5.6c, 5.6d). Velmi časté jsou také tektonické šupiny zavlečené podél násunových zlomů (obr. 5.11). V drtivé většině se jedná o starší horniny tektonicky zapracované do hornin mladších. Dříve bývaly považovány za olistolity, nicméně jejich pozice ve střížných zónách, přítomnost výrazného rýhování na jejich povrchu a silná deformace jednoduchým stříhem konzistentní s generelním směrem nasouvání mluví spíše pro jejich tektonický původ.

Geometrii násunů lze nejlépe demonstrovat na příkladu lomů Mokrá. Násuny se uklánějí k V až JV (obr. 5.7a) a mají tedy víceméně severojižní průběh (obr. 5.8), pouze ve východním lomu se uklánějí k západu. Rýhování na plochách násunů je orientováno převážně ve směru SV-JZ (obr. 5.7b). Asymetrie struktur (obr. 5.6a, 5.10c, 5.10d, 5.10e) dokládá nasouvání k SV. Násuny jsou zvrásněné vrásami koaxiálními s vrásami F_1 (průměrná osa je 170/20; obr. 5.7a) i vrásami F_2 . Násuny však zároveň evidentně sečou vrásy F_1 (obr. 5.9). Časové vztahy mezi vrásami a násunými jsou diskutovány v kapitole 6.2.



Obr. 5.7: Geometrie násunů v lomech Mokrá a) konturový diagram násunových ploch; b) růžicový diagram rýhování na násunových plochách.



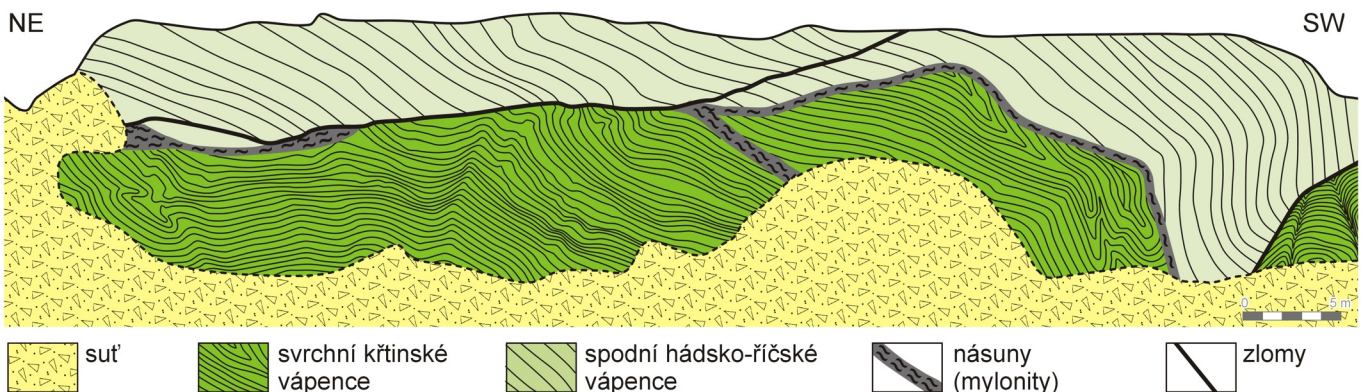
Obr. 5.6: Násunové zlomy ve východním lomu Mokrá a) počáteční fáze deformace; b) pokročilá fáze deformace s intenzivním tlakovým rozpouštěním; c) finální fáze deformace, násunová zóna je tvořena prakticky pouze grafitickým nerozpustným zbytkem; d) detail násunu, střední lom, etáž 380.



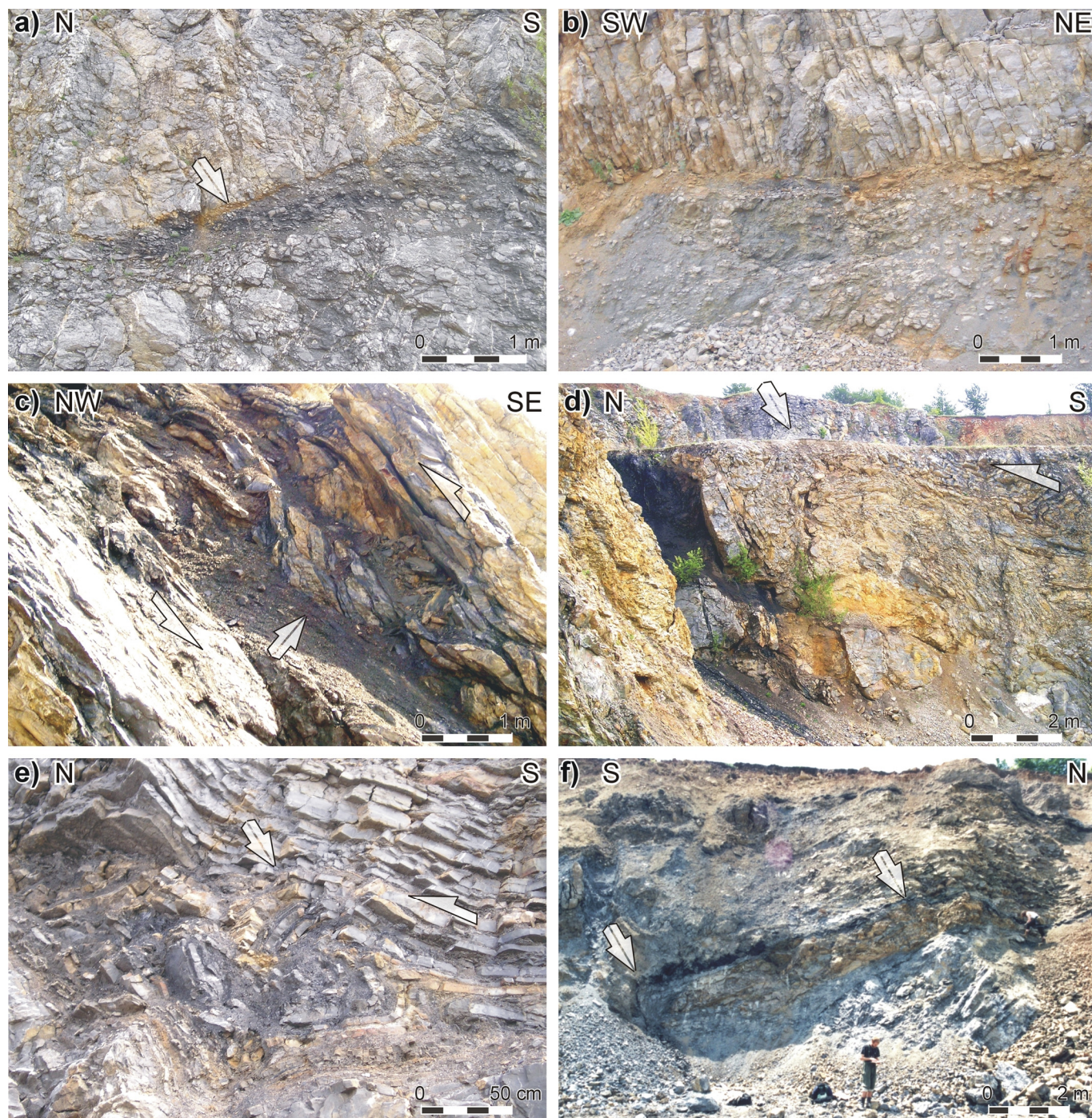
Obr. 5.8: Odkrytá geologická mapa lomů Mokrá. Prostor mezi lomy je překryt poloprůhledným pozadím.

Násuny v lomech Mokrá mají sice zhruba sj. průběh, avšak jsou zvrásněny do mírné antiformy (hostěnická antiforma, obr. 5.8, 1.2). Ačkoliv jsou násunové zlomy povětšinou subparalelní s vrstevnatostí, vytváří hlavní odlepení v lomech Mokrá mírně ukloněnou rampu. V západním lomu, v jižní části lomu středního a ve „starém lomu“ u správní budovy jsou nasunuty vilémovické vápence horákovského vývoje na vilémovické vápence vývoje hostěnického (obr. 5.10b). Směrem k SV šplhají násuny do vyšších stratigrafických úrovní (obr. 5.8).

Kromě lomů Mokrá a výše popsaných vrtů existují v jižní části Moravského krasu další dobře dokumentované příklady násunových zlomů. Velmi známá je šupina vilémovických a spodních hádsko-říčských vápenců zapracovaná do řačických slepenců u dopravníkového pásu mezi lomy Mokrá a cementárnou a nasunutí vilémovických vápenců na hádsko-říčské vápence při JV okraji obce Mokrá (obr. 1.2; Hladil 1987a).



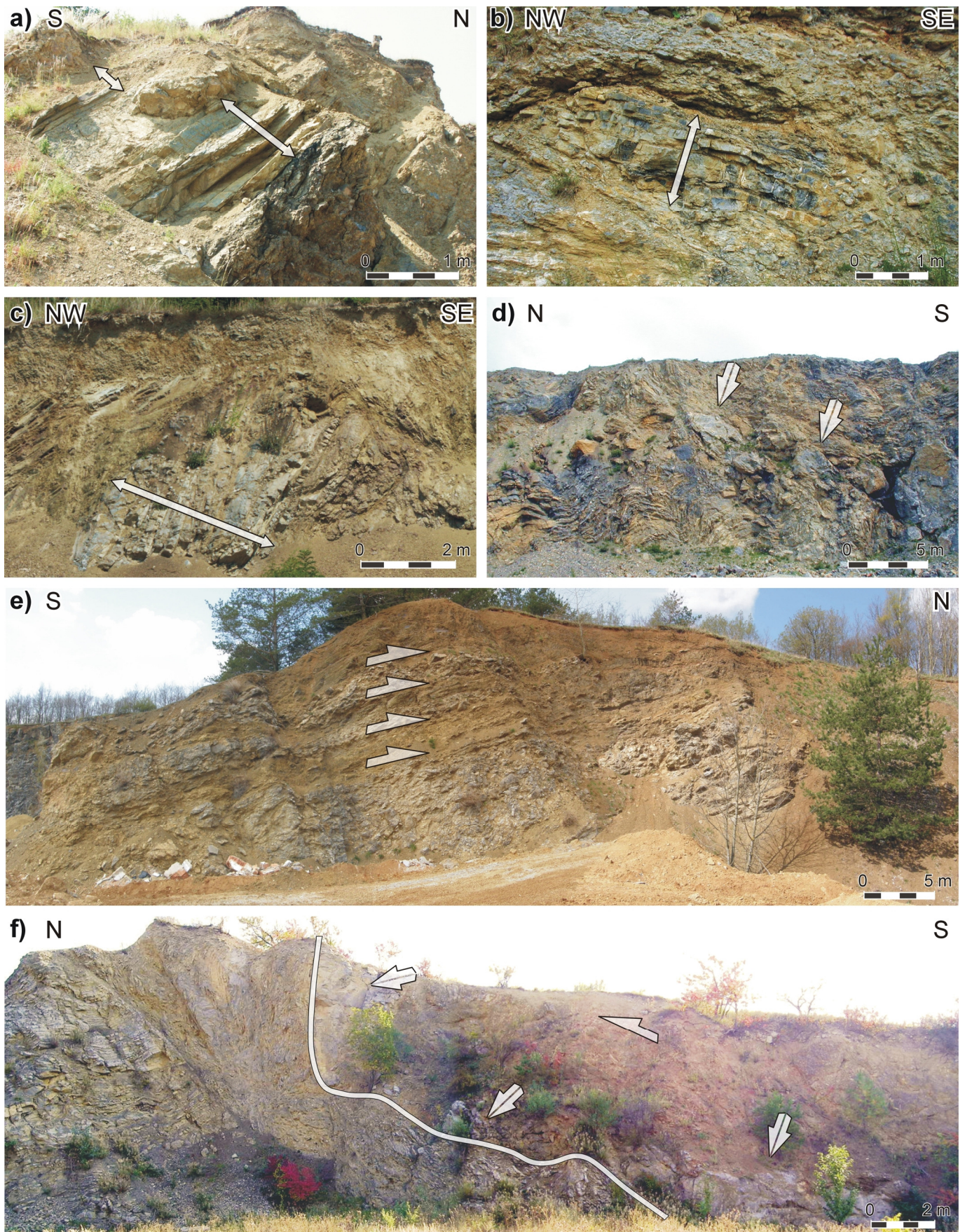
Obr. 5.9: Pohled na západní stěnu etáže 420 ve středním lomu Mokrá. Spodní hádsko-říčské vápence jsou nasunuty na svrchní křtinské vápence, násunová plocha je z části maskována mladším zlomem. Násuny sečou vrásou stavbu F_1 , ale zároveň jsou samy zvrásněné vrásami F_1 .



Obr. 5.10: *Násunové zlomy v lomech Mokrá. a) drobný násun ve vilémovických vápencích, střední lom, etáž 395; b) násun ve vilémovických vápencích, západní lom; c) drobné duplexy v rámci násunové zóny, svrchní hádsko-říčské vápence, střední lom, etáž 380; d) antiklinála svrchních křtinských vápenců nasunutá na svrchní křtinské vápence, střední lom, etáž 395; e) asymetricky zvrásněný násun indikující sunutí k SV, svrchní hádsko-říčské vápence, střední lom, etáž 395; f) zvrásněný zlom ve východním lomu (ohyby je označen šipkou vlevo), spodní hádsko-říčské vápence.*

Rutová (2009) zdokumentovala v údolí Říčky jižně od Bělkova mlýna profil v horákovském vývoji. Na bázi profilu jsou svrchní hádsko-říčské vápence a nad nimi spodní hádsko-říčské vápence. Vysvětlila to překocněním vrstevního sledu, avšak četné gradace dokládají nepřekocněný sled a tím pádem nasunutí svrchních hádsko-říčských vápenců na spodní. Násunově řešil tuto strukturu i Dvořák (1997b).

Další notoricky známou strukturou je nasunutí brněnského masivu a bazálních klastik na hádsko-říčské vápence v Růženině lomu a lomu v Džungli (obr. 5.11f) na Hádech (např. Dvořák & Pták 1963, Hladil 1987a).



Obr. 5.11: Násunové zlomy v jižní části Moravského krasu. a) šupiny rozstáňských břidlic (označeny šipkami) ve spodních hádsko-říčských vápencích, východní lom Mokrá; b) šupina spodních hádsko-říčských vápenců v zóně duplexů ve svrchních křtinských vápencích, střední lom Mokrá, etáž 420; c) šupina svrchních hádsko-říčských vápenců na násunovém zlomu v rozstáňském souvrství, východní lom Mokrá; d) šupiny vilémovických vápenců na násunovém zlomu ve svrchních křtinských vápencích, střední lom Mokrá, etáž 395; e) duplexy svrchních hádsko-říčských vápenců a rozstáňských břidlic, východní lom Mokrá; f) bazální klastika (vpravo) nasunutá na spodní hádsko-říčské vápence, na násunové ploše (bílá linie) jsou rozvlečeny šupiny vilémovických vápenců (označeny šipkami), lom v Džungli, Hády.

5.4. Zlomová stavba

Jižní část Moravského krasu je sítí zlomů rozdělena na řadu menších ker s rozdílnou erozní úrovní, což značně ztěžuje pochopení pozorované stavby. Nejdůležitější jsou dva vzájemně zhruba kolmé systémy zlomů: Z_1 - ssv.-jjz. poklesy až horizontální posuny uklánějící se k JV a Z_2 - zsz.-vzv. horizontální posuny až poklesy uklánějící se k SV. Pozorovaná četná rýhování a dokonale rovné zlomové plochy mnohdy „vyleštěné“ v tektonická zrcadla dokládají polyfázovou reaktivaci těchto zlomů. Tyto zlomy sečou vrásovou (obr. 5.12) i násunovou stavbu a jsou tedy mladší.

Oba systémy jsou velmi významné. Zlomy Z_1 vytvářejí na východě území zlomové pásmo oddělující západní a střední lom Mokrá, které postihuje i horákovskou antiformu (na východ od této zlomové zóny již v jádře antifomy nevystupují na povrch vápence). Zlomy Z_2 zase vytvářejí zlomové pásmo mezi Bělkovým mlýnem a jižním okrajem lomů Mokrá, které porušuje rameno megavrásy mezi hostěnickou antiformou a mokerskou synformou.

Data z lomů Mokrá a Lesního lomu získaná během terénních prací (Příloha 1, Tab. 5.1) byla použita pro napjatostní analýzu. Výsledky analýzy jsou shrnuty v obr. 5.13.

Výsledkem analýzy zlomů z lomů Mokrá jsou tři tenzory napjatosti (napjatostní fáze) umožňující separovat všechny zlomy, kromě jednoho, do homogenních souborů zlomů (tab. 5.2, obr. 5.13). Napjatostní fáze nejsou číslovány podle relativního stáří, ale podle množství zlomů, které jimi byly reaktivovány. Relativní stáří fází nebylo možné určit, protože nikde nebylo nalezeno křížení zlomů a byl nalezen pouze jeden zlom se dvěma rýhováními, jejichž relativní stáří však nebylo možno spolehlivě určit.

T/Nb	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F.I	90	87.9	64.8	87.7	76	90	69.5	69	88.3
F.II	89.3	77.5	59.3	58.3	86.9	76.9	90	90	88.3
F.III	59.2	53.9	90	80.2	84.4	78.3	90	55.4	64.2

T/Nb	10	11	12	13	14	15	16	17	18
F.I	80.4	66.8	90	86.4	66.3	88.6	58.1	77.6	88.2
F.II	61.4	87.7	59.3	90	66.6	63.2	90	72	60.2
F.III	90	82.8	84.2	57.5	90	81.9	76.1	65.6	83.4

T/Nb	19	20	21	22	23	24	25	26	27
F.I	63.8	59.5	81.9	67.8	86.5	86.3	90	88.5	89.2
F.II	89.1	87.7	84.8	88.5	89.7	65.7	72	59.7	58.9
F.III	80.5	83.4	85	82.3	56.6	90	78.7	72.5	82.6

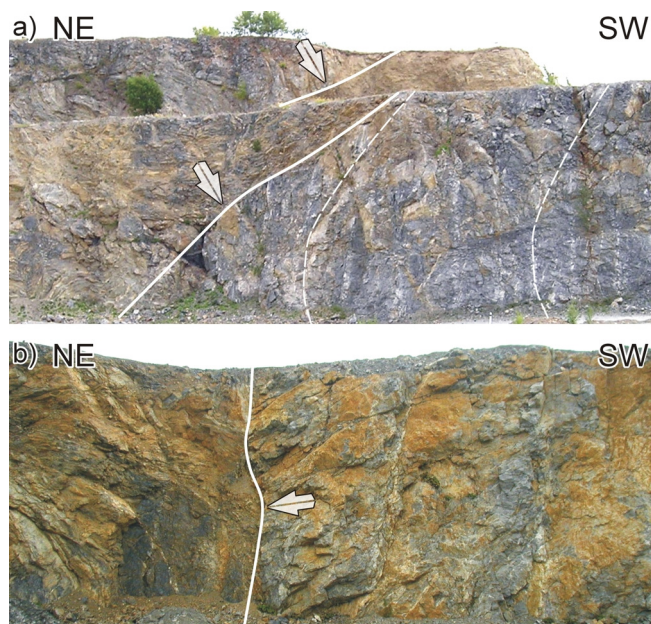
Tab. 5.2: Úhly svírající C-linie zlomů s jednotlivými vektory tenzorů napjatosti; červeně tučně jsou vyznačeny zlomy reaktivované danou napjatostí, červeně jsou zlomy splňující kritérium max. odchylky 5°, které však nebyly zařazeny do homogenního souboru zlomů dané fáze.

V Lesním lomu byla identifikována jedna napjatostní fáze, která je schopna reaktivovat osm ze dvanácti změřených zlomů (tab. 5.3, obr. 5.13). Pro zbývající zlomy nelze nalézt stabilní řešení. Tyto zlomy pravděpodobně nebyly reaktivovány během jedné napjatostní fáze.

T/Nb	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F.I	49.2	86.4	70.7	65.5	88.3	90	75.5	85.1	87.9

T/Nb	10	11	12
F.I	90	90	90

Tab. 5.3: Úhly svírající 9D vektory C-liní zlomů s nalezeným vektorem tenzoru napjatosti; červeně tučně jsou vyznačeny zlomy reaktivované napjatostí F.I (s odchylkou max. 5°).



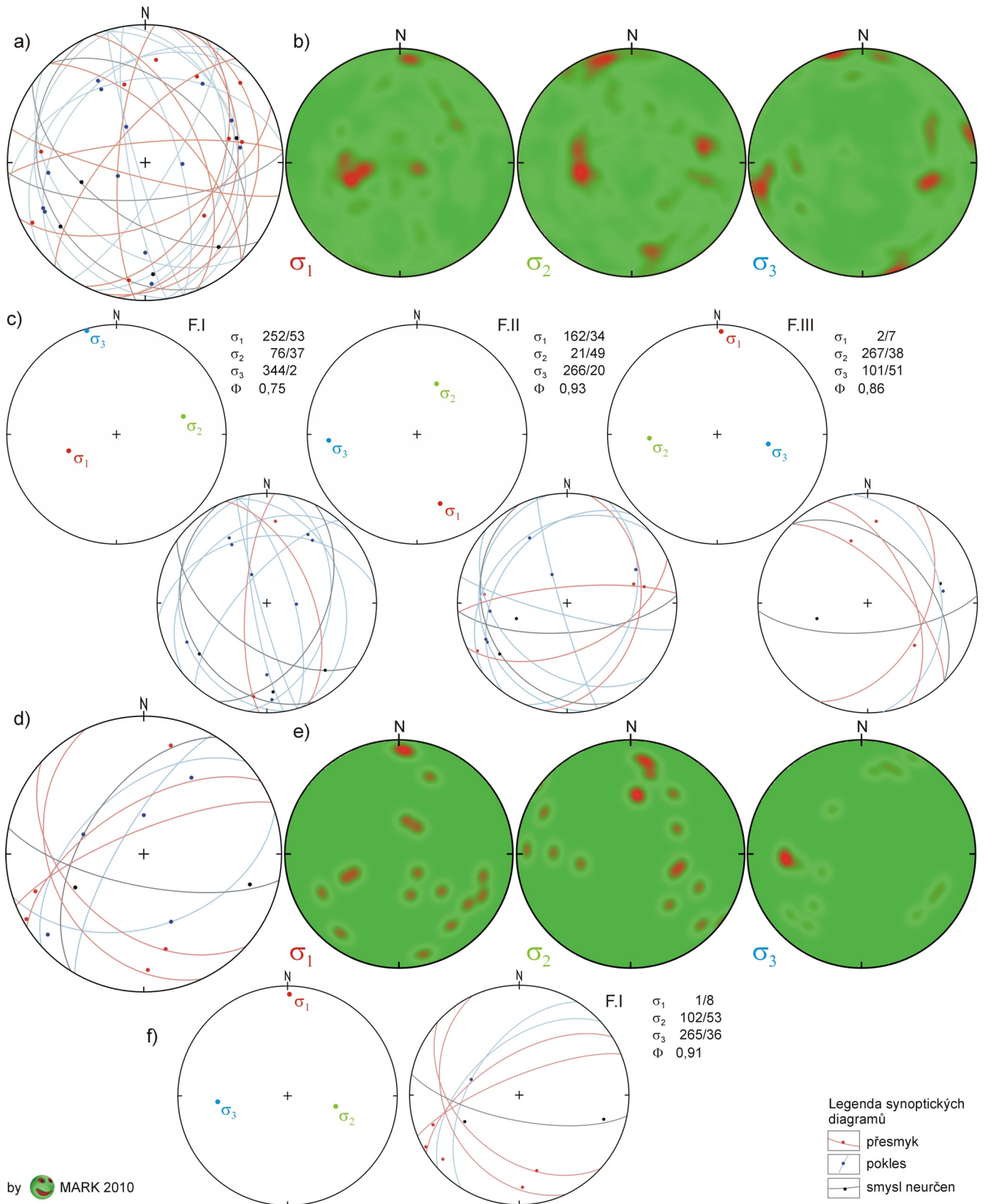
Obr. 5.12: Zlomy zsz.-vzv. směřů sečou vrásovou stavbu. a) vrchol antiklinály spodních hádko-řtěčských a vilémovických vápenců (vpravo) je amputován zlomem a je oddělen od svrchních křtinských vápenců (vlevo) etáž 395, střední lom Mokrá; b) vrchol vilémovických vápenců (vpravo) je amputován zlomem a oddělen od svrchních křtinských vápenců (vlevo) etáž 380, střední lom Mokrá.

n. plocha	rýhování	smysl	n. plocha	rýhování	smysl
1 S 320/30	L 330/32	pokles	15 S 261/80	L 180/35	pokles
2 S 352/39	L 329/38	pokles	16 S 156/54	L 242/8	přesmyk
3 S 116/46	L 132/42	přesmyk	17 S 108/20	L 50/11	přesmyk
4 S 116/46	L 176/20	neurčen	18 S 72/30	L 36/30	pokles
5 S 194/81	L 276/25	přesmyk	19 S 306/36	L 246/20	pokles
6 S 74/70	L 92/68	pokles	20 S 112/40	L 64/31	pokles
7 S 176/68	L 253/50	neurčen	21 S 82/33	L 81/31	pokles
8 S 222/38	L 264/30	pokles	22 S 102/34	L 78/29	přesmyk
9 S 260/21	L 244/20	pokles	23 S 244/25	L 233/24	neurčen
10 S 46/64	L 345/41	přesmyk	24 S 68/56	L 6/26	přesmyk
11 S 355/78	L 74/37	přesmyk	25 S 215/56	L 139/20	neurčen
12 S 311/70	L 31/28	přesmyk	26 S 274/74	L 188/15	přesmyk
13 S 254/85	L 332/66	pokles	27 S 100/42	L 177/13	pokles
14 S 46/45	L 75/32	neurčen			
1 S 162/46	L 158/46	pokles	7 S 302/53	L 288/52	pokles
2 S 318/52	L 230/10	pokles	8 S 302/53	L 14/29	přesmyk
3 S 300/75	L 360/67	pokles	9 S 338/76	L 251/18	přesmyk
4 S 300/75	L 32/35	pokles	10 S 328/61	L 241/3	přesmyk
5 S 300/75	L 244/44	neurčen	11 S 245/32	L 178/17	přesmyk
6 S 222/44	L 167/30	přesmyk	12 S 191/71	L 106/21	neurčen

Tab. 5.1: Data použitá pro napjatostní analýzu, v horní části z lomů Mokrá, v dolní z Lesního lomu (n. je číslo zlomu, Nb v tab. 5.2 a 5.3)

Fáze F.I z Lesního lomu je do značné míry kompatibilní s fází F.II z lomů Mokrá, protože obě mají totožnou orientaci σ_3 a oba tenzory jsou v podstatě oblátní (parametr Φ blízký 1).

Čistě hypoteticky, za předpokladu homogenního napjatostního pole a za vyloučení mladší reorientace zlomů, lze zlomy z Lesního lomu číslo 1 a 7 přiřadit do fáze F.I z lomů Mokrá a zlom 3 do fáze F.III.



by MARK 2010

Obr. 5.13: Výsledky napjatostní analýzy zlomů. a) synoptický diagram vstupních dat z lomů Mokrý; b) hustotní diagramy orientace hlavních normálových napětí (červená maxima mohou indikovat jednotlivé napjatostní fáze); c) výsledné fáze a synoptické diagramy separovaných homogenních souborů dat; d) synoptický diagram vstupních dat z Lesního lomu; e) hustotní diagramy orientace hlavních normálových napětí (červená maxima mohou indikovat jednotlivé napjatostní fáze); f) výsledná fáze a synoptický diagram separovaného homogenního souboru dat.

5.5. Napjatostní analýza kalcitových dvojčat

Pro napjatostní analýzu založenou na dvojčatění kalcitu (teoretické pozadí viz Burkhard 1993, Ferrill 1998, Jamison & Spang 1976, Rez & Melichar 2010, Rowe & Rutter 1990, Turner 1953) byly vybrány čtyři výbrusy z orientovaných vzorků (OV1, OV8, Z4 a Z9). Vzorek **OV1** zachytil křížení dvou kalcitových žil ve svrchních hádsko-říčských vápencích ve východním lomu. Starší žilka je 5-7 mm mocná, tvořená mléčně bílým silně zdvojitým kalcitem a má orientaci 105/70. Přetíná ji mladší žilka šedobílého naprosto nezdvojitelného kalcitu, asi 1 cm mocná. Má orientaci 130/47. Výbrus **OV8**, pocházející z vilémovických vápenců západního lomu, protnul 5 mm mocnou žilkou bílého kalcitu s lehkým rezavým nádechem. Její orientace je 165/80. Vzorek **Z4** je 2 cm mocná, poměrně hrubozrnná (obr. 5.14) žilka mléčně bílého až skoro čirého kalcitu ze spodních hádsko-říčských vápenců, středního lomu, etáže 420. Její orientace je 209/86. Vzorek **Z9** pochází z vilémovických vápenců v západním lomu. Jedná se o 1,5 cm mocnou žilu žlutobílého kalcitu s orientací 282/28.

Procenta zvojitění jednotlivých vzorků jsou v tab. 5.4, jejich zrnitost je uvedena v histogramu na obr. 5.14. Měření v souřadnicích výbrusů a ortogonalizovaná data v geografických souřadnicích jsou v příloze 3.

	OV1	OV8	Z4	Z9
Počet zrn	49	43	24	49
Nezdvojitelná zrna	2.04%	6.98%	0%	0%
Zrna s jedním systémem lamel	46.94%	34.88%	37.50%	10.20%
Zrna se dvěma systémy lamel	44.90%	48.84%	54.17%	85.70%
Zrna se třemi systémy lamel	6.12%	9.30%	8.33%	4.08%

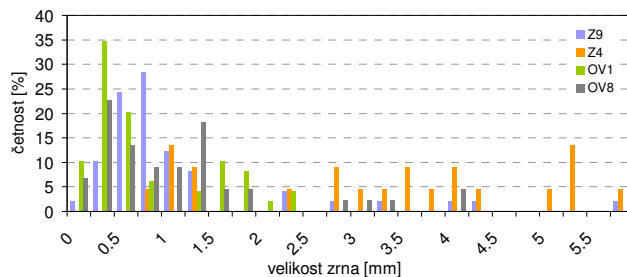
Tab. 5.4: Procentuální zastoupení nezdvojitelných zrn a zrn s jedním, dvěma a třemi zdvojitými systémy.

Morfologie dvojčatných lamel je závislá hlavně na teplotě deformace. Zjednodušeně, čím vyšší teplota, tím méně vzniká lamel, které mají ovšem větší mocnost. Ferrill et al. (2004) navrhli jednoduchý termometr založený na tomto principu (obr. 5.15). Data z jižní části Moravského krasu neposkytla jednoznačné výsledky. Měření zasahují do všech tří polí, vzorky Z4 a Z9 spadají více do polí vyšších teplot, vzorky OV1 a OV8 do nižetepelných polí. Celkově však získaná data ukazují na vyšší teploty deformace, než jiné metody. Franců et al. (2002) uvádějí na základě odraznosti vitrinitu a krystalinity illitu pro jižní část Moravského krasu teploty 80-130°C. Tuto nesrovnalost lze vysvětlit superpozicí více fází deformace, která mohla snadno zvýšit mocnost měřených dvojčatných lamel, a také celkově nízkou rozlišovací schopností termometru Ferrilla et al. Ostatně sami autoři doporučují jeho použití hlavně pokud není k dispozici jiná metoda.

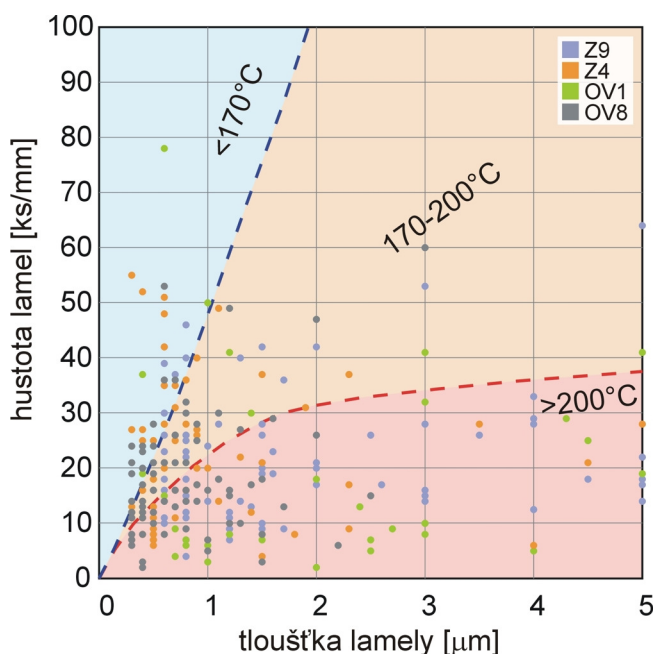
Výsledky napjatostní analýzy jsou uvedeny v tab. 5.5 a obr. 5.17 až 5.20, které mají jednotnou formu a také jednotnou legendu (obr. 5.16). Části *a*) a *b*) zobrazují vstupní data. V části *c*) jsou grafy dvou metod Rowa a Ruttera (1990) a v části *d*) graf Jamisona a Spanga (1976) obě pro určení velikosti diferenciálního napětí $\Delta\sigma$. V části *e*) je zobrazen výsledek modifikované metody klínů (Rez & Melichar 2010). V části *f*) je zobrazen diagram distribuce penalizační funkce f_R hlavní použité metody Laurenta a Lacomba (viz kapitola 3. Metodika). A v sekci *g*) jsou vynesena hlavní normálová napětí zjištěných tenzorů napjatosti a bodové diagramy vstupních dat po aplikaci tenzoru napjatosti. Barevně jsou rozlišeny zdvojitelné a

nezdvojitelné plochy kompatibilní i nekompatibilní s danou napjatostí.

Tabulka 5.5 shrnuje směry a velikosti hlavních normálových napětí, tvarový parametr Φ ($\Phi=(\sigma_2-\sigma_3)/(\sigma_1-\sigma_3)$), počet zdvojitelných lamel kompatibilních s danou napjatostí (1/1) a počet nezdvojitelných ploch nekompatibilních s danou napjatostí (0/1, nezdvojitelné plochy, které by daná napjatost měla zdvojit).



Obr. 5.14: Histogram zrnitosti vzorků použitých pro napjatostní analýzu kalcitových dvojčat.



Obr. 5.15: Graf závislosti mocnosti dvojčatných lamel a jejich hustoty na teplotě deformace (Ferrill et al. 2004).

- a) ● pól zdvojitelné plochy e
- pól nezdvojitelné plochy e
- b) ● osa c nezdvojitelného zrna
- osa c zrna s 1 zdvojitelným systémem
- osa c zrna se 2 zdvojitelnými systémy
- osa c zrna se 3 zdvojitelnými systémy
- e) $f_\mu (-\infty; \infty)$
- f) $f_R (-\infty; \infty)$
- g) ○ pól kompatibilní nezdvojitelné plochy e
- pól nekompatibilní nezdvojitelné plochy e
- pól kompatibilní zdvojitelné plochy e
- pól nekompatibilní zdvojitelné plochy e

Obr. 5.16: Jednotná legenda pro části a - g obrázků 5.17, 5.18, 5.19 a 5.20.

OV1	F.I		F.II		F.III		F.IV	
	α_i/φ_L	napětí	α_i/φ_L	napětí	α_i/φ_L	napětí	α_i/φ_L	napětí
σ_1	136/69	366 MPa	140/19	62 MPa	249/38	42 MPa	19/16	34 MPa
σ_2	32/5	106 MPa	40/27	31 MPa	123/37	17 MPa	288/71	24 MPa
σ_3	300/20	0 MPa	260/56	0 MPa	6/30	0 MPa	112/9	0 MPa
Φ		0.4		0.5		0.4		0.71
1/1		45		37		17		16
0/1		21		17		15		12
OV8	F.I		F.II		F.III		F.IV	
	α_i/φ_L	napětí	α_i/φ_L	napětí	α_i/φ_L	napětí	α_i/φ_L	napětí
σ_1	62/39	185 MPa	177/25	45 MPa	36/29	40 MPa		
σ_2	293/38	56 MPa	43/56	31 MPa	300/11	28 MPa		
σ_3	178/29	0 MPa	278/22	0 MPa	191/58	0 MPa		
Φ		0.3		0.69		0.7		
1/1		43		28		16		
0/1		18		18		10		
Z4	F.I		F.II		F.III		F.IV	
	α_i/φ_L	napětí	α_i/φ_L	napětí	α_i/φ_L	napětí	α_i/φ_L	napětí
σ_1	102/19	85 MPa	37/2	25 MPa	353/10	150 MPa		
σ_2	9/8	76 MPa	306/33	3 MPa	208/78	30 MPa		
σ_3	259/69	0 MPa	130/57	0 MPa	84/7	0 MPa		
Φ		0,89		0,12		0,2		
1/1		28		12		21		
0/1		7		1		14		
Z9	F.I		F.II		F.III		F.IV	
	α_i/φ_L	napětí	α_i/φ_L	napětí	α_i/φ_L	napětí	α_i/φ_L	napětí
σ_1	247/48	310 MPa	63/10	95 MPa	18/12	60 MPa	270/16	36 MPa
σ_2	25/34	31 MPa	166/53	57 MPa	288/0	0 MPa	9/28	7 MPa
σ_3	130/22	0 MPa	326/35	0 MPa	198/78	0 MPa	154/57	0 MPa
Φ		0,1		0,6		0		0,2
1/1		64		39		42		44
0/1		11		13		12		13

Tab. 5.5: Výsledky napjatostní analýzy založené na dvojčatění kalcitu. Podrobnosti v textu, kapitola 5.5, str.24.

Výsledkem analýzy vzorku **OV1** jsou čtyři napjatostní fáze: OV1_F.I až OV1_F.IV (tab. 5.5, obr. 5.17). Velikosti diferenciálního napětí získané metodami Rowa a Ruttera (1990) se pohybují mezi 80–366 MPa (průměrně 152 MPa) a mezi 11–81 MPa (průměrně 44 MPa). Hodnota diferenciálního napětí metodou Jamisona a Spanga (1976)³ je 157 MPa. Je ovšem pravděpodobné, že jsou tyto hodnoty nadhodnoceny polyfázovou deformací. Velikosti diferenciálního napětí získané metodou Laurenta a Lacomba (Lacombe & Laurent 1996, Laurent et al. 1990) jsou v tab. 5.5. Pouze v případě fáze OV1_F.I byla hodnota diferenciálního napětí snížena na 366 MPa, tedy nejvyšší hodnotu podle grafu Rowa a Ruttera (1990), protože původní velikost 510 MPa se zdála být nepravděpodobná. Také množství nekompatibilních nezdvojitých ploch (viz výše) je vyšší, než u ostatních vrorků (tab. 5.5). To by se dalo vysvětlit celkově menší velikostí zrn (obr. 5.14) a tím pádem méně homogenní distribucí napětí (např. Burkhard 1993, Tullis 1980). Celkem 13 zdvojitých systémů se nepodařilo přiřadit žádné z napjatostních fází. Podle Laurenta a Lacomba (Laurent et al. 1981, Rocher et al. 2004) je určité množství těchto lamel normální, jedná se

buď o primární růstové lamely (velmi vzácně) a nebo o důsledek nehomogenní distribuce napětí.

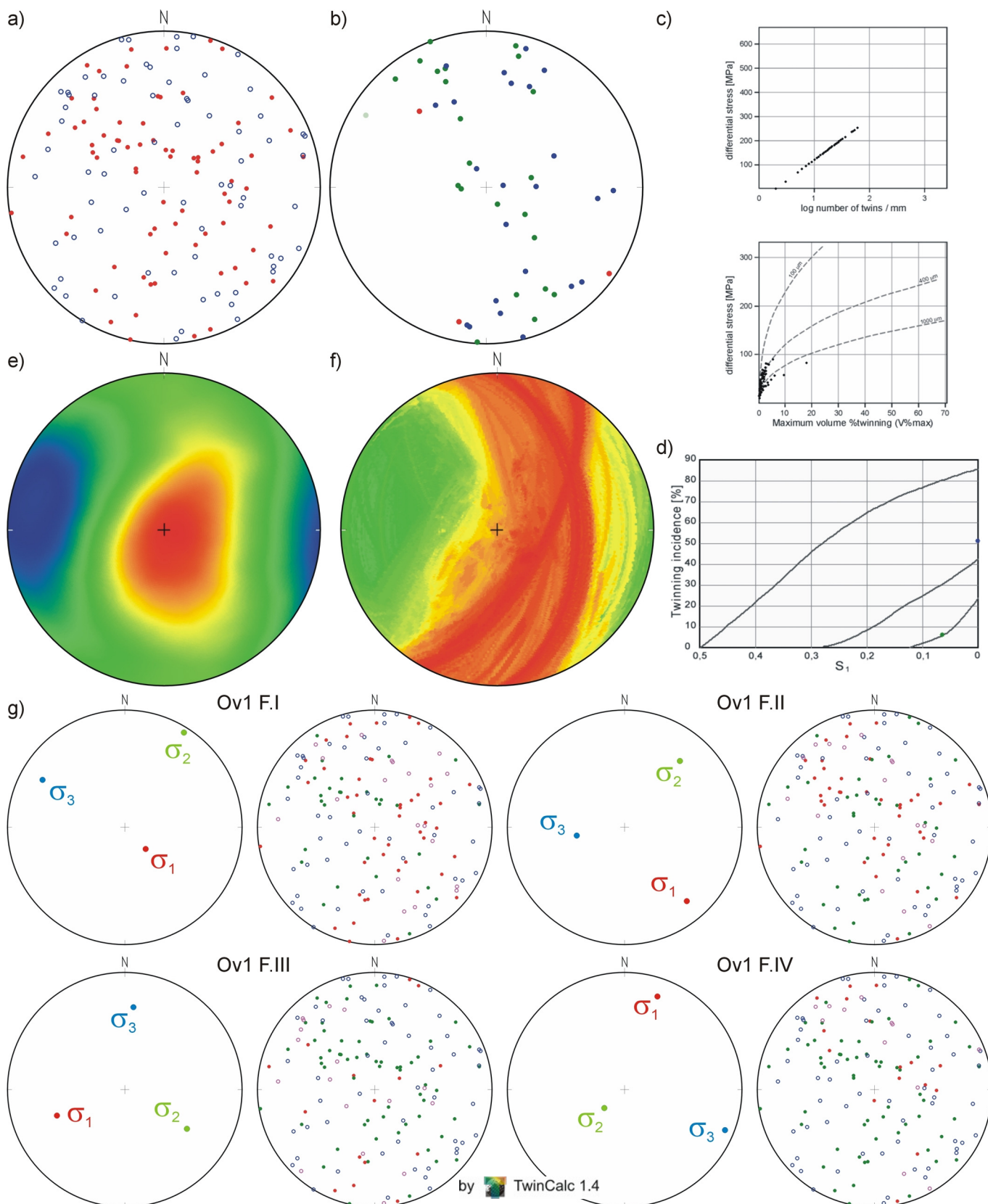
Vzorek **OV8** byl deformován třemi fázemi: OV8_F.I až OV8_F.III (tab. 5.5, obr. 5.18). Velikosti diferenciálního napětí metodou Rowa a Ruttera (1990) se pohybují v rozmezí 51–256 MPa (průměrně 163 MPa) a 15–347 MPa (průměrně 48 MPa). Podle Jamisona a Spanga (1976) je velikost diferenciálního napětí 214 MPa. 12 zdvojitých systémů lamel nebylo přiřazeno žádné napjatostní fázi.

Vzorek **Z4** také poskytl tři napjatostní fáze: Z4_F.I až Z4_F.III (tab. 5.5, obr. 5.19), ovšem bylo změřeno pouze 24 zrn. Diferenciální napětí podle Rowa a Ruttera (1990) dosahují hodnot 34–272 MPa (průměrně 147 MPa) a 10–105 MPa (průměrně 35 MPa), podle Jamisona a Spanga (1976) 196 MPa. 9 dvojčatných systémů nebylo přiřazeno žádné napjatostní fázi.

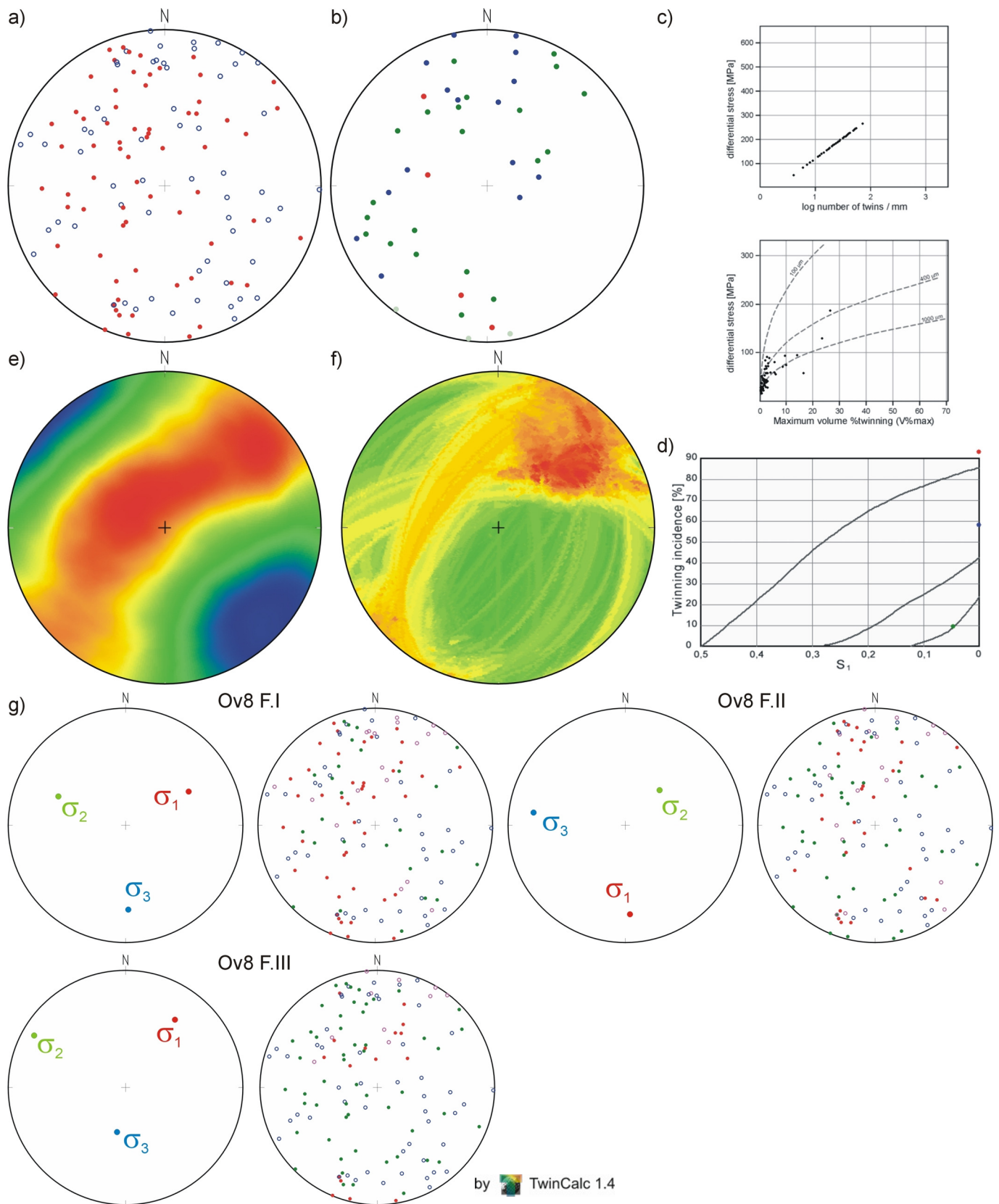
A konečně vzorek **Z9** byl deformován opět čtyřmi napjatostními fázemi: Z9_F.I až Z9_F.IV (tab. 5.5, obr. 5.20). Je ovšem nutno upozornit na fakt, že má výrazně vyšší přednostní orientaci optických os c , než ostatní vzorky. Diferenciální napětí se pohybují v rozmezí 46–295 MPa (průměrně 162 MPa), 12–165 MPa (průměrně 57 MPa; Rowe & Rutter 1990) a 124 MPa (Jamison & Spang 1976). 16 zdvojitých systémů lamel nebylo přiřazeno žádné napjatostní fázi.

Možné vztahy jednotlivých fází jsou stručně diskutovány v kapitole 6.3.

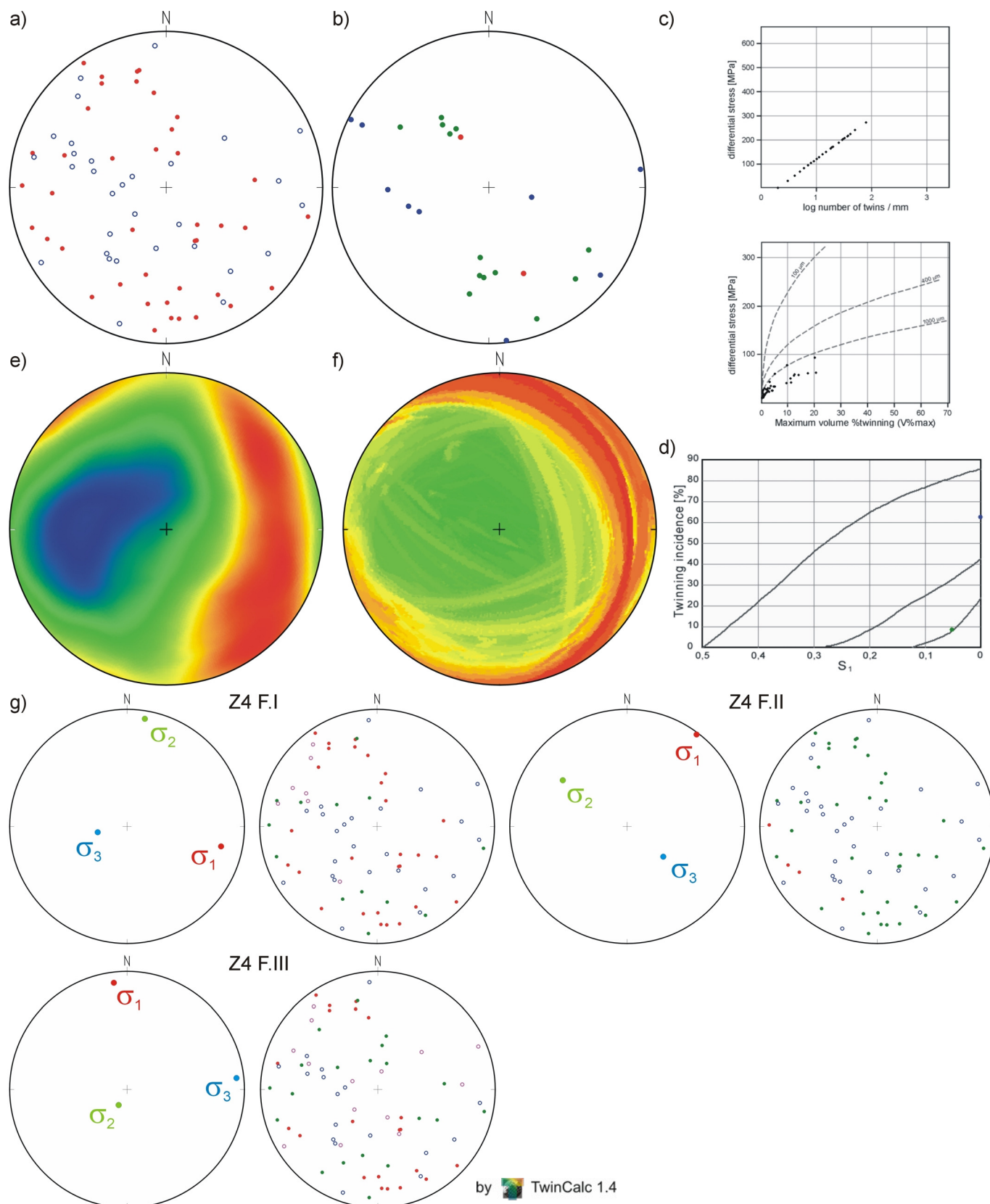
³ výsledkem této metody jsou v ideálním případě tři zhruba stejné hodnoty, avšak procentuální zastoupení zrn s jedním a dvěma zdvojitými systémy je tak veliké, že se ocitají mimo graf a vypočtené hodnoty diferenciálního napětí jsou nereálně vysoké.



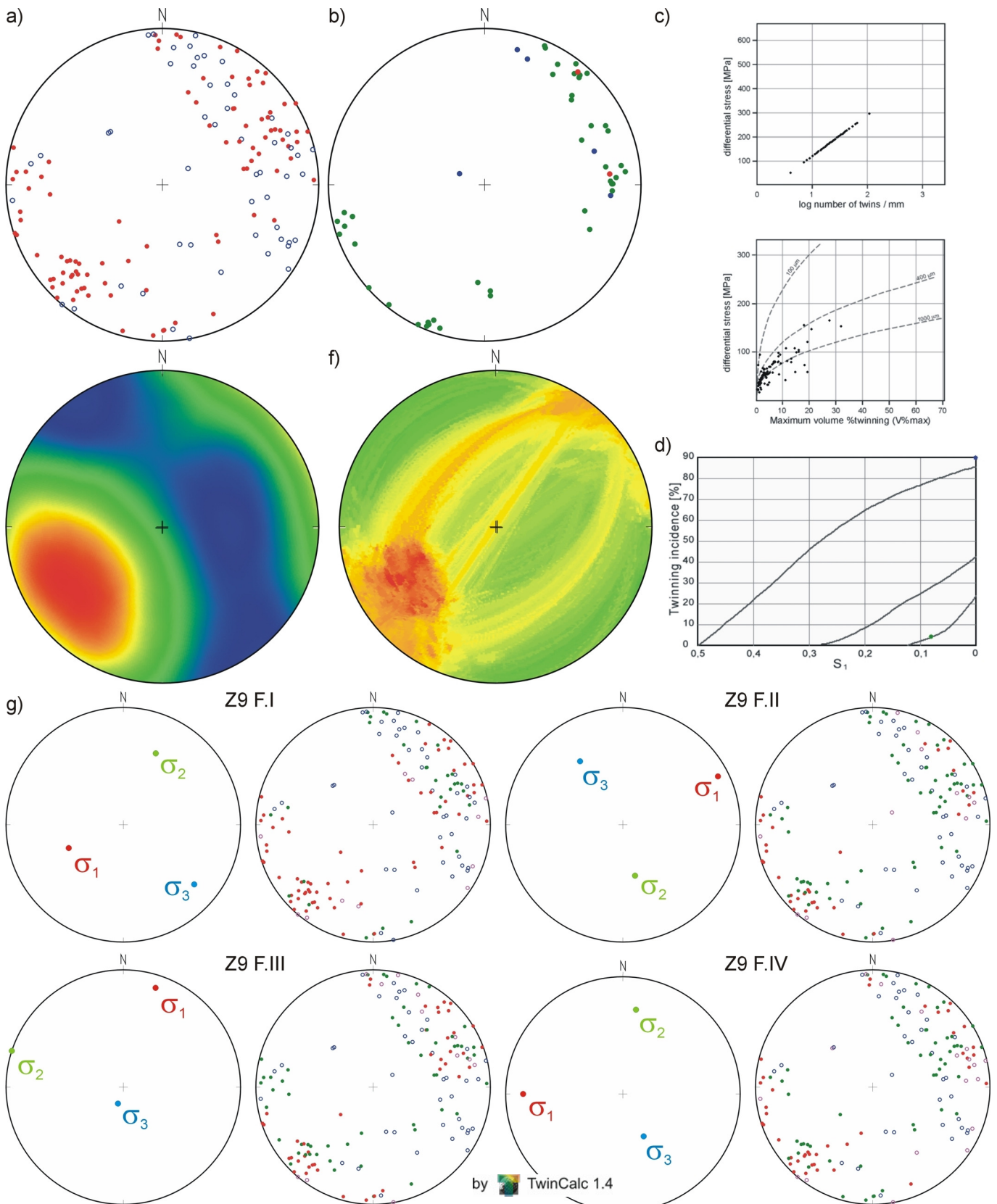
Obr. 5.17: Výsledky napjatostní analýzy vzorku **OVI**. a) bodový diagram pólů dvojčatných ploch; b) bodový diagram os c ; c) grafy závislosti hustoty dvojčatných lamel a celkové deformace na diferenciálním napětí (Rowe & Rutter 1990); d) graf závislosti procentuálního zastoupení zdvojitých zrn s jedním, dvěma a třemi systémy na diferenciálním napětí ($\Delta\sigma = \tau_c/S_1$; $\tau_c \approx 10$ MPa; Jamison & Spang 1976); e) výstup modifikované metody klínů (Rez & Melichar 2010); f) diagram distribuce penalizační funkce f_R ; g) identifikované napjatostní fáze: směry hlavních normálových napětí a bodové diagramy pólů dvojčatných ploch. Legenda viz obr. 5.16.



Obr. 5.18: Výsledky napjatostní analýzy vzorku **OV8**. a) bodový diagram pólů dvojčatných ploch; b) bodový diagram os c ; c) grafy závislosti hustoty dvojčatných lamel a celkové deformace na diferenciálním napětí (Rowe & Rutter 1990); d) graf závislosti procentuálního zastoupení zdvojitých zrn s jedním, dvěma a třemi systémy na diferenciálním napětí ($\Delta\sigma = \tau_c / S_1$; $\tau_c \approx 10$ MPa; Jamison & Spang 1976); e) výstup modifikované metody klínů (Rez & Melichar 2010); f) diagram distribuce penalizační funkce f_R ; g) identifikované napjatostní fáze: směry hlavních normálových napětí a bodové diagramy pólů dvojčatných ploch. Legenda viz obr. 5.16.



Obr. 5.19: Výsledky napjatostní analýzy vzorku **Z4**. a) bodový diagram pólů dvojčatných ploch; b) bodový diagram os c ; c) grafy závislosti hustoty dvojčatných lamel a celkové deformace na diferenciálním napětí (Rowe & Rutter 1990); d) graf závislosti procentuálního zastoupení zdvojitých zrn s jedním, dvěma a třemi systémy na diferenciálním napětí ($\Delta\sigma = \tau_c S_1$; $\tau_c \approx 10$ MPa; Jamison & Spang 1976); e) výstup modifikované metody klínů (Rez & Melichar 2010); f) diagram distribuce penalizační funkce f_R ; g) identifikované napjatostní fáze: směry hlavních normálových napětí a bodové diagramy pólů dvojčatných ploch. Legenda viz obr. 5.16.



Obr. 5.20: Výsledky napjatostní analýzy vzorku **Z9**. a) bodový diagram pólů dvojčatných ploch; b) bodový diagram os c ; c) grafy závislosti hustoty dvojčatných lamel a celkové deformace na diferenciálním napětí (Rowe & Rutter 1990); d) graf závislosti procentuálního zastoupení zdvočtatělých zrn s jedním, dvěma a třemi systémy na diferenciálním napětí ($\Delta\sigma = \tau_c / S_1$; $\tau_c \approx 10$ MPa; Jamison & Spang 1976); e) výstup modifikované metody klínů (Rez & Melichar 2010); f) diagram distribuce penalizační funkce f_R ; g) identifikované napjatostní fáze: směry hlavních normálových napětí a bodové diagramy pólů dvojčatných ploch. Legenda viz obr. 5.16.

6. Diskuse

6.1. Diskuse Dvořákovy koncepce

Tato diskuse probíhá již od konce osmdesátých let (Dvořák 1993, Hladil & Kalvoda 1993, Hladil et al. 1991). V následujících odstavcích se zaměříme na dva její hlavní aspekty: 1) vrásovou stavbu a 2) zlomovou stavbu, coby řídicí prvek faciální variability.

Jak již bylo napsáno v kapitole 2, Dvořák považoval ssv.-vergentní převážně ležaté vrásy za projevy synsedimentárního gravitačního hnutí nezpevněných sedimentů po ukloněných svazích jednotlivých ker v důsledku vyklenování horákovského hřbetu (např. Dvořák et al. 1987). Již Štelcl (1957) však doložil, že přednostní orientace kalcitu v ramenech vrás vznikla před vrásněním. Litifikace sedimentu musela tedy proběhnout před vrásněním. Ostatně sám Dvořák s touto informací zpočátku pracoval (Dvořák & Pták 1963). Navíc mají vrstvy konstantní pravou mocnost sledovatelnou na velkou vzdálenost, a to i když jsou intenzivně zvrásněny (obr. 5.3f, 5.4d). Vrásy spadají do kategorie 1B, vznikající ohybem se skluzem (Ramsay & Huber 1989). Pokud by byly tyto sedimenty vrásněny ještě nezpevněné gravitačními pohyby, výsledná vrásová stavba by byla celkově nesrovnatelně méně homogenní. Docházelo by u nich ke ztenčení až přetržení ramen, pravděpodobně by spíše spadaly do kategorie 2 až 3.

Zlomová stavba byla podle Dvořáka zásadním faktorem ovlivňujícím faciální vývoj oblasti (Dvořák 1967, Dvořák et al. 1987, Dvořák et al. 1984). Celá jižní část Moravského krasu byla předpaleozoicky založenými zlomy rozdělena na menší kry. Relativní vertikální pozice jednotlivých ker ovlivňovala sedimentaci vápenců. Nejdetailněji propracoval Dvořák tento model v lomech Mokrá. Oblast lomů rozdělil do šesti dílčích ker. Relativní vertikální pozice jednotlivých ker měnící se v čase (obr. 2.6) způsobila nejen faciální rozdíly mezi jednotlivými krami, ale i střídání mělkovodnější a hlubkovodnější sedimentace v rámci jednotlivých ker (Dvořák et al. 1987). Oblast lomů Mokrá byla v čase se měnícím systémem zátok

a poloostrovů (např. obr. 6.1). Některá fakta však hovoří proti tomuto modelu. (1) v rámci některých ker, které Dvořák vymezil (např. kra D, Dvořák et al. 1987), se nad sebou opakují celé sekvence stáří famen až tournai vyvinuté v rozdílných faciích (obr. 4.4b). Dvořákov model by šlo použít pouze pokud by tyto nad sebou ležící facie nebyly stejně staré. Superpozici stejně starých facií lze vysvětlit pouze tektonickým sblížením (2) zdá se jen těžko představitelné, že by v rámci ker o rozměrech zhruba 300x500 m mohlo docházet k tak velkým faciálním změnám (mělkovodní křtinské vápence svrchní části svahu vs. hádko-říčské vápence, kalciturbidity uložené při bázi svahu pánve). Mnohem pravděpodobnější je, že horniny sedimentovaly na různých místech a byly tektonicky sblíženy. (3) okrajové zlomy jednotlivých Dvořákových ker lze v terénu pozorovat (obr. 5.8), avšak tyto zlomy jednoznačně sečou vrásovou i násunovou stavbu (obr. 5.12) a jsou proto mladší. Pro jejich předdevonské stáří nejsou důkazy.

6.2. Diskuse pozorované stavby

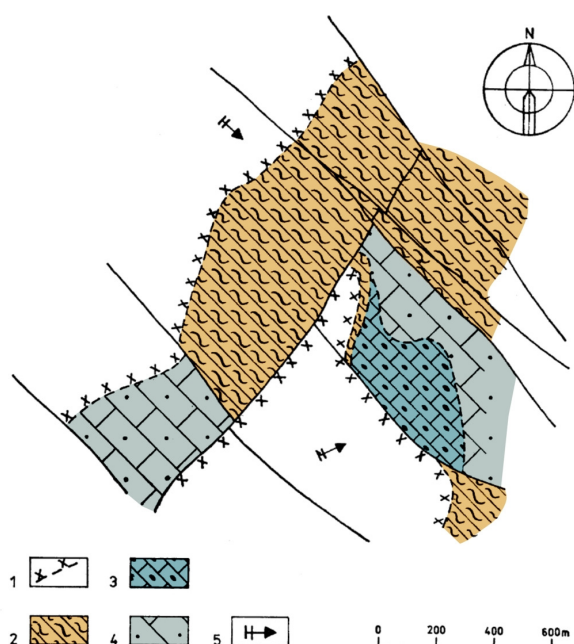
Profily popsané v kapitole 4.2, 4.3 a 4.4, které byly přiřazeny hostěnickému a horákovskému vývoji, umožnily rekonstruovat průběh násunů v mapě (obr. 2.1, obr. 6.2).

Násunová zóna zachycená lomy Mokrá, zvrásněná do hostěnické antiformy, velmi pravděpodobně pokračuje na západ do prostoru Kanického kopce, kde je zvrásněna v mokerskou synformu a odděluje vilémovické vápence 2. cyklu nasunutě na vilémovické vápence 3. cyklu. Rameno této megavrásy je porušeno zlomovým pásmem sz.-jv. směru, které se táhne od Bělkova mlýna k severnímu okraji Mokré (obr.6.2).

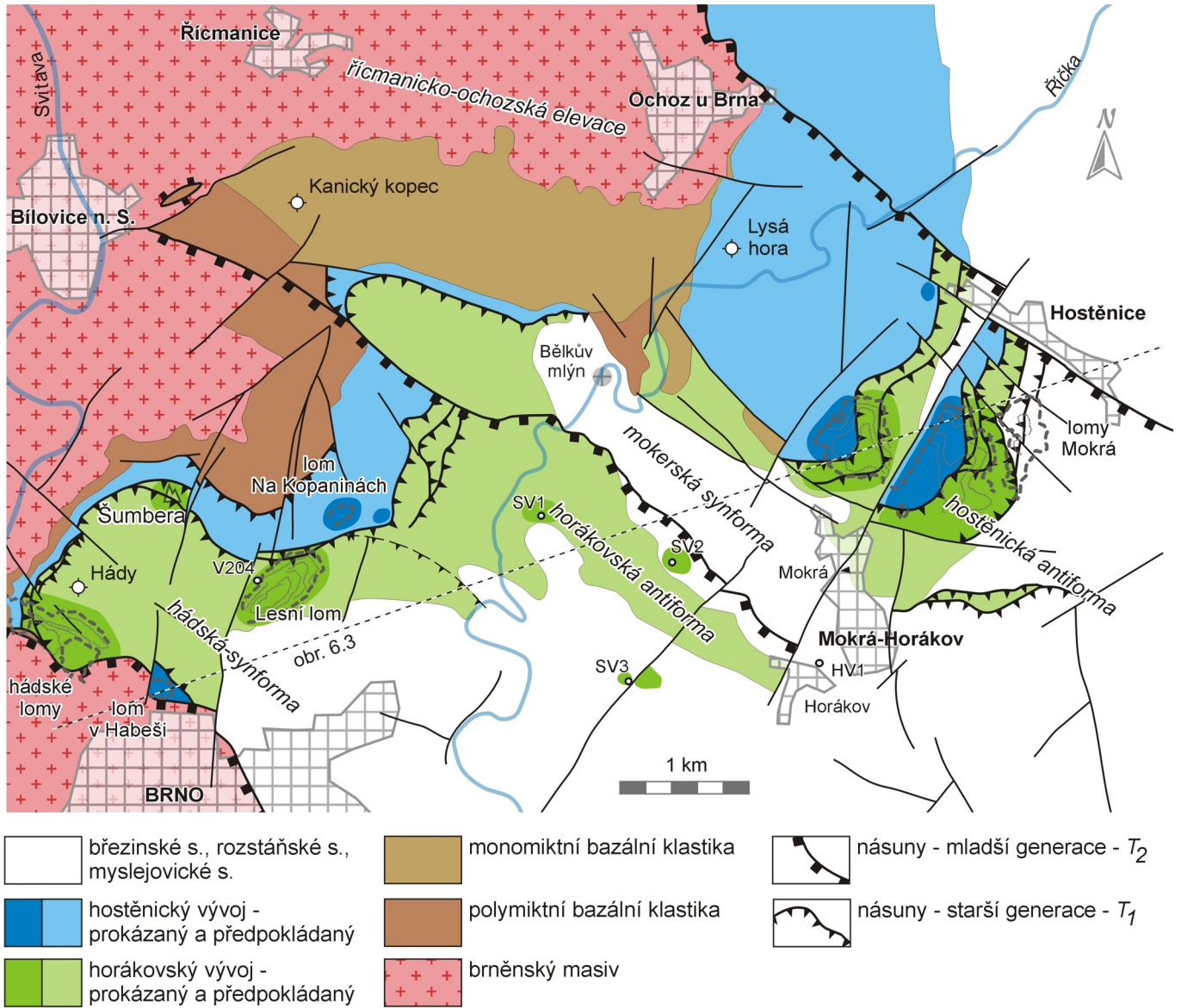
Obdobná násunová zóna jako v lomech Mokrá byla zachycena vrtem SV1 v horákovské antiformě. Na povrch vychází západně od ústí vrtu (mapa se zde nápadně podobá lomům Mokrá, obr.1.2). Násunová zóna se projevuje zdvojením a zvýšenou mocností křtinských vápenců (stejně duplikované křtinské vápence jsou odkryty ve středním lomu Mokrá). Odtud lze tento násun sledovat na JZ do oblasti mezi Lesním lomem a lomem Na Kopaninách. Dále je již složitější násun sledovat, protože stejně jako v lomech Mokrá vytváří násunová plocha mírně ukloněnou rampu, takže na JZ od Lesního lomu je hlavní odlepení ve vilémovických vápencích. Násun se pravděpodobně stáčí k západu pod Šumberu, která je vyvinuta v allochtonním horákovském vývoji. Od Šumbery se násun stáčí k jihu do oblasti hádké synformy podél západního úbočí Hádů do lomu V Džungli. Tento násun vychází na povrch v podloží přesunutého brněnského masivu severně od lomu V Habeši.

Litofaciální rozdíly horákovského a hostěnického vývoje naznačují nasouvání na vzdálenost větší než 5 km (Kalvoda 1989). Jedná se tedy v podstatě o příkrovy.

Násuny oddělující horákovský a hostěnický vývoj jsou zvrásněny generací vrás F_1 (sledují hlavní vrásovou stavbu – mají v mapě esovitý průběh) a je poměrně složité je sledovat. Tyto násuny náležejí generaci T_1 . Kromě nich však existují převážně nezvrásněné (postižené pouze mladší generací vrás F_2), v mapě víceméně přímé, sz.-jv. orientované násuny, které postihují nejen vápence, ale i kulm a brněnský masiv (obr. 1.2, obr. 6.2). Jedná se o násun brněnského masivu na Hádech a násun odkrytý v údolí Říčky jižně od Bělkova mlýna, který ohraničuje horákovskou antiformu ze severu. Tyto násuny generace T_2 , sečou násuny T_1 a jsou proto mladší. Tomu také napovídá fakt, že nejsou zvrásněny vrásami F_1 . Avšak i když nejsou zvrásněny vrásami F_1 , jsou paralelní s jejich osami (a tím pádem i s hlavními vrásovými strukturami, obr. 5.2, obr.



Obr. 6.1: Faciální schéma lišeňského souvrství ve středním tournai (Dvořák et al. 1987). 1-pobřežní linie; 2-hlíznaté vápence; 3-černé vápence s rohovci; 4-tmavě šedé organo-detritické vápence; 5-směr regrese.



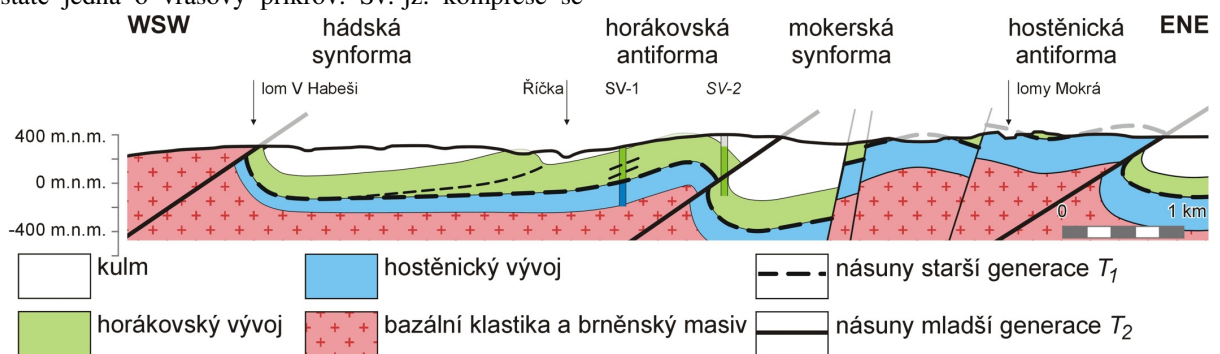
Obr. 6.2: Schématická mapa facií a násunové tektoniky v jižní části Moravského krasu (podle vlastních výzkumů a dat z Dvořák 1989, Hladil 1987a, Hladil et al. 1991, Kalvoda 1997, Rutová 2009)

6.2). Navíc nadložní kra má vždy antifornní a podložní kra synformní geometrii. Z těchto pozorování se dá dedukovat, že starší násuny generace T_1 byly porušeny násuny mladší generace T_2 a zvrásněny (vlečné vrásy? vrásy zlomového zalomení?; obr. 6.3). Toto vrásnění koaxiální s vrásami F_1 , avšak mnohem většího měřítka, si označme jako F_1' .

Vztah násunů T_1 a vrás F_1 lze nejlépe pochopit v lomech Mokrý. Násuny T_1 sečou vrásy F_1 , ale zároveň jsou samy, často detailně, zvrásněny (obr. 5.9, 5.10e a 5.10f). Antiklinální charakter celého allochtonního tělesa interpretovaného v lomech Mokrý napovídá tomu, že se v podstatě jedná o vrásový příkrov. Sv.-jz. komprese se

nejdříve akomodovala vrásněním, vznikly ležaté vrásy, jejichž překocaná ramena byla v důsledku pokračující komprese přetržena, a vznikly násuny. Při lokálním „zamčení“ násunu docházelo ke zvrásnění násunů (obr. 5.10e, f).

Stručný deformační scénář by mohl být následující: 1) fáze D_1 (F_1+T_1), která proběhla během nasouvání hlavních kulmských příkrovů; 2) fáze D_2 (T_2+F_1'), která byla projevem pravostranných horizontálních pohybů podél moravské střížné zóny; 3) vrásy generace F_2 ; 4) mladší zlomová tektonika (Z_1 a Z_2).



Obr. 6.3: Ideový geologický řez jižní částí Moravského krasu. Lokalizace viz obr. 6.2.

Výše popsaná konfigurace dvou generací násunů byla popsána na sever od Moravského krasu v němčicko-vratíkovském pruhu (obr. 6.4; Buriánek & Melichar 1997, Melichar & Kalvoda 1997), kde jsou na horniny ludmírovského vývoje (bazální klastika, stínavsko-chabičovské souvrství, ekvivalenty macošského souvrství a ponikevské břidlice) nasunuty kulmské sledy protivanovského souvrství. Tento převážně severojižní násun sečou mladší sv.-jz. orientované násuny (obr. 6.4), projevující se porušením jinak souvislého němčicko-vratíkovského pruhu a mylonitovými zónami v granitoidech brněnského masivu, které starší násunovou stavbu zvrásnily v ssv.-jjz. vrásy mírně se uklánějící k severu (blokdiagramy a konturový diagram na obr. 6.4). V němčicko-vratíkovském pruhu postihly obě generace násunů horniny brněnského masivu. Nasunutí brněnského masivu na horniny paleozoika je popsáno na dvou místech: ve vrtu V 1 u Melkova, který navrtal v podloží brněnského masivu kulmské horniny (Vocilka 1971) a v údolí potoka jižně od Vratíkova (vyznačeno písmenem K na obr. 6.4), kde Kettner (Kettner & Prantl 1942) popsal nasunutí brněnského masivu na bazální klastika devonu (dnes je bohužel lokalita zaniklá). Oba tyto výskyty náležejí mladší generaci násunů T_2 . Buriánek a Melichar zdokumentovali tenkou šupinu vápence tektonicky zapracovanou do brněnského masivu západně od Valchova (Buriánek & Melichar 1997, Melichar et al. 1999). Tato šupina se nachází v těsném podloží jednoho z násunů mladší generace a je zvrásněná (detail na obr. 6.4). Podobnou strukturu popsali Rez a Melichar (2002) východně od Adamova. Zde byla tektonicky zavlečena šupina bazálních klastik a vápenců do hornin brněnského masivu a během mladší fáze deformace zvrásněna. Tato šupina leží pravděpodobně v těsném nadloží jednoho násunu mladší generace. Obě tyto šupiny byly do brněnského masivu zapracovány během starší fáze násunů T_1 , leží v těsné blízkosti násunu mladší generace T_2 a jsou zvrásněny.

Ukazuje se, že celý východní okraj brněnského masivu má podobný stavební plán. Pouze v severní a hlavně střední části Moravského krasu nebyl zatím zcela potvrzen, a to hlavně z důvodů absence kontrastních facií, které pomohly odhalit stavbu jak němčicko-vratíkovského pruhu, tak i jižní části Moravského krasu.

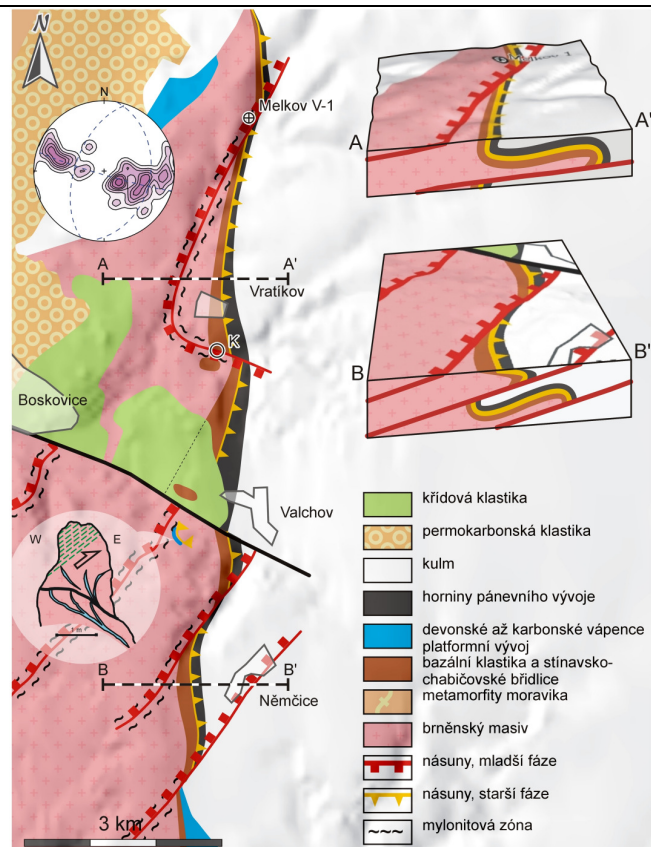
6.3. Diskuse napjatostní analýzy

Výsledkem napjatostní analýzy zlomů z lomů jsou tři napjatostní fáze (obr. 5.13). Jediná napjatostní fáze rozeznaná v Lesním lomu je kompatibilní s fází F.II z lomů Mokrý (viz výše). Relativní stáří jednotlivých fází se nepodařilo zjistit. Fáze F.III odpovídá generaci zlomů Z_2 , jednoho ze dvou hlavních zlomových systémů v oblasti.

Pro srovnání s napjatostními fázemi získanými analýzou dvojčatných lamel kalcitu si jednotlivé fáze označme indexem f (fault): $F_f I$, $F_f II$ a $F_f III$.

Napjatostní fáze získané analýzou čtyř výbrusů karbonátových žil z lomů Mokrý (OV1 – 4 fáze, OV8 – 3 fáze, Z4 – 3 fáze a Z9 – 4 fáze) lze rozdělit do čtyř skupin – napjatostních fází (obr. 6.5). Hlavním kritériem byl vzájemný úhel 9D-vektorů tenzorů napjatosti (tab. 6.1). 9D-vektor se z tenzoru 3x3 vyrobí jednoduše seřazením jednotlivých řádků tenzoru do jednoho řádku (Melichar & Kernstocková 2010). Odchytky 9D-vektorů tenzorů napjatosti (každý s každým) jsou v tab. 6.1.

Fáze $F_f I$ slučuje fáze OV1_F.II, OV8_F.II, Z4_F.I a pravděpodobně také OV1_F.I. Jedná se o víceméně oblátní až trojosé tenzory napjatosti se σ_3 uklánějícím se k západu.



Obr. 6.4: Odkrytá geologická mapa severní části brněnského masivu a němčicko-vratíkovského pruhu (upraveno podle Buday 1996, Melichar & Kalvoda 1997). V konturovém diagramu jsou zpracovány vrstevnatosti, v bílém kruhu je zobrazen výchoz u Valchova (Melichar et al. 1999). Písmeno K označuje nasunutí brněnského masivu na horniny paleozoika popsané Kettnerem (Kettner & Prantl 1942).

Fáze $F_f II$ tvoří fáze OV1_F.III a Z9_F.I. Jedná se o fáze se σ_1 orientovaným zhruba ve směru SZ-JV a tvarovými parametry blízkými nule. K nim lze přiřadit i fázi Z9_F.IV, která má sice mírně odlišnou orientaci σ_1 , ale jinak je velmi podobná fázi Z9_F.I.

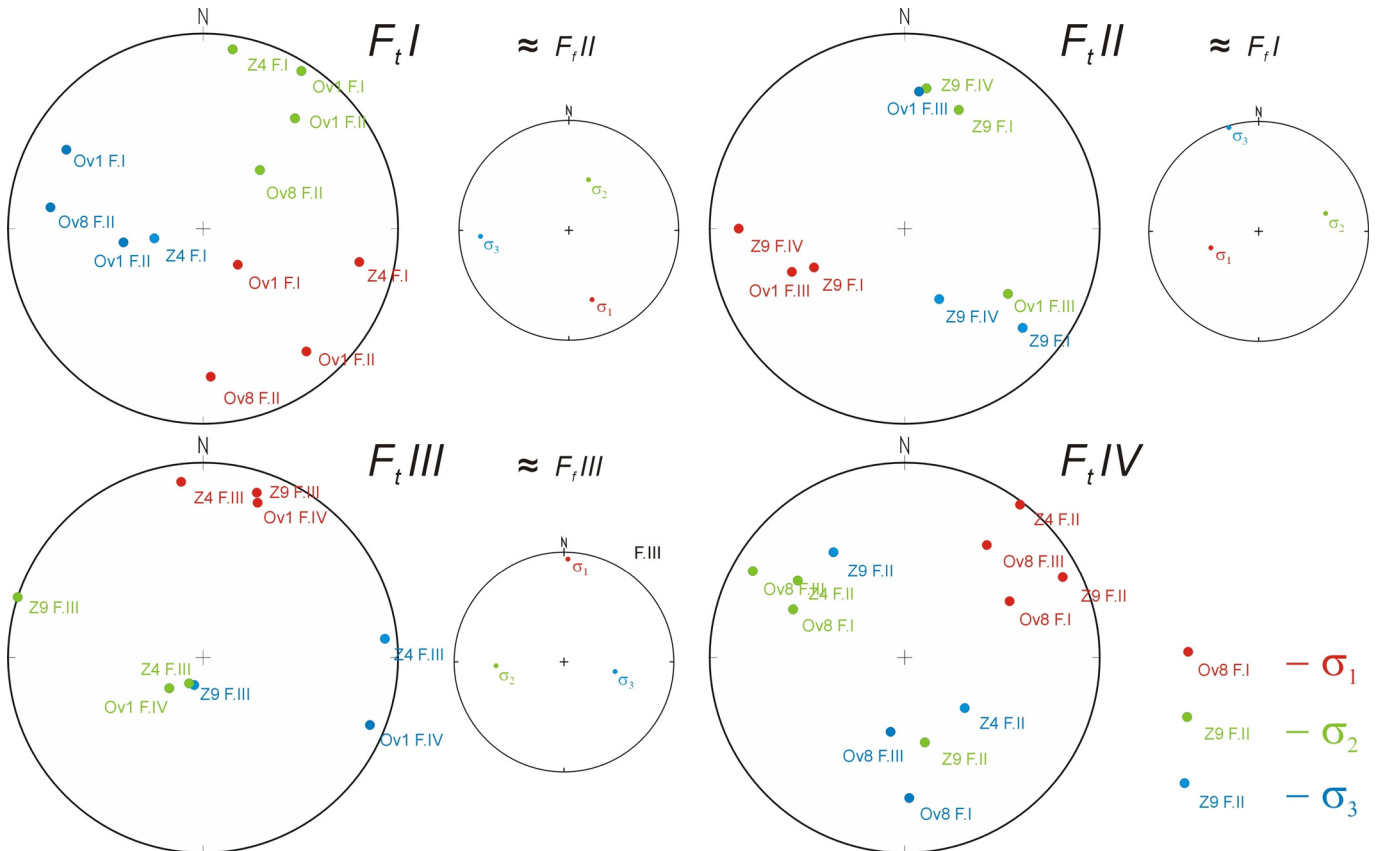
Fáze $F_f III$ zahrnuje fáze OV1_F.IV, Z4_F.III a Z9_F.II, se severojižně orientovaným σ_1 .

A konečně fáze $F_f IV$, která je tvořena fázemi OV8_F.III, Z4_F.II, Z9_F.II a OV8_F.I se SV-JZ orientovaným σ_1 . Fáze $F_f IV$ se podobná fázi $F_f III$, proto by fáze Z4_F.II mohla být přiřazena i fázi $F_f III$.

V poměrně vzácných případech lze ve výbrusech pozorovat křížení dvojčatných lamel, z jejichž asymetrie se dá odhadnout relativní stáří napjatostních fází. Protože však byla deformace polyfázová a některé dvojčatné systémy byly reaktivovány ve více fázích, bývají tato pozorování často protichůdná. Přesto byl učiněn pokus vzájemné stáří fází deformace určit (tab. 6.2). Relativní stáří by mohlo být následující (od nejstarší fáze k nejmladší): $F_f II - F_f III - F_f IV - F_f I$. Nicméně z tabulky 6.2 vyplývá, že důkazy pro toto pořadí fází nejsou jednoznačné, je proto do jisté míry spekulativní a pouze orientační.

	OV1_F.I	OV1_F.II	OV1_F.III	OV1_F.IV	OV8_F.I	OV8_F.II	OV8_F.III	Z4_F.I	Z4_F.II	Z4_F.III	Z9_F.I	Z9_F.II	Z9_F.III	Z9_F.IV
OV1_F.I	0.00	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
OV1_F.II	55.55	0.00	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
OV1_F.III	57.04	69.76	0.00	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
OV1_F.IV	44.73	61.95	60.50	0.00	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
OV8_F.I	52.76	57.62	66.51	55.25	0.00	.	.	.	.	.	.	.	.	.
OV8_F.II	31.49	39.39	66.73	33.23	60.07	0.00	.	.	.	.	.	.	.	.
OV8_F.III	67.14	45.49	67.37	48.89	32.63	56.23	0.00	.	.	.	.	.	.	.
Z4_F.I	60.79	21.64	65.02	56.44	46.24	45.38	29.60	0.00	.	.	.	.	.	.
Z4_F.II	68.24	64.05	63.51	39.40	56.97	53.92	44.31	47.14	0.00	.	.	.	.	.
Z4_F.III	66.82	45.89	79.36	41.04	74.14	38.76	50.59	49.04	56.16	0.00	.	.	.	.
Z9_F.I	61.86	86.41	24.86	53.46	74.44	71.00	74.70	80.92	64.50	78.23	0.00	.	.	.
Z9_F.II	43.40	51.36	44.67	51.35	41.77	8.16	49.56	40.46	41.62	73.30	59.36	0.00	.	.
Z9_F.III	69.74	58.41	83.15	35.56	62.97	45.26	44.41	48.19	28.68	36.01	80.76	60.13	0.00	.
Z9_F.IV	81.46	66.97	38.42	70.39	57.25	81.82	46.76	53.77	58.61	77.47	50.27	53.39	76.69	0.00

Tab. 6.1: Vzájemné úhly svírající 9D-vektory tenzorů jednotlivých napjatostních fází získaných analýzou kalcitových dvojčatných lamel.



Obr. 6.5: Výsledky napjatostní analýzy kalcitových dvojčatných lamel (kapitola 5.5), jejich zařazení do čtyř hlavních fází $F_t I - F_t IV$ a jejich srovnání s výsledky napjatostní analýzy zlomů (kapitola 5.4).

Napjatostní fáze získané analýzou zlomů a kalcitových dvojčat jsou velmi podobné (obr. 6.5): $F_f I \approx F_t II$; $F_f II \approx F_t I$; $F_f III \approx F_t III$ (případně i $F_t IV$), což nejenže zvyšuje věrohodnost identifikovaných fází deformace, ale také potvrzuje možnost použití dvojčatění kalcitu jako metody napjatostní analýzy, i když ani ve světě není tato metoda zcela běžná.

vztah fází	$F_t I > F_t II$	$F_t II > F_t I$	$F_t II > F_t III$	$F_t III > F_t II$
počet pozorování	4x	4x	4x	2x
vztah fází	$F_t I > F_t III$	$F_t III > F_t I$	$F_t II > F_t IV$	$F_t IV > F_t II$
počet pozorování	6x	6x		
vztah fází	$F_t I > F_t IV$	$F_t IV > F_t I$	$F_t III > F_t IV$	$F_t IV > F_t III$
počet pozorování	1x	4x	4x	2x

Tab. 6.2: Počty pozorování relativního stáří jednotlivých napjatostních fází (> znamená starší než).

6.4. Problém křtinských/hlíznatých vápenců

Tato kapitola je poněkud nad rámec této práce a přináší pohled strukturního geologa na problematiku hlíznatých vápenců.

Křtinské vápence definoval Zapletal (1922a). Dnešní definice pochází z roku 1962 (Chlupáč 1962). Křtinské vápence jsou: „Šedé, červenavé nebo zelenavé, převážně mikritické, zřetelně vrstevnaté hlíznaté vápence s kolísavým podílem pelitického materiálu koncentrovaného v laminách nebo vložkách. Faunistické nálezy dokládají stáří od svrchního frasnú přes famen do tournaie...“ (Zukalová & Chlupáč 1982).

Hlíznatá textura vápenců může vznikat několika způsoby (např. Flügel 2004): 1) sedimentárními procesy (biogenní či chemogenní lokální cementace v sedimentu, nebo mechanické sklouzávání „kapek“ sedimentu po svahu); 2) při diagenézi (díky rozdlům v tlakovém rozpouštění mezi polohami bohatšími a chudšími na nekarbonátové částice); 3) při deformaci (v kombinaci s tlakovým rozpouštěním).

V jižní části Moravského krasu jsou hlíznaté vápence nacházeny ve všech stratigrafických úrovních. Nejčastěji je zdůrazňován sedimentární (redepozice hlíz; např. Dvořák 1989, Hladil 1987a) a diagenetický původ hlíznatých vápenců (např. Dvořák 1972). Nelze si však nevšimnout, že hlíznaté vápence se velmi často vyskytují v blízkosti deformačních zón. Hlíznatá textura může vzniknout v podstatě z jakéhokoliv protolitu (i ve vilémovických a lažáneckých vápencích, obr. 6.7), jako projev tlakového rozpouštění a deformace. Tím pádem může být zavádějící používat hlíznatost křtinských vápenců jako hlavního znaku k jejich rozlišení.

Sám Dvořák má na mnoha místech svého terénního denníku u popisu křtinských vápenců uvedenu poznámku, že „...hlízy jsou reorientované podle ploch kliváže...“. Hlíznatá textura velmi často vzniká v důsledku přednostního tlakového rozpouštění na plochách kliváže a vrstevních plochách (obr. 6.6a, 6.6b) v deformačních zónách. Nerozpustný zbytek pak vytváří dojem jílovité matrix., ve které hlízy „plavou“. Čím více je ve vápencích siliciklastického materiálu, tím více této „matrix“ vzniká. Jak již bylo uvedeno v kapitole 5.3, mylonitové násunové zlomy mají často charakter „černé břidlice“, ve které „plavou valouny“ vápenců. Jsou to nerozpuštěné zbytky vápenců (někdy je dokonce patrný původní průběh vrstev, obr. 6.7d).

Hlíznatá textura může vzniknout i ve vilémovických vápencích a to jako důsledek silné deformace a mezivrstevního prokluzu (obr. 6.7a, 6.7b a 6.7c). Štola v údolí Křtinského potoka u restaurace Švýcárna zachytila tektonický kontakt lažáneckých vápenců a brněnského masivu. V této štole lze sledovat postupný nárůst deformace směrem k tomuto kontaktu. Nejprve se deformují jednotlivé vrstvy, dochází ke vzniku kliváže, tlakovému rozpouštění a vzniku hlíznaté textury (obr. 6.7e). Postupně deformace postihuje celý objem horniny. Další nárůst deformace se projevuje vznikem foliace (obr. 6.7f). Podobný trend je pozorovatelný i v „lomu na mramor“ západně od Jedovnic, který odkryl deformační zónu spojenou s násunem vápenců na kulk, pokračování násunu zachyceného na lokalitě „U zrcadla“ v Ostrově u Macochy (Dvořák 1997a). Směrem na JV narůstá deformace (přibývá kliváž obr. 6.7g). Oproti štole u restaurace Švýcárna, kde mají nejvíce deformované partie planární stavbu se silně vyvinutou foliáci, mají nejvíce deformované vápence stavbu víceméně lineární (v řezu kolmo na delší osy „hlíz“ je hornina protkána sítí



Obr. 6.6: Hlíznatá textura vzniká při deformaci přednostním tlakovým rozpouštěním na plochách kliváže a vrstevních plochách a) ve středním lomu Mokrý, b) v „městském lomu“ na Hádech (oba příklady jsou padlé balvany).

stylolitů bez přednostního uspořádání; obr. 6.7h). V obou těchto případech byly deformovány velmi čisté vápence a proto „jílovitá matrix“ skoro úplně chybí.

Není cílem této kapitoly tvrdit, že hlíznatá textura vzniká pouze deformací, cílem této kapitoly je upozornit na to, že hlíznaté vápence se vyskytují v celém sedimentárním sledu, velmi často poblíž důležitých tektonických linií a často nesou jasné znaky deformace jednoduchým stříhem a tlakového rozpouštění.



Obr. 6.7: Příklady hlíznatých vápenců. a) střižná zóna ve vilémovických vápencích, západní lom Mokrá, etáž 385; b) střižná zóna ve vilémovických vápencích, západní lom Mokrá, etáž 375; c) střižná zóna ve vilémovických vápencích, viz obr.5.10a. d) střižná zóna ve východním lomu Mokrá, tektonické „valouny“ plavou v jílovité „matrix“; e) hlíznatá textura v lažáneckých vápencích ve štole v údolí křtinského potoka za restaurací Švýcárna; f) foliace v lažáneckých vápencích tamtéž co e); g) počáteční fáze vzniku hlíznaté textury, brekciovité vápence v „lomu na mramor“ u Jedovnic; h) hlíznaté vápence v „lomu na mramor“ u Jedovnic (pohledy ze dvou stran, poloha kladiva nezměněna);

7. Závěry

- V jižní části Moravského krasu existují dva různé vývoje sedimentace devonu až spodního karbonu: **mělkovodní hostěnický vývoj**, typický velmi kondenzovanou sedimentací hlavně mikritických a mikrobrekciovitých vápenců, a **hlubokovodnější horákovský vývoj**, typický sedimentací mocných sledů kalciturbiditů – biodetritických vápenců.
- Tyto dva vývoje byly tektonicky sblíženy na velkou vzdálenost, pravděpodobně na více jak 5 km (Kalvoda 1989), což indikuje jejich značná litologická a faciální odlišnost.
- Byly rozlišeny dvě generace vrás. Starší vrásy F_1 mají osy ukloněny k JV, jsou často ležaté a mají sv. vergenci. Mladší vrásy F_2 jsou na starší zhruba kolmé, jsou přímé a symetrické.
- Byly identifikovány **dvě generace násunů**. Podél starší generace násunů T_1 došlo k nasunutí horákovského vývoje na hostěnický. Jedná se o násunovou zónu s velmi komplikovanou šupinovitou vnitřní stavbou. Tato zóna dosahuje mocnosti až 100 m a byla zachycena lomy Mokrá a vrty (např. SV1). Jednotlivé šupiny oddělují násunové zlomy, které se projevují jako černě zbarvené mylonitové zóny (připomínají černé břidlice). Rýhování na násunových

plochách a asymetrické struktury v těchto mylonitech potvrzují směr sunutí k SV. Násuny T_1 jsou úzce spjaty se starší generací vrás F_1 . Sečou tyto vrásy, ale zároveň jsou jimi zvrásněny. Násuny vznikly pravděpodobně jako vrásové příkrovy. Mladší násuny T_2 sečou násuny T_1 a způsobily jejich další zvrásnění koaxiální s F_1 (hostěnická a horákovská antiforma a mokerská a hádská synforma, obr. 1.2). Jedná se o násun brněnského masivu na Hádech a násun ohraničující horákovskou antiformu na severu.

- Násuny T_1 lze časově přiřadit hlavní fázi nasouvání kulmských příkrovů na konci visé. Mladší násuny T_2 lze přiřadit k pohybům podél moravské střížné zóny ve westphalu.
- Takto vzniklá vrásovo-násunová stavba byla později mírně zvrásněna vrásami F_2 .
- Mladší křehkou tektoniku reprezentují dvě hlavní generace zlomů Z_1 a Z_2 . Zlomy Z_2 jsou ssv.-jjz. poklesy až horizontální posuny uklánějící se k JV a Z_1 povětšinou zsz.-vzv. horizontální posuny až poklesy uklánějící se k SV.
- Napjatostní analýza zlomů identifikovala tři napjatostní fáze, které jsou kompatibilní se třemi ze čtyř napjatostních fází získaných napjatostní analýzou založenou na mechanickém dvojčatění kalcitu. Bohužel se nepodařilo zjistit relativní stáří zjištěných napjatostních fází.

8. Literatura

- Bábek, O. & Otava, J. 2006. Biostratigrafické doklady pro tence šupinovitou stavbu hranického paleozoika, moravskoslezská zóna. *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 2005*, 60-61.
- Bábek, O., Tomek, Č., Melichar, R., Kalvoda, J. & Otava, J. 2006. Structure of unmetamorphosed Variscan tectonic units of the southern Moravo-Silesian zone, Bohemian Massif: a review. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen* **239**(1), 37-75.
- Buday, T. 1996. Geologická mapa ČR 1:200 000, list Brno.
- Buriánek, D. & Melichar, R. 1997. Devonské vápence zvrásněné s granodiority brněnského masívu v okolí Valchova. *Sborník II. semináře České tektonické skupiny*, 50-51.
- Burkhard, M. 1993. Calcite twins, their geometry, appearance and significance as stress-strain markers and indicators of tectonic regime: a review. *Journal of Structural Geology* **15**, 351-368.
- Čížek, P. & Tomek, Č. 1991. Large scale thin-skinned tectonics in the eastern boundary of the Bohemian Massif. *Tectonics* **10**, 273-286.
- Dvořák, J. 1957. Nové poznatky o geologii devonu severní části Moravského krasu. *Věstník Ústředního ústavu geologického* **32**, 353-356.
- Dvořák, J. 1958. Předběžná zpráva o nálezu valounů spodnokarbonských vápenců ve spodnokarbonských slepencích Drahanské vysočiny u Brna. *Věstník Ústředního ústavu geologického* **33**, 384-385.
- Dvořák, J. 1963. Paleogeografický vývoj a formační analýza paleozoika jižní části Drahanské vysočiny. In: *XIV. sjezd Společnosti pro mineralogii a geologii*, 43-55.
- Dvořák, J. 1967. Vývoj synsedimentárních struktur v jižní části Moravského krasu. *Časopis pro mineralogii a geologii* **12**(3), 237-246.
- Dvořák, J. 1972. Shallow-water character of nodular limestones and their paleogeographic interpretation. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte* **1972**, 509-511.
- Dvořák, J. 1973. Synsedimentary tectonics of the Palaeozoic of the Drahany Upland (Sudeticum, Moravia, Czechoslovakia). *Tectonophysics* **17**, 359-391.
- Dvořák, J. 1989. Geologie souvrství líšeňského a jeho nadloží v jižní části Moravského krasu (vyhodnocení tří strukturních vrstev Horákov). *Archiv ČGS*.
- Dvořák, J. 1993. Diskuse k práci Hladil, J., Krejčí, Z., Kalvoda, J., Ginter, M., Galle, A. & Berousek, P. 1991. Carbonate ramp environment of Kellwasser time-interval, Lesní lom, Moravia, Czechoslovakia. *Bulletin de la Societe geologique de Belgique*, 100, 57-119. *Věstník Českého geologického ústavu* **68**(3), 42-44.
- Dvořák, J. 1997a. Geologie paleozoika v okolí Ostrova u Macochy (Moravský kras, Morava). *Journal of Czech Geological Society* **42**, 105-110.
- Dvořák, J. 1997b. Základní geologická mapa ČR 24-413 Mokrý-Horákov. Česká geologická služba.
- Dvořák, J., Friáková, O., Hladil, J., Kalvoda, J. & Kukul, Z. 1987. Geology of the Palaeozoic rocks in the vicinity of the Mokrý Cement Factory quarries, Moravian Karst. *Sborník geologických věd, Geologie* **42**, 41-88.
- Dvořák, J., Friáková, O., Mitrenga, P. & Rejl, L. 1984. Vliv stavby východní části brněnského masívu na vývoj nadložních sedimentárních formací. *Věstník Ústředního ústavu geologického* **59**(1), 21-28.
- Dvořák, J. & Pták, J. 1963. Geologický vývoj a tektonika devonu a spodního karbonu moravského krasu. *Sborník geologických věd, Geologie* **12**, 237-246.
- Dvořák, L. 2005. Konodontová fauna famenu z profilu na Hádech u Brna. MS, Bakalářská práce, Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity.
- Dvořák, V., Kalvoda, J. & Melichar, R. 2005. Variské deformace ve vybraných vrtech v paleozoiku u hranic. *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 2004*, 52-54.
- Fediuk, F. 1961. *Fjodorova mikroskopická metoda*. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha.
- Ferrill, D. A. 1998. Critical re-evaluation of differential stress estimates from calcite twins in coarse-grained limestone. *Tectonophysics* **285**, 77-86.
- Ferrill, D. A., Morris, A. P., Evans, M. A., Burkhard, M., Groshong, R. H. & Onasch, C. M. 2004. Calcite twin morphology: a low-temperature deformation geothermometer. *Journal of Structural Geology* **26**, 1521-1529.
- Flügel, E. 2004. *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application*. Springer.
- Franců, E., Franců, J., Kalvoda, J., Poelchau, H. S. & Otava, J. 2002. Burial and uplift history of the Palaeozoic Flysch in the Variscan foreland basin (SE Bohemian Massif, Czech Republic). In: *Continental collision and the tectono-sedimentary evolution of forelands* (edited by Bertotti, G., Schulmann, K. & Cloetingh, S.) **1**. European Geoscience Union, 167-179.
- Hanžl, P. & Melichar, R. 1995. Variské poruchové zóny brněnského masívu. In: *Poruchové zóny v zemské kůře a jejich projevy na povrchu*. ČGÚ Praha, Praha, 93-100.
- Hladil, J. 1983. Cyklická sedimentace v devonských karbonátech macošského souvrství. *Zemní plyn a nafta* **28**, 1-15.
- Hladil, J. 1987a. Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSSR 24-413 Mokrý-Horákov. Česká geologická služba.
- Hladil, J. 1987b. Základní geologická mapa ČSSR 24-413 Mokrý-Horákov. Česká geologická služba.
- Hladil, J. 1991a. Násunové struktury jižního uzávěru Moravského krasu, 24-413 Mokrý-Horákov. *Zprávy o geologických výzkumech v roce 1989*, 80-81.
- Hladil, J. 1991b. Nové a kontroverzní jevy vyplývající z faciálních map paleozoického karbonátového komplexu na Moravě. *Zprávy o geologických výzkumech v roce 1989*, 78-80.
- Hladil, J. 1994. Moravian Middle and Late Devonian buildups - evolution in time and space with respect to Laurussian shelf. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg* **172**, 111-125.
- Hladil, J. 1995. Argumenty pro pravostrannou rotaci bloků ve variscidech Moravy - analýza faciálních disjunkcí. *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 1994*, 44-48.
- Hladil, J. 1998. Nástin variské tektonické rotace na Moravě při hlubokém porušení kůry. *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 1997*, 46-49.
- Hladil, J. & Kalvoda, J. 1993. Odpověď na recenzi Jaroslava Dvořáka (Carbonate ramp environment of Kellwasser time interval). *Věstník Českého geologického ústavu* **68**(3), 44-45.
- Hladil, J., Krejčí, Z., Kalvoda, J., Ginter, M., Galle, A. & Berousek, P. 1991. Carbonate ramp environment of Kellwasser time-interval, Lesní lom, Moravia, Czechoslovakia. *Bulletin de la Societe geologique de Belgique* **100**, 57-119.
- Hladil, J. & Melichar, R. 1999. Two explanations of curvature in variscan orogen of Moravia - terrane segmentation with clockwise rotation vs. strong effect of the Moravian Shear Zone. In: *Old Crust New Problems, Terra Nostra* (edited by Dietrich, P. G., Franke, W., Merkel, B. & Herzig, P.) **99**, 106-107.
- Hladil, J., Melichar, R., Otava, J., Galle, A., Krs, M., Man, O., Pruner, P., Cejchman, P. & Orel, P. 1999a. The Devonian in the easternmost Variscides, Moravia: a holistic analysis directed towards comprehension of the original context. In: *North Gondwana Mid-Palaeozoic Terranes, Stratigraphy and Biota, Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt* (edited by Feist, R., Talent, J. A. & Daurer, A.) **54**, 27-47.
- Hladil, J., Pruner, P. & Krs, M. 1999b. Diagenesis, magnetic overprint and tectonics near Mokrý, E of Brno. *Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment* **4**, 24-28.
- Chadima, M. & Melichar, R. 1998. Tektonika paleozoika střední části Drahanské vrchoviny. *Přírodovědné studie Muzea Prostějovska* **1**, 39-46.
- Chlupáč, I. 1962. Zur Biostratigraphie und Faziesentwicklung der Devo/Karbon-Grentzschichten im Mährischen Karst. *Geologie* **11**(9), 1001-1017.

- Chlupáč, I., Hladil, J. & Lukeš, P. 1986. *Barrandian - Moravian Karst*. Guidebook of the Field Conference of the International Subcommission on the Devonian Stratigraphy, Ústřední ústav geologický, Praha.
- Jamison, W. R. & Spang, J. H. 1976. Use of calcite twin lamellae to infer differential stress. *Geological Society of America Bulletin* **87**, 868–872.
- Jarka, J. 1948. Geologie jižní části Moravského krasu mezi Křtinami a Mokrou. *Rozpravy Československé Akademie Věd a Umění, Třída II* **58**(14), 1–21.
- Kalvoda, J. 1989. Foraminiferová zónace svrchního devonu a spodního karbonu moravskoslezského paleozoika. MS, Kandidátská Dizertační práce, Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity.
- Kalvoda, J. 1997. Přejít karbonátové a kulmské sedimentace v širším okolí Mokré. MS, Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, Brno.
- Kalvoda, J., Bábek, O., Fatka, O., Leichmann, J., Melichar, R., Nehyba, S. & Špaček, P. 2007. Brunovistulian terrane (Bohemian Massif, Central Europe) from late proterozoic to late Paleozoic: a review. *International Journal of Earth Sciences* **97**(3), 497–518.
- Kalvoda, J., Devuyt, F. X., Bábek, O., Dvořák, L., Rak, Š. & Rez, J. 2010. High-resolution biostratigraphy of the Tournaisian-Visean (Carboniferous) boundary interval, Mokrá quarry, Czech Republic. *Geobios* **43**, 317–331.
- Kalvoda, J. & Kukul, Z. 1987. Devonian-Carboniferous boundary in the Moravian Karst at Lesní lom Quarry, Brno-Líšeň, Czechoslovakia. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg* **98**, 95–117.
- Kernstocková, M. & Melichar, R. 2010. Numerical Paleostress Analysis - Limits of Automation. *Trabajos De Geología* **29**, 439–443.
- Kettner, R. 1949. Geologická stavba severní části Moravského krasu a oblastí přilehlých. *Rozpravy Československé Akademie Věd a Umění, Třída II* **59**, 1–29.
- Kettner, R. 1967. Problém tektoniky Moravského krasu. *Československý kras* **18**, 69–90.
- Kettner, R. & Prantl, F. 1942. O novém nalezišti zkamenělin v břidlicích moravského devonu u Vratíkova sv. od Boskovic. *Věstník Královské české společnosti nauk, třída matematicko-přírodovědná*, 1–19.
- Krs, M., Hladil, J., Krsová, M. & Pruner, P. 1995. Paleomagnetický doklad pro variskou paleotektonickou rotaci moravských devonských hornin. *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce* **1994**, 53–57.
- Lacombe, O. & Laurent, P. 1996. Determination of deviatoric stress tensors based on inversion of calcite twin data from experimentally deformed monophase samples: preliminary results. *Tectonophysics* **255**, 189–202.
- Laurent, P., Bernard, P., Vasseur, G. & Etchecopar, A. 1981. Stress tensor determination from the study of e-twins in calcite. A linear programming method. *Tectonophysics* **78**, 651–66.
- Laurent, P., Tourneret, C. & Laborde, O. 1990. Determining deviatoric stress tensors from calcite twins: applications to monophased synthetic and natural polycrystals. *Tectonics* **9**, 79–389.
- Melichar, R. 1991. *Metody strukturální geologie – orientační analýza*. Masarykova univerzita, Brno.
- Melichar, R., Hladil, J. & Leichmann, J. 1999. Valchov. *Geolines* **8**, 90–91.
- Melichar, R. & Kalvoda, J. 1997. Strukturně-geologická charakteristika němčicko-vratíkovského pruhu. *Sborník II. semináře České tektonické skupiny*, 51–52.
- Melichar, R. & Kernstocková, M. 2010. 9D Space – The Best Way to Understand Paleostress Analysis. *Trabajos De Geología* **29**, 557–562.
- Pokorný, M. 1949. Zpráva o geologických poměrech jižní části moravského krasu v prostoru Hády-Mokrá. *Časopis Zemského musea (Brno), Přírodověda* **32**, 88–96.
- Pokorný, M. 1950. Vysvětlivky ke geologické mapě jižní části devonu a kulmu v prostoru Hády-Mokrá. *Časopis Zemského musea (Brno), Přírodověda* **36**, 5–14.
- Prantl, F. 1948. Stratigraficko-paleontologický výzkum devonu na Hádech u Brna. *Věstník Státního Geologického Ústavu ČSR* **23**, 173–180.
- Rajlich, P. 1990. Strain and tectonic styles related to Variscan transpression and transtension in the Moravo-Silesian Culmian basin, Bohemian Massif, Czechoslovakia. *Tectonophysics* **173**(3/4), 351–367.
- Ramsay, J. G. & Huber, M. I. 1989. *The techniques of modern structural geology, volume 2: folds and fractures*. Academic Press.
- Rez, J. & Melichar, R. 2002. Tektonika výskytu devonu u Adamova. *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce* **2001**, 57–61.
- Rez, J. & Melichar, R. 2010. Peek Inside the Black Box of Calcite Twinning Paleostress Analysis. *Trabajos De Geología* **29**, 657–662.
- Rez, J., Melichar, R. & Kalvoda, J. v tisku. Polyphase deformation of the Variscan accretionary wedge: an example from the southern part of the Moravian Karst (Bohemian Massif, Czech Republic). In: *Kinematic Evolution and Structural Styles of Fold-and-Thrust Belts* (edited by Poblet, J. & Lisle, R. J.). *Geological Society Special publications* **349**. Geological Society, London, 223–235.
- Rocher, M., Cushing, M., Lemeille, F., Lozac'h, Y. & Angelier, J. 2004. Intraplate paleostresses reconstructed with calcite twinning and faulting: improved method and application to the eastern Paris Basin (Lorraine, France). *Tectonophysics* **387**, 1–21.
- Rowe, K. J. & Rutter, E. H. 1990. Paleostress estimation using calcite twinning: experimental calibration and application to nature. *Journal of Structural Geology* **12**, 1–17.
- Rutová, M. 2009. Konodontová fauna faunu a spodního tournai ve výchozech v údolí Říčky. MS, Diplomová práce, Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity.
- Slezák, L. 1956. Geologický výzkum devonských vápenců v okolí Mokré. MS, Diplomová práce, PFF MU.
- Štelcl, J. 1957. K povaze vrás z moravského a slezského devonu (mikrostrukturální analýza). *Sborník k osmdesátinám akad. F. Slavíka*, 435–451.
- Turneret, C. & Laurent, P. 1990. Paleo-stress orientations from calcite twins in the North Pyrenean foreland, determined by the Etchecopar inverse method. *Tectonophysics* **180**, 287–302.
- Tullis, T. E. 1980. The use of mechanical twinning in minerals as a measure of shear stress magnitudes. *Journal of Geophysical Research* **85 B**, 6263–6268.
- Turner, F. J. 1953. Nature and dynamic interpretation of deformation lamellae in calcite of three marbles. *American Journal of Science* **251**, 276–298.
- Turner, F. J., Griggs, D. T. & Heard, H. C. 1954. Experimental deformation of calcite crystals. *Geological Society of America Bulletin* **6**, 883–934.
- Vocilka, M. 1971. Souhrnná závěrečná zpráva Drahanská vysočina. MS, Geofond Praha.
- Zapletal, K. 1922a. Geotektonická stavba Moravského krasu. *Časopis Moravského Zemského musea* **20**, 220–256.
- Zapletal, K. 1922b. Přehledná geologicko-tektonická mapa Moravského krasu mezi Sloupem a Brnem. Příloha ku Ročníku XX Časopisu Moravského Zemského Musea.
- Zapletal, K. 1927. Geologická mapa okolí brněnského. Moravské Zemské Muzeum.
- Zukalová, V. 1971. Stromatoporoidea from the Middle and Upper Devonian of the Moravian Karst. *Rozpravy Ústředního Ústavu Geologického* **37**, 5–143.
- Zukalová, V. & Chlupáč, I. 1982. Stratigrafická klasifikace nemetamorfovaného devonu moravskoslezské oblasti. *Časopis pro mineralogii a geologii* **9**, 225–247.

Přílohy

Použité značky a zkratky v příloze 1:

<i>č. db.</i>	číslo dokumentačního bodu
<i>x, y</i>	souřadnice S-JTSK
$\alpha_{(l)}$	azimut sklonu plochy či lineace
$\varphi_{(l)}$	velikost sklonu plochy či lineace
<i>typ</i>	typ měření
	vrst – vrstevnatost
	osa vr – osa vrásky
	zlom – plocha zlomu
	striace – rýhování na ploše zlomu
	násun ryh – rýhování na ploše násunu
<i>poznámka</i>	u zlomů se jedná o smysl pohybu
	Po – pokles
	Př – přesmyk
	D – pravostranný horizontální posun
	S – levostranný horizontální posun

č. db.	x	y	$\alpha_{s(l)}$	$\varphi_{s(l)}$	typ	poznámka
6ab2	586001	1157819	64	38	vrst	
6ab2	586001	1157819	353	15	vrst ryh	
6ab2	586001	1157819	51	36	vrst ryh	
6ab2	586000	1157719	100	50	vrst	
6ab3	586010	1157802	222	44	vrst	
6ab3	586010	1157802	63	83	vrst	
6ab3	586010	1157802	151	17	osa vr	
6ab4	586014	1157790	65	75	vrst	
6ab4	586014	1157790	88	27	vrst	
6ab4	586014	1157790	152	13	osa vr	
6ab5	586021	1157773	200	30	vrst	
6ab6	586029	1157740	58	80	vrst	
6bc	586007	1157718	114	60	vrst	
6dc1	585960	1157738	47	44	vrst	
6dc2	585953	1157772	140	23	vrst	
6dc3	585953	1157799	70	54	vrst	
6de1	585949	1157819	94	54	vrst	
6de2	585945	1157824	104	35	kliváž	
6de3	585944	1157831	120	45	kliváž	
6de4	585945	1157840	88	30	vrst	
7ab1	587072	1157707	108	21	vrst	
7ab2	587063	1157659	274	74	zlom	
7ab2	587063	1157659	188	15	striace	Př
7ab3	587062	1157630	115	20	vrst	
7ab4	587059	1157588	90	31	vrst	
7bc1	587083	1157505	52	33	vrst	
7bc2	587260	1157463	113	13	vrst	
7de1	587500	1157817	88	10	vrst	
7de2	587465	1157998	132	16	vrst	
7de3	587297	1158055	145	44	vrst	
8ab1	587104	1157729	160	20	vrst	
8ab2	587101	1157578	284	21	vrst	
8bc1	587112	1157548	102	33	vrst	
8bc2	587194	1157516	94	27	vrst	
8cd1	587301	1157547	134	16	vrst	
8cd2	587306	1157565	98	20	vrst	
8cd3	587318	1157591	92	36	vrst	
8cd4	587334	1157624	76	38	vrst	
8cd5	587359	1157659	65	25	vrst	
8cd6	587475	1157683	70	33	vrst	
8cd7	587567	1157706	68	31	vrst	
9ab1	587037	1157909	86	19	vrst	
9ab2	587047	1157895	100	42	zlom	
9ab2	587047	1157895	177	13	striace	Po
9ab3	587092	1157858	77	34	vrst	
9ab4	587122	1157813	101	28	vrst	
9ab5	587137	1157584	106	32	vrst	
9cd1	587241	1157555	22	8	vrst	
9cd1	587241	1157555	92	7	vrst ryh	
9cd2	587298	1157679	304	23	vrst	
9cd3	587394	1157740	96	38	vrst	
9cd4	587431	1157898	132	16	vrst	
DB1a	586122	1157787	245	38	násun	
DB1a	586122	1157787	220	35	násun ryh	
DB1b	586122	1157787	223	45	násun	
DB1c	586122	1157787	262	58	násun	
DB1c	586122	1157787	168	8	násun ryh	
Xab1	587066	1158052	96	27	vrst	
xab2	587076	1158020	31	14	násun	
xab3	587113	1157968	84	18	vrst	
xab4	587134	1157872	100	36	vrst	
xab5	587163	1157821	73	32	vrst	
xab6	587175	1157764	93	32	vrst	
xab7	587180	1157698	89	34	vrst	
xbc1	587241	1157748	134	35	vrst	
xbc2	587253	1157766	130	18	násun	
xbc3	587262	1157781	108	20	vrst	
xbc4	587327	1157862	297	9	násun	
xbc5	587354	1157904	179	26	vrst	
xcd1	587347	1158007	89	27	vrst	
xcd2	587256	1158004	124	26	vrst	
xcd3	587211	1157984	140	25	vrst	
xcd4	587144	1158011	82	25	vrst	
xcd5	587246	1158058	198	34	vrst	
xcd6	587210	1158055	78	62	vrst	
xcd6	587210	1158055	137	66	vrst	
xcd6	587210	1158055	99	60	osa vr	

č. db.	x	y	$\alpha_{s(l)}$	$\varphi_{s(l)}$	typ	poznámka
14de2	591417	1158483	222	48	vrst	
14de2	591417	1158483	30	63	vrst	
14de2	591417	1158483	304	8	osa vr	
14de3	591420	1158487	204	48	vrst	
14de3	591420	1158487	40	76	vrst	
14de3	591420	1158487	127	14	osa vr	
14de4	591414	1158479	8	18	vrst	
14de4	591414	1158479	206	58	vrst	
14de4	591414	1158479	293	5	osa vr	
14de5	591422	1158492	198	35	vrst	
14de5	591422	1158492	199	73	vrst	
14de5	591422	1158492	109	1	osa vr	
14de6	591426	1158502	340	70	vrst	
14de6	591426	1158502	272	45	vrst ryh	
14de6	591426	1158502	14	9	vrst	
14de6	591426	1158502	68	5	osa vr	
14de7	591430	1158506	165	56	vrst	
14de7	591430	1158506	170	18	vrst	
14de7	591430	1158506	254	2	osa vr	
14de8	591430	1158513	178	72	zlom	
14de9	591439	1158520	150	65	vrst	
14de9	591439	1158520	144	18	vrst	
14de9	591439	1158520	61	2	osa vr	
14de10	591444	1158522	255	59	vrst	
14de10	591444	1158522	311	13	vrst	
14de10	591444	1158522	338	12	osa vr	
14de11	591465	1158529	259	39	vrst	
14de12	591473	1158532	200	21	vrst	
14de15	591492	1158541	160	22	vrst	
14de13	591532	1158569	86	44	vrst	
14de13	591532	1158569	208	12	vrst	
14de13	591532	1158569	167	9	osa vr	
14de14	591537	1158569	208	12	vrst	
14de14	591537	1158569	112	23	vrst	
14de14	591537	1158569	177	10	osa vr	
14de16	591580	1158588	223	16	vrst	
14de17	591645	1158604	50	87	vrst	
14de17	591645	1158604	182	54	vrst	
14de17	591645	1158604	137	44	osa vr	
14de18	591650	1158606	141	39	vrst	
14de18	591650	1158606	216	24	vrst	
14de18	591650	1158606	199	23	osa vr	
15ab1	591480	1158182	143	29	vrst	
15ab2	591472	1158185	191	71	zlom	
15ab2	591472	1158185	106	21	striace	?
15ab3	591432	1158185	149	24	vrst	
15ab4	591404	1158182	242	65	vrst	
15ab4	591404	1158182	178	25	vrst	
15ab4	591404	1158182	164	24	osa vr	
15ab5	591382	1158179	222	26	odlepení	
15ab6	591323	1158193	178	38	vrst	
15bc1	591287	1158255	84	19	vrst	
15bc2	591285	1158267	131	16	zlom	
15bc2	591285	1158267	131	16	striace	?
15bc2	591285	1158267	311	74	striace	?
15bc3	591283	1158268	129	31	odlepení	
15bc3	591283	1158268	129	31	vrst	
15bc4	591276	1158283	163	16	vrst	
15bc5	591273	1158283	182	58	vrst	
15bc6	591270	1158306	166	53	vrst	
15bc6	591270	1158306	176	32	vrst	
15bc6	591270	1158306	247	11	osa vr	
15bc7	591270	1158326	192	20	vrst	
15bc7	591270	1158326	277	58	vrst	
15bc7	591270	1158326	200	20	osa vr	

<i>č. db.</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	$\alpha_{s(l)}$	$\varphi_{s(l)}$	<i>typ</i>
1063	590020	1160862	134	42	vrst
1063	590017	1160860	30	20	vrst
1063	590015	1160858	166	20	vrst
1063	590012	1160856	216	17	vrst
1063	590021	1160852	59	13	osa vr
1073	587397	1161529	100	17	vrst
1151	590340	1160075	150	15	vrst
1157	590551	1159753	170	20	vrst
1161	590420	1159631	230	73	vrst
1165	590175	1160944	80	40	vrst
1166	590103	1161245	290	13	vrst
1167	590137	1161219	95	45	vrst
1170	589984	1161525	80	38	vrst
1171	593452	1158382	96	40	vrst
1171	593452	1158382	315	12	kliváž
1172	593464	1158530	120	20	vrst
1173	593538	1158421	280	60	vrst
1174	593432	1158330	110	40	vrst
1174	593432	1158330	260	63	kliváž
1176	590410	1160055	320	22	vrst
1178	587713	1159547	190	45	vrst
1178	587713	1159547	220	18	vrst
1178	587713	1159547	267	12	osa vr
1179	587592	1159656	16	15	vrst
1180	587542	1159726	50	63	vrst
1180	587542	1159726	240	45	vrst
1180	587542	1159726	55	23	vrst
1180	587542	1159726	323	7	osa vr
1180	587542	1159726	329	1	osa vr
1181	587523	1159765	150	50	vrst
1183	586113	1158965	130	50	vrst
DV1	590903	1156288	10	30	vrst
DV2	590626	1156226	165	20	vrst
DV3	590541	1156175	160	30	vrst
DV4	590407	1156394	250	10	vrst
DV5	590208	1156272	200	1	vrst
DV6	590648	1156450	70	20	vrst
DV7	590309	1156693	190	5	vrst
DV8	589666	1156580	210	23	vrst
DV9	589429	1156666	180	45	vrst

<i>č. db.</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>stáří</i>
SV1	586299	1158207	famen
SV2	586271	1158077	svrchní famen
SV3	586128	1158257	svrchní famen
SV4	586339	1158041	spodní tournai
SV5	586317	1158004	spodní tournai
SV6	586126	1157983	spodní tournai
SV7	586145	1158086	střední famen
SV8	586184	1158199	střední famen
SV9	586183	1158203	střední famen
SV10	586177	1158248	negativní
SV11	586128	1158260	svrchní famen
SV12	586442	1158157	negativní
SV13	586422	1158130	negativní
SV14	586315	1157999	tournai
SV15	586310	1157981	negativní
SV16	586468	1158187	famen
SV17	586454	1158243	svrchní famen
SV18	586424	1158258	svrchní famen
SV19	586317	1158332	svrchní famen
SV20	586295	1158234	svrchní famen
SV21	586361	1158157	negativní
SV22	586332	1158119	neprůkazné
SV23	586323	1158110	neprůkazné
SV24	586308	1158094	spodní tournai
SV25	586280	1158087	svrchní famen
SV26	586279	1158077	neprůkazné
SV27	586257	1158055	negativní
SV28	586254	1158052	svrchní famen
SV29	586400	1158107	svrchní famen
SV30	586447	1158247	famen
SV31	586359	1158067	svrchní famen
SV32	586247	1157989	svrchní famen
SV33	586418	1158126	svrchní famen
SV34	586026	1158003	svrchní tournai-spodní visé
SV35	-	-	-
SV36	586058	1157849	svrchní tournai
SV37	586087	1157820	negativní
SV38	586080	1157814	negativní
SV39	586155	1157764	svrchní famen
SV40	-	-	-
SV41	-	-	-
SV42	586268	1157901	negativní
SV43	586286	1157860	negativní
SV44	586293	1157864	negativní
SV45	586281	1157839	negativní
SV46	586287	1157838	tournai
SV47	-	-	-
SV48	586296	1157828	negativní
SV49	-	-	-
SV50	586409	1157769	svrchní tournai
SV51	586411	1157664	negativní
SV52	586465	1157651	spodní tournai
SV53	586514	1157664	negativní
SV54	586502	1157621	neprůkazné
SV55	586437	1157832	neprůkazné
SV56	586444	1157777	negativní
SV57	586449	1157759	spodní tournai
SV58	586494	1157758	negativní
SV59	586490	1157688	neprůkazné
SV60	-	-	-
SV61	-	-	-
SV62	586620	1158385	spodní famen
SV63	-	-	-
SV64	-	-	-
SV65	586548	1158328	svrchní famen
SV66	586511	1158267	neprůkazný
SV67	586501	1158131	negativní
SV68	586480	1158109	spodní tournai
SV69	586457	1158094	neprůkazný
SV70	586393	1158017	střední – svrchní tournai
SV71	586680	1158211	famen
SV72	586680	1158211	famen

vzorek *OV 1* – ortogonalizovaná data v geografických souřadnicích *x 586101**y 1158260*

osa <i>c</i>			dvojčata <i>e</i> ₁					dvojčata <i>e</i> ₂					dvojčata <i>e</i> ₃				
α_L	φ_L	velikost zrna [mm]	α_L	φ_L	zdvojitěné [0 ne, 1 ano]	tloušťka [μm]	hustota [ks/mm]	α_L	φ_L	zdvojitěné [0 ne, 1 ano]	tloušťka [μm]	hustota [ks/mm]	α_L	φ_L	zdvojitěné [0 ne, 1 ano]	tloušťka [μm]	hustota [ks/mm]
136	53	2.3	315	55	1	2	47	261	1	1	0.6	14	11	2	0	0	0
332	79	1.6	142	75	1	0.3	14	283	58	0	0	0	12	56	0	0	0
160	11	0.42	96	58	1	1.3	10	301	46	1	0.8	16	227	5	0	0	0
339	28	0.25	1	12	1	0.8	14	342	55	1	0.6	21	315	15	0	0	0
339	0	1.6	78	10	1	0.5	24	46	68	1	1.2	15	236	49	0	0	0
339	51	0.45	304	72	1	0.9	28	322	28	1	0.5	16	15	42	0	0	0
166	2	1.8	192	0	1	3	60	153	25	0	0	0	332	20	0	0	0
26	18	0.34	202	8	1	0.3	24	3	33	0	0	0	54	24	0	0	0
14	15	0.28	212	40	1	1.5	18	314	19	1	0.3	7	71	47	0	0	0
65	51	0.35	182	82	1	0.4	12	98	16	0	0	0	20	24	0	0	0
188	12	0.5	185	38	1	0.4	2	347	3	0	0	0	212	0	0	0	0
125	65	0.42	296	48	1	2	26	66	12	1	2.5	15	173	8	0	0	0
96	29	0.56	85	54	1	1	16	123	20	0	0	0	77	10	0	0	0
267	77	0.3	347	65	1	0.4	11	162	70	1	0.7	26	258	51	0	0	0
78	66	0.4	3	70	1	0.9	25	70	40	1	0.6	36	137	61	0	0	0
325	75	1.8	326	48	1	1.5	8	52	68	1	2.2	6	240	67	0	0	0
164	29	0.56	50	11	1	0.4	8	12	74	1	0.5	19	288	23	0	0	0
183	1	0.32	138	57	1	1	7	311	48	1	1.4	17	70	5	0	0	0
26	32	0.56	213	22	1	0.8	30	319	34	1	1.5	3	97	47	0	0	0
341	21	0.42	151	55	1	0.9	14	252	38	1	1.2	16	66	27	0	0	0
187	11	0.5	188	37	1	0.3	21	344	2	0	0	0	29	3	0	0	0
9	27	0.2	18	2	1	0.6	21	339	28	0	0	0	32	45	0	0	0
274	75	0.35	13	70	1	0.5	28	196	65	1	0.8	21	282	49	0	0	0
146	80	0.42	178	55	1	0.7	21	299	73	1	0.4	17	87	60	0	0	0
23	31	0.56	23	4	1	1.1	18	353	41	0	0	0	53	40	0	0	0
125	5	0.7	282	9	1	1.1	18	125	31	1	0.4	20	328	9	1	0.7	13
16	9	1.8	192	17	1	0.5	16	353	24	0	0	0	41	17	0	0	0
91	20	1.8	91	46	1	1.7	13	114	6	0	0	0	69	5	0	0	0
13	32	0.56	65	71	1	0.8	32	222	7	0	0	0	325	14	0	0	0
328	38	1.5	331	64	1	1.2	49	303	23	0	0	0	352	22	0	0	0
332	9	1.7	139	20	1	1.1	30	309	34	1	0.3	11	5	12	0	0	0
175	28	2.1	162	5	1	0.7	36	204	25	0	0	0	156	50	0	0	0
337	21	2.5	168	3	1	0.9	17	356	41	1	1.3	27	309	20	0	0	0
12	8	0.21	131	9	1	0.5	10	49	66	1	0.3	12	241	35	0	0	0
148	20	0.65	53	52	1	0.8	9	294	51	1	0.6	8	228	13	0	0	0
152	68	0.5	102	55	1	0.3	12	173	44	0	0	0	254	79	0	0	0
139	18	0.21	146	34	1	1	5	151	4	0	0	0	121	14	0	0	0
174	20	1.5	193	41	1	0.5	21	146	20	0	0	0	5	4	0	0	0
301	11	0.56	275	18	0	0	0	126	15	0	0	0	323	27	0	0	0
150	26	0.63	49	37	1	0.5	12	316	56	1	0.7	16	243	23	0	0	0
155	40	0.21	121	53	1	0.6	14	150	15	0	0	0	190	44	0	0	0
339	41	0.21	331	16	1	0.4	14	14	41	0	0	0	307	57	0	0	0
319	35	1.8	318	62	1	1.6	29	295	20	1	0.4	3	343	20	1	0.4	13
83	81	0.84	193	68	1	0.7	26	348	66	0	0	0	88	55	0	0	0
89	64	1.7	54	58	1	0.3	8	103	48	0	0	0	128	77	0	0	0
192	13	0.77	11	38	1	0.4	23	245	32	1	0.3	12	139	32	1	0.3	6
342	19	1.6	358	42	1	1.2	10	175	3	0	0	0	314	16	0	0	0
320	10	0.56	347	10	1	0.3	19	304	32	1	0.4	24	128	13	0	0	0
135	15	0.34	110	28	1	0.6	53	161	25	0	0	0	313	11	0	0	0

osa c				dvojčata e_1					dvojčata e_2					dvojčata e_3				
n	h	s/p	velikost zrna [mm]	n	h	tloušťka [μm]	hustota [ks/mm]	t/s	n	h	tloušťka [μm]	hustota [ks/mm]	t/s	n	h	tloušťka [μm]	hustota [ks/mm]	t/s
84	-21	e	4.1	70.5	-15.5	0.8	36	t										
101	-33	e	2.8	83	-27.5	0.7	31	t										
21	15.5	e	0.4	31	-28.5			s										
82	-33	e	0.5	61	-34	0.4	52	t	104	-10	0.3	55	t					
306	-30	e	3.1	348	-23	0.5	25											
53.5	39	e	1.2	86	42	0.3	27	t										
337	18	e	0.35	320	5.5	0.6	51	t	4	2.5	0.4	12	t					
116	24	e	3.5	321	-43.5	0.4	16	t										
83	-39	e	4.1	124	-26	7	23.5	t										
157	20	e	1.6	3	-11.5	1.3	22	t	318	4.5	1.9	31	t					
113	13.5	e	1.3	144	28	1.1	14	t	118	-18	0.8	28	t	88	28	1.5	4	t
83	26.5	e	0.6	83	14	1.5	37	t	118	44	4	6	t					
12	-12	e	0.7	50	-48	1	17	s										
356	-19.5	e	0.35	25	-34.5	8	33	t										
32	8	e	0.2	227	5	10	71	t										
12	33	e	0.3	19	-11	0.9	40	t	349	30	0.7	11	t	45	32	0.6	28	t
23	-5.5	e	1.03	42	-27	5	28	t	1	-2	0.5	8	t					
268	-7.5	e	0.5	59	-15.5	0.4	25	t	285	7.5	0.3	13	t					
28	-10	e	0.77	46	-20	6	39	t	4	1	0.4	14	t					
334	-36	e	0.3	17	-35	0.6	35	t	330	-15	0.3	7	t					
62	-12	e	0.7	68	-27	0.6	48	t	26	-21.5	0.5	8	t					
51	26	e	0.2	40	10	0.4	16	t	12	45	2.3	9	t					
28	-25.5	e	0.42	61	-17	0.7	35	t	16	-41	0.5	7	t					
324	-10.5	e	1.3	302	6	3.5	28	t	333	-32	1.4	12						
337	-8	e	0.7	15	-22	4.5	21	t	338	6	0.5	6	t					
345	-38	e	0.56	18	-21	0.4	11	t										
324	-36	e	0.45	5	-38	1.5	21	t	310	-22	0.5	13	t					
353	16	e	1.3	340	41	0.9	17	t	334	-5	0.7	16	t	18	9	1	20	t
76	31	e	1.4	36.5	31	0.5	7	t	91	12	0.5	9	t	98	52	0.5	11	t
76	14	e	2	89	-5.5	0.6	20	t	51	11	0.3	11	t					
21	10	e	0.5	54	14	0.4	16	t										
69	13	e	1.26	63	-13	1.1	49	t	101	9	2.3	37	t					
74	15.5	e	0.56	44	25	0.8	16	t										
53	-1.5	e	0.2	84	2	0.6	42	t										
98	38	e	1.2	75	30	0.5	12	t	137	45	0.9	27	t					
72	-35	e	1.35	89	-28	0.3	12	t	39	-44	0.5	18	t					
96	39	e	1.15	68	24.5	1.3	15	t	127	37	0.7	30	t					
64	-5	e	1.5	58	-22.5	0.9	26	t										
23	31	e	1.26	75	45			s										
4	15	e	0.84	28	37	0.6	28	t	343	13.5	0.9	20	t					
71	22	e	0.98	38	34	0.4	8	t										
25	29	e	1.9	71	43	0.4	27	t										
355	30	e	1.7	328	21	0.7	25	t	24	31	0.3	12	t					
341	-33	e	0.91	309	-39	1.8	8	t	204	37	2.3	17	t					

osa c			dvojčata e_1					dvojčata e_2					dvojčata e_3				
α_L	φ_L	velikost zrna [mm]	α_L	φ_L	zdvojitěné [0 ne, 1 ano]	tloušťka [μm]	hustota [ks/mm]	α_L	φ_L	zdvojitěné [0 ne, 1 ano]	tloušťka [μm]	hustota [ks/mm]	α_L	φ_L	zdvojitěné [0 ne, 1 ano]	tloušťka [μm]	hustota [ks/mm]
48	72	4.1	24	48	1	0.8	36	284	78	0	0	0	101	57	0	0	0
110	72	2.8	46	61	1	0.7	31	211	74	0	0	0	123	47	0	0	0
64	60	0.5	225	2	1	0.4	52	300	47	1	0.3	55	148	27	0	0	0
187	2	0.4	187	28	0	0	0	30	11	0	0	0	344	11	0	0	0
266	37	3.1	241	23	1	0.5	25	289	20	0	0	0	270	63	0	0	0
334	13	1.2	310	27	1	0.3	27	151	13	0	0	0	360	23	0	0	0
193	43	0.35	226	60	1	0.6	51	203	18	1	0.4	12	158	41	0	0	0
281	47	3.5	269	23	1	0.4	16	318	42	0	0	0	246	65	0	0	0
80	63	4.1	151	74	1	7	23.5	94	38	0	0	0	31	55	0	0	0
239	29	1.6	349	35	1	1.3	22	140	19	1	1.9	31	78	58	0	0	0
280	58	1.3	258	37	1	1.1	14	317	45	1	0.8	28	233	81	1	1.5	4
321	39	0.6	340	63	1	1.5	37	291	30	1	4	6	339	18	0	0	0
216	2	0.7	242	6	0	0	0	199	22	0	0	0	27	22	0	0	0
230	12	0.35	55	14	1	8	33	251	29	0	0	0	203	18	0	0	0
12	14	0.2	18	26	1	10	71	358	11	0	0	0	20	3	0	0	0
178	10	0.3	203	0	1	0.9	40	338	7	1	0.7	11	173	36	1	0.6	28
27	6	1	141	51	1	5	28	309	66	1	0.5	8	286	5	0	0	0
335	59	0.5	18	49	1	0.4	25	278	75	1	0.3	13	319	35	0	0	0
30	13	0.77	101	72	1	6	39	265	38	1	0.4	14	141	8	0	0	0
255	22	0.3	310	60	1	0.6	35	199	13	1	0.3	7	101	26	0	0	0
23	46	0.7	111	39	1	0.6	48	201	16	1	0.5	8	292	42	0	0	0
345	19	0.2	13	17	1	0.4	16	328	40	1	2.3	9	152	4	0	0	0
46	15	0.42	254	45	1	0.7	35	338	14	1	0.5	7	116	52	0	0	0
238	45	1.3	57	38	1	3.5	28	345	25	1	1.4	12	131	27	0	0	0
226	37	0.7	227	62	1	4.5	21	202	22	1	0.5	6	249	22	0	0	0
248	11	0.56	46	4	1	0.4	11	91	1	0	0	0	246	37	0	0	0
262	27	0.45	345	59	1	1.5	21	194	16	1	0.5	13	108	31	0	0	0
193	29	1.3	164	38	1	0.9	17	223	39	1	0.7	16	194	3	1	1	20
325	31	1.4	345	12	1	0.5	7	332	56	1	0.5	9	299	19	1	0.5	11
340	45	2	357	70	1	0.6	20	310	33	1	0.3	11	1	25	0	0	0
11	3	0.5	358	26	1	0.4	16	176	19	0	0	0	37	1	0	0	0
347	41	1.26	22	41	1	1.1	49	314	57	1	2.3	37	339	16	0	0	0
341	41	0.56	349	16	1	0.8	16	14	57	0	0	0	306	41	0	0	0
14	32	0.2	343	61	1	0.6	42	54	22	0	0	0	355	1	0	0	0
302	33	1.2	333	32	1	0.5	12	277	52	1	0.9	27	291	9	0	0	0
61	53	1.35	242	66	1	0.3	12	111	8	1	0.5	18	11	7	0	0	0
8	45	1.5	44	42	1	0.9	26	356	21	0	0	0	333	63	0	0	0
171	5	1.26	146	14	0	0	0	193	20	0	0	0	355	21	0	0	0
191	17	0.84	166	8	1	0.6	28	199	42	1	0.9	20	30	2	0	0	0
337	34	0.98	343	8	1	0.4	8	7	49	0	0	0	305	37	0	0	0
348	1	1.9	326	17	1	0.4	27	164	25	0	0	0	12	11	0	0	0
177	28	1.7	207	32	1	0.7	25	171	3	1	0.3	12	150	44	0	0	0
248	18	0.91	352	29	1	1.8	8	146	26	1	2.3	17	75	76	0	0	0

vzorek Z 4 – ortogonalizovaná data v geografických souřadnicích x 586296 y 1157828

osa c			dvojčata e_1					dvojčata e_2					dvojčata e_3				
α_L	φ_L	velikost zrna [nm]	α_L	φ_L	zdvojitěné [0 ne, 1 ano]	tloušťka [μm]	hustota [ks/mm]	α_L	φ_L	zdvojitěné [0 ne, 1 ano]	tloušťka [μm]	hustota [ks/mm]	α_L	φ_L	zdvojitěné [0 ne, 1 ano]	tloušťka [μm]	hustota [ks/mm]
257	46	3	239	24	1	2	18	230	69	0	0	0	290	37	0	0	0
296	2	1.48	271	9	1	3	10	316	20	0	0	0	123	23	0	0	0
186	43	1.1	178	17	1	1	7	152	58	1	1	50	222	43	0	0	0
183	42	4.2	174	17	1	3	8	150	58	1	5	41	218	41	0	0	0
331	55	5.5	344	30	1	5	19	19	71	1	0.5	8	290	48	0	0	0
158	40	3.5	193	42	1	7	20	152	15	1	1	3	125	55	1	2	2
269	36	3.7	247	18	1	10	11	263	62	0	0	0	295	22	0	0	0
83	3	2.5	284	13	1	2.5	7	87	29	0	0	0	239	7	0	0	0
187	53	1.1	180	27	1	0.5	7	140	65	1	3	32	230	51	0	0	0
176	44	4.25	205	32	1	0.6	78	154	25	1	0.5	18	161	70	0	0	0
326	45	3.15	346	24	1	3	41	345	69	1	1	6	295	34	0	0	0
103	67	1.2	85	43	1	1.5	7	154	56	0	0	0	11	77	0	0	0
304	32	5.3	330	19	1	0.4	37	298	58	1	0.7	4	283	14	0	0	0
296	11	1.5	327	5	1	8	25	97	13	0	0	0	282	38	0	0	0
251	51	3.7	267	28	1	6	29	214	43	0	0	0	288	71	0	0	0
331	60	5.5	253	11	1	4	5	117	43	1	0.8	6	185	9	1	1.2	8
160	11	7.5	134	7	1	0.6	15	172	35	1	1.4	30	355	10	0	0	0
122	26	8.4	288	32	1	0.7	9	189	25	1	0.4	19	50	50	0	0	0
137	21	4.5	353	39	1	1.2	41	218	62	1	0.8	7	67	8	0	0	0
173	2	0.9	347	24	1	0.4	11	154	19	0	0	0	199	9	0	0	0
324	49	2.9	328	23	1	4.3	29	6	59	1	2.7	9	283	51	0	0	0
324	55	5.8	315	30	1	2.5	5	9	52	1	4.5	25	273	67	0	0	0
190	31	7	214	16	1	0.8	36	167	16	1	5.5	7	189	58	0	0	0
128	10	3.8	102	8	1	2.4	13	322	12	0	0	0	143	33	0	0	0

vzorek Z 9 – data změřená na Fjodorovově stolku				x 587568					y 1157706										
osa c				dvojčata e_1					dvojčata e_2					dvojčata e_3					
n	h	s/p	velikost zrna [mm]	n	h	tloušťka [μm]	hustota [ks/mm]	t/s	n	h	tloušťka [μm]	hustota [ks/mm]	t/s	n	h	tloušťka [μm]	hustota [ks/mm]	t/s	
0	-36	e	2.5	346	-35.5	5	17	t	45.7	-28	1.7	9	t						
18	-2.5	e	4.2	8.6	-18.5	2	21	t	51.5	-1	1.3	14	t						
7	16	e	1.1	37.5	-1.5	3.5	26	t	354	-14	1.5	9	t						
13	3.5	e	3.5	5.5	-6	7	21	t	51	0.5	7	7	t						
351.5	1.5	e	1.2	28.5	-12	1.5	10	t	33.4	16.5	3	15	t						
347.5	-36	e	0.7	23.5	-21.5	0.8	7	t	333.8	-27	2	20	t						
23.6	-26	e	0.9	24	-0.3	1.1	30	t	64.7	-33	1.2	7	t						
12.5	22.5	e	1.4	46.5	0.5	0.6	10	t	1	5	0.8	46	t						
321.5	-51	e	0.7	113	32	2.5	26	t	162	17.5	0.6	39	t						
352	-13	e	1.2	19	17	0.6	26	t	333.5	-6	6	22	t						
7.5	4.5	e	0.75	44.3	12.5	3	16	t	4.5	-8	6	32	t						
7.3	8	e	0.59	2.2	-18.5	4	28	t	46	-1.5	1.5	21	t						
26	-18	e	0.66	65.5	-18	1.2	12	t	18	-48	6	14	t						
64.5	28	e	0.85	36	49.5	0.8	26	t	105	54	0.8	18	t						
25	34.5	e	1.05	19.5	-12.5	2	17	t	74.5	-55	0.8	40	t						
14	9	e	0.95	2	-1	6	25	t	46.5	3.5	0.6	18	t						
359	31	e	0.98	342	27	3	53	t											
345	-40	e	1.2	333.5	-20.5	4	12.5	t											
8	5.5	e	6	8	-11.5	5	22	t	53	-3	0.8	15							
0.2	-18	e	0.56	33	-35	1.5	19	t	342.4	-31	2	42	t						
297.6	21.5	e	0.38	244.5	-3	3	60	t											
346.3	-39	e	2.5	46.3	-46	7	26	t	347	-29	1.5	20	t						
344.5	-33	e	0.77	31	-46	0.8	11	t	324	-40	1.2	8	t	356	-7	0.6	35	t	
0	-32	e	1.4	39.2	-44	0.8	23	t	327	-52	1	14	t						
1	-16	e	0.9	29	-20.5	1.2	16	t	339.5	-23	1.5	107	t						
356	3.25	e	1.2	24.2	-18.5	3	14	t	342.3	-15	4	29	t						
23.5	23	e	0.8	19.5	31.25	0.6	42	t	63.7	13.2	5	14	t						
354	-36	e	0.945	21	-30.5	1.4	13	t	351	-28	1.5	26	t						
62	37.5	e	0.91	30	41.5	3	28	t	10	51	1.1	28	t						
323.5	-41	e	0.65	340.2	-15.5	0.7	37	t	293.3	-33	0.8	26	t						
23	24	e	0.77	11	43.5	1.5	42	t	58.5	14	7	10	t						
19.5	21	e	1.5	43.5	-7	1.6	23	t	356	9.5	4	33	t						
359.5	16.5	e	0.5	340	-8	8	26	t	24	-19	0.6	11	t						
0.3	26.5	e	0.7	334.5	19.5	5	64	t											
346.7	-23	e	0.5	344	6	6	46	t											
20	8	e	4.5	5.7	-19	6	32	t	50.7	-6	2.6	17	t						
63.5	36.5	e	0.91	31.3	40.5	4.5	18	t	103.5	49	0.8	25	t						
32	-29	e	0.8	63.7	-22.5	1.2	9	t	15.5	-45	6	10	t						
18	-24	e	0.095	54.6	-36.5	0.8	9	t	13.5	-30	0.6	23	t						
348.3	-30	e	0.75	21.5	-28	0.8	14	t	329	-26	0.6	16	t						
23.5	28.5	e	0.8	11	40	1.3	40	t	57.3	14.5	3	10	t						
349.8	-38	e	0.75	21.4	-28	0.8	12	t	330	-22	0.6	30	t						
88	42.5	e	0.5	312.5	-44	0.7	14	t	69	33	0.6	6	t						
8	6.25	e	0.75	43	4.2	1.6	19	t	2.5	-11	9	16	t	356	28.25	0.8	4	t	
14.5	23.5	e	0.65	44	-0.25	0.8	16	t	359	-2	5	18	t						
22	24	e	1.5	358.5	2.25	1.7	36	t	44	-1	0.6	10	t						
343.5	-14	e	0.4	3.3	-11	0.8	22	t	325.3	-17	1	24	t						
27	-33	e	0.91	21	4	1.5	28	t	62	-32	1.2	11	t						

vzorek Z 4 – ortogonalizovaná data v geografických souřadnicích x 587568

y 1157706

osa c			dvojčata e_1					dvojčata e_2					dvojčata e_3				
α_L	φ_L	velikost zrna [nm]	α_L	φ_L	zdvojitěné [0 ne, 1 ano]	tloušťka [μm]	hustota [ks/mm]	α_L	φ_L	zdvojitěné [0 ne, 1 ano]	tloušťka [μm]	hustota [ks/mm]	α_L	φ_L	zdvojitěné [0 ne, 1 ano]	tloušťka [μm]	hustota [ks/mm]
85	11	2.5	108	26	1	5	17	268	16	1	1.7	9	59	19	0	0	0
228	1	4.2	72	10	1	2	21	227	27	1	1.3	14	26	13	0	0	0
31	11	1.1	229	9	1	3.5	26	5	4	1	1.5	9	40	36	0	0	0
43	4	3.5	65	18	1	7	21	225	23	1	7	7	18	14	0	0	0
46	23	1.2	73	17	1	1.5	10	29	2	1	3	15	32	48	0	0	0
88	21	0.7	70	1	1	0.8	7	79	46	1	2	20	114	12	0	0	0
254	7	0.9	231	23	1	1.1	30	69	19	1	1.2	7	279	16	0	0	0
24	5	1.4	217	18	1	0.6	10	357	5	1	0.8	46	39	27	0	0	0
61	23	1.2	40	6	1	0.6	26	56	49	1	6	22	86	11	0	0	0
41	10	0.75	214	16	1	3	16	21	28	1	6	32	68	15	0	0	0
39	10	0.59	64	21	1	4	28	218	17	1	1.5	21	15	22	0	0	0
245	10	0.66	265	29	1	1.2	12	219	14	1	6	14	74	15	0	0	0
184	37	0.85	175	12	1	0.8	26	217	37	1	0.8	18	155	55	0	0	0
201	8	1.05	227	4	1	2	17	189	32	1	0.8	40	5	13	0	0	0
37	3	0.95	57	21	1	6	25	223	22	1	0.6	18	11	11	0	0	0
14	12	0.98	16	39	1	3	53	215	3	0	0	0	170	0	0	0	0
95	20	1.2	75	41	1	4	12.5	123	20	0	0	0	264	4	0	0	0
41	8	6	63	23	1	5	22	225	18	1	0.8	15	15	17	0	0	0
66	15	0.56	259	8	1	1.5	19	39	14	1	2	42	83	37	0	0	0
294	76	0.38	230	60	1	3	60	57	74	0	0	0	314	50	0	0	0
93	19	2.5	275	7	1	7	26	65	28	1	1.5	20	118	33	0	0	0
85	21	0.77	272	5	1	0.8	11	57	25	1	1.2	8	108	38	1	0.6	35
82	13	1.4	284	2	1	0.8	23	59	0	1	1	14	84	39	0	0	0
64	15	0.9	88	3	1	1.2	16	223	1	1	1.5	107	60	41	0	0	0
44	21	1.2	68	8	1	3	14	23	5	1	4	29	41	48	0	0	0
202	5	0.8	33	19	1	0.6	42	220	26	1	5	14	176	8	0	0	0
87	17	0.95	256	7	1	1.4	13	68	38	1	1.5	26	115	17	0	0	0
177	30	0.91	183	4	1	3	28	204	46	1	1.1	28	146	33	0	0	0
105	34	0.65	72	35	1	0.7	37	133	51	1	0.8	26	113	9	0	0	0
202	4	0.77	359	9	1	1.5	42	45	9	1	7	10	202	31	0	0	0
205	1	1.5	225	20	1	1.6	23	180	8	1	4	33	33	24	0	0	0
32	18	0.5	55	35	1	8	26	218	8	1	0.6	11	4	23	0	0	0
19	16	0.7	22	42	1	5	64	220	0	0	0	0	355	4	0	0	0
73	28	0.5	43	34	1	6	46	101	41	0	0	0	77	1	0	0	0
219	2	4.5	56	18	1	6	32	229	27	1	2.6	17	13	3	0	0	0
177	33	0.91	158	12	1	4.5	18	205	23	1	0.8	25	164	57	0	0	0
257	14	0.8	281	27	1	1.2	9	231	25	1	6	10	78	12	0	0	0
256	3	0.8	274	23	1	1.2	9	230	7	1	6	10	86	21	0	0	0
251	2	0.1	275	13	1	0.8	9	228	16	1	0.6	23	69	24	0	0	0
82	23	0.75	251	2	1	0.8	14	61	43	1	0.6	16	110	23	0	0	0
197	4	0.8	358	14	1	1.3	40	43	3	1	3	10	190	30	0	0	0
90	19	0.75	252	1	1	0.8	12	79	44	1	0.6	30	116	11	0	0	0
40	7	0.75	241	9	1	1.6	19	195	4	1	9	16	43	33	1	0.8	4
23	4	0.65	225	11	1	0.8	16	179	8	1	5	18	26	30	0	0	0
202	3	1.5	41	16	1	1.7	36	210	28	1	0.6	10	357	4	0	0	0
65	32	0.4	57	7	1	0.8	22	39	50	1	1	24	97	33	0	0	0
259	9	0.91	234	22	1	1.5	28	78	17	1	1.2	11	283	21	0	0	0
113	28	0.7	136	48	1	2.5	26	83	27	1	0.6	39	124	3	0	0	0
90	20	0.75	194	57	1	0.8	12	20	7	5	1	0.6	0.75	51	0	0	0

