

Pomen milonitov in filonitov Pohorja in Kobanskega

Significance of mylonites and phyllonites in the Pohorje and Kobansko area

Mirka TRAJANOVA

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, 1000 Ljubljana

Ključne besede: miloniti, filoniti, strukturna geologija, tektonika, Slovenija, Vzhodne Alpe
Key words: mylonites, phyllonites, structural geology, tectonics, Slovenia, Eastern Alps

Kratka vsebina

Široka razprostranjenost milonitov in filonitov na Pohorju in Kobanskem je posledica obsežnega narivanja proti severu, ki je nastalo pri kredni koliziji Evropske in Afriške plošče. Oblikoval se je akrecijski klin v katerem so bili deli oceanske skorje z metaultrabaziti vključeni med pokrove in tektonsko transportirani v višje nivoje. Prodiranje čizlakitne in granodioritne taline je izoblikovalo izbočenje in nastala je jedrna struktura Pohorja. Pri tem so bile najviše izrinjene najmočnejše metamorfozirane kamnine eklogitnega faciesa. Preko ribniško-selniške stopničaste strukture se kamnine Pohorske formacije nadaljujejo na Kobansko. Vpliv narivanja se kaže tudi na pohorskem granodioritu, ki je rahlo spremenjen v pogojih zeolitnega faciesa. Del masiva (Pekrska gorca) je bil odtrgan in verjetno v zadnji fazi narivanja premeščen za najmanj 11 km proti severuseverovzhodu. Vzhodno nadaljevanje Pohorskega masiva se je pogreznilo v smeri Panonskega bazena. V neogenu je Labotski prelom odrezal Pohorje in Kobansko od Karavank in Strojne. Ob njem se je NW del Pohorskega bloka škarjasto pogreznil.

Abstract

The wide distribution of mylonites and phyllonites in the Pohorje and Kobansko areas is the consequence of the extensive northward thrusting caused by the Cretaceous collision of the European and African plates. In the accretionary wedge meta-ultrabasites with parts of the oceanic crust were incorporated between the nappes and tectonically transported to higher levels. Ascending of the cizlakite and granodiorite melts resulted into the core structure of the Pohorje. The highest were emplaced the most metamorphosed rocks of the eclogite facies. Rocks of the Pohorje Formation continue on the other side of the Ribnica-Selnica stair-like structure in the Kobansko area. The influence of the thrusting is noticed also in the Pohorje granodiorite, which is slightly altered in the zeolite facies conditions. Part of it (Pekrska gorca) was detached and probably in the final stage of thrusting displaced for at least 11 km toward NNE. The eastern prolongation of the Pohorje massif subsided toward the Panonian basin. The pivotal Labot fault separated Pohorje and Kobansko areas from Karavanke and Strojna in Neogene. Along it the NW part of the Pohorje block was downthrown.

Uvod

Današnja podoba Vzhodnih Alp se je izoblikovala v glavnem v kredni in terciarni Alpidski metamorfozi in spremljajočih de-

formacijah, katere Neubauer in sodel. (2000) pripisujejo dvema fazama neodvisnih kolizij. V kredni naj bi nastale današnje enote Avstroalpina v širokem pomenu besede (enote Avstroalpina, Meliate in zgornjega Juvavic-

a), v eocensko-oligocenski »poševni« koliziji pa naj bi se na Evropsko ploščo narivale v kombinaciji kamnine Avstroalpina in Jadranske mikroplošče.

V razpravi omenjeni dogodki niso posebej razčlenjeni. Obravnavane so filitne kamnine na območju Pohorja in Kobanskega (sl.1) v smislu kolizije Afriške in Evropske plošče. Makroskopsko so si med seboj zelo podobne, vendar pa obstaja med njimi bistvena razlika v stopnji dinamometamorfne spremembe. Raziskave so potekale v letih 1991-94 v okviru sredstev takratnega MZT.

Na OGK 1:100 000, lista Slovenj Gradec ter Maribor in Leibnitz (Mioč & Žnidarčič, 1976 in Žnidarčič & Mioč, 1988) je stik filitov s podlago in krovnino interpretiran enkrat kot tektonsko-erozijski, drugič kot narivni, pri čemer se v obeh primerih nahajajo »enaki« filiti na blestniku Pohorske ali pa na skrilavcih Kobanske formacije. Vendar obstoja relativno hitra vertikalna sprememba metamorfne stopnje, ki je ne moremo razložiti samo s progresivno regionalno ali kontaktno metamorfozo. Skupaj s tabularnim pojavljanjem filitov so ta dejstva pomenila povod za raziskavo možnih dejavnikov, ki so do njih pripeljali.



Sl. 1: Lega obravnavanega območja.

Fig. 1. Position of the treated area.

Strukturna lega filitov na OGK, lista Slovenj Gradec ter Maribor in Leibnitz

Narivanje, makroskopska sličnost in različne debeline filitov, milonitov in filonitov so le nekateri faktorji zaradi katerih je na OGK 1:100 000 odnos filitov do kamnin v talnini in krovnini dokaj neenoten. V pri-

merih normalnega, padajočega metamorfnege zaporedja so stiki pretežno (vendar ne nujno) tektonsko-erozijski, vendar je značaj le-teh najpogosteje nesiguren. V primerih filita, ki predstavlja milonitno in filonitno cono, so risani narivni kontakti med formacijami tako navzgor, kot tudi navzdol. Ne glede na to pa je na strmih pobočjih vzhodnega Kobanskega na listu Slovenj Gradec (Mioč & Žnidarčič, 1976) njihova meja z gnajnsno formacijo interpretirana kot tektonsko-erozijska, na listu Maribor in Leibnitz (Žnidarčič & Mioč, 1988) pa kot narivna. Edino s kamninami Štalensko-gorske formacije je povsod risana narivna meja.

Na Kobanskem nikjer ne zasledimo diaforitov, ki so tako indikativni na Pohorju. Lahko so odsotni ali pa premajhnih debelin in niso vrisani, čeprav v literaturi nisem zasledila, da bi v tem delu o njih poročali.

Na severovzhodnem delu Pohorja je ozek pas filita in kloritno amfibolskega skrilavca (na karti označen z Scoam) vkleščen med Lovrenški in njemu vzporedni prelom. Medsebojno sta ločena z narivnim stikom, pri čemer je skrilavec narinjen na filit. Pas sledimo proti zahodu vzdolž Lovrenškega preloma približno do okljuke Drave južno od Selnice. Skupaj z diaforiti zahodno od njih, so z Lovrenškim prelomom ločeni od miocenskih klastičnih kamnin in gnajnsne formacije.

Zeleni skrilavci se, razen v omenjenem pasu, nahajajo le še na območju Košenjaka, od koder segajo na NW konec Pohorja. Na njih v direktnem tektonsko-erozijskem stiku leži filit. Ob prelomu, ki poteka vzdolž Begantovega grabna, preko Cvitrškega sedla in Trbonj, je blok Košenjak odrezan od Pohorskega bloka. Verjeten podaljšek Begantovega preloma je linija v smeri SW – NE zahodno od Radelj, ob kateri je porušena monoklinalna struktura in ji sledi tudi lineacija. O njej poročata Mioč in Žnidarčič (1978) v tolmaču k OGK, list Slovenj Gradec, vendar na karti ni vrisana.

Filiti, miloniti in filoniti Pohorja in Kobanskega

Uvodoma na kratko podajam nekaj osnovnih parametrov za obravnavane kamnine. Za milonit in filonit so delno povzeti po Passchier-u in Trouw-u (2000):

– *Filit* je regionalno metamorfna kamnina nastala iz glinasto-meljastih sedimentnih kamnin (muljevcev), pri nizki stopnji metamorfoze, v faciesu zelenih skrilavcev in predstavlja prehod med glinastimi skrilavci in blestniki.

– Izraz *milonit* je leta 1885 uvedel Lampworth za kamnine v narivni coni Moine na NW Škotske (Snoke & Tullis, 1998). Predstavlja kamnine z izrazito foliacijo in lineacijo, nastale pretežno kot posledica plastične prekristalizacije v conah intenzivnega striga (v milonitnih conah) in označuje le teksturo kamnine. Dolgo je veljalo, da so proizvod intenzivnega drobljenja v določeni smeri in da je foliacija rezultat kataklaze (Miyashiro, 1973). Pri poimenovanju se milonitu navadno doda ime kamnine iz katere je nastal, npr. filitni, gnajnski, amfibolitni milonit, ali pa osnovnega minerala, npr. kalcitni, dolomitni, kremenov milonit. Pri močnejši progresivni rekristalizaciji imenu kamnine dodamo pridevnik »milonitni« (milonitni gnajnski itd.).

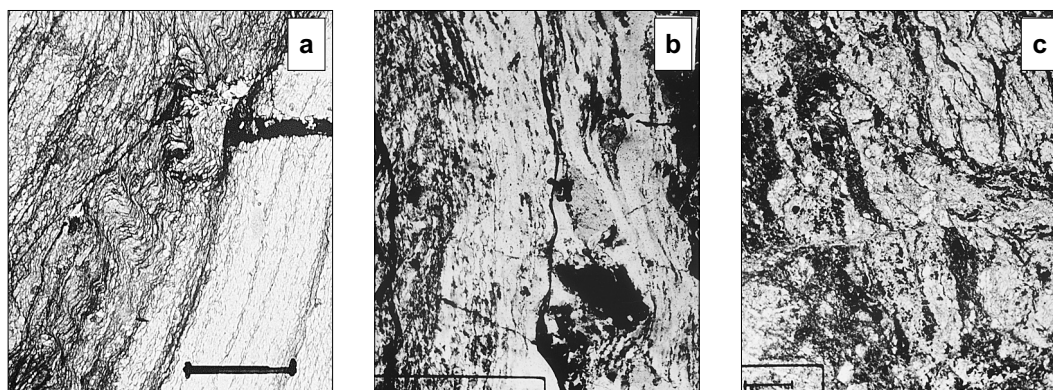
– *Filonit* je izraz za strižno močno porušeno kamnino, v kateri prevladujejo filosilikati. Navadno nastane ob prisotnosti vode (Park, 1989). Na izgled je zelo podoben filitu ali celo glinastemu skrilavcu, izvorno kamnino pa lahko določimo predvsem posredno iz manj deformiranih okolnih kamnin. V našem primeru je sestavljen predvsem iz muskovita in poleg njegove pasivne koncentracije pomeni tudi prekristalizacijo alkalnih glincev v muskovit/sericit ob prisotnosti vode. Poleg skrilavosti (S) in prečnega klivaža (C) imajo pogosto še klivaž C',

ki lahko nakazuje smer tektonskega transporta (Barker, 1990).

Mikroskopski izgled vseh treh različkov je prikazan na sliki 2.

Čprav milonitizirane kamnine lahko najdemo v različnih conah pa praviloma nastopajo na robovih orogenih pasov, kot je to slučaj v obravnavanem primeru. Pri nas jih najdemo tudi vzdolž močnih zmičnih prelomov, npr. Periadriatskega lineamenta, vendar tu niso vključene.

Milonitna cona je morala nastajati pod debelo skladovnico kamnin, saj so za nastanek plastične prekristalizacije potrebni veliki pritiski. Pravo debelino je nemogoče oceniti, ker je globina nastanka milonitov močno odvisna od vrste primarne kamnine, od geotermalnega gradienta, od velikosti pritiska na prelom in zelo močno od prisotnosti ali odsotnosti fluidov. Teoretična globina nastanka milonitov je zato po različnih avtorjih zelo različna. Po Masonu (1990) je v narivnih conah risana nekje med 4 do 5 km. Po Raymond (1995) je v strižnih conah navedena globina okrog 10 km, kjer pri približno 15 km prehajajo v psevdotahilite. Sibson (v Snoke & Tullis, 1998) navaja v sinoptičnem diagramu strižne obstojnosti prehod iz polja krhkih deformacij v (pol)plastično polje pri globinah med približno 12 in 15 km v odvisnosti od vrste preloma in aktivnosti fluidne faze. Najmanjše globine veljajo narivom. Scholz (v Snoke & Tullis, 1998) navaja za začetek plastične prekristalizacije kremenoglobino okoli 11 km. Kljub temu je verjetno, da prehod iz krhke v plastično



Sl. 2. (a) Filit, || N; (b) milonit, +N in (c) filonit +N. Merilo predstavlja ca 1 mm.

Fig. 2. (a) Phyllite, || N; (b) mylonite, +N and (c) phyllonite, +N. Scale bar is ca 1mm.

drformacijo nastaja pri dokaj konstantnih pogojih (Schmid & Handy, 1991).

Filitna formacija je prekrivala celotno območje Pohorja in Kobanskega, navrtanine iz posameznih globljih vrtnin pa kažejo, da se pod sedimentnim pokrovom Panonske udorine nadaljuje tudi proti vzhodu. Obsežno narivanje po nekompetentnih kamninah je povzročilo milonitizacijo in filonitizacijo na stiku z gnajnsno formacijo. Sedanji filiti so predstavljali mehko posteljico in ločilno ploskev, zato imajo sedaj značilno tabularno rezprostranjenost (sl.3). Miloniti so bili transportirani v krovtnini najmočnejše narivne cone med gnajnsno in filitno formacijo. Za talnino nariva je značilno nastopanje kataklazitov in pod njimi diaforitov in blestnikov. Za razliko od narivov se pri normalnih prelomih v talnini transportirajo miloniti in visokometamorfne kamnine. Miloniti so v tektonskem stiku s kataklaziti, ki istočasno nastajajo v krovtnini. Asimetrična razporeditev prelomnih kamnin nakazuje na hitrejšo stopnja dviganja in zmikanja, kot je bilo vzpostavljane termalnega ravnovesja vzdolž narivne cone (Schmid & Handy, 1991). Pri regionalnih tektonskih procesih so vsaj delno tektonizirani vsi kontakti, še posebno, če so v stiku geomehansko zelo različne kamnine.

Filiti so v tolmaču za list Slovenj Gradec opisani kot plasti temne, sive in zelenkaste barve (Mioč & Žnidarčič, 1978). Glede na dosedanje lastne terenske in laboratorijske raziskave opisi ustrezajo stopnji dinamometamorfne spremembe. Najtemnejši so filiti v filonitnem horizontu, kjer sta se pasivno koncentrirala nemigrativna, grafitizirana organska snov ter sekundarni pirit in so prisotni v najmanjši količini. Najpogostejši so svetlejši, sivi različki, v katerih je nekoliko več kremenca, ki je delno premeščen iz filonita. Zgoraj sledijo relativno nepoškodovani zeleni filiti. Po podatkih Hinterlechner-Ravnikove in Moinea (1977) pripadajo zgornjemu delu zelenih skrilavcev z zelo heterogeno sestavo. Nastali naj bi pretežno iz glinavcev do peščenjakov s tufskimi in drugimi primesmi, verjetno v območju kontinentalnega roba. V njih se nahajajo plasti in leče epimarmorja, opisane kot produkt metamorfoze kalkarenitov in apnenca z več glinaste primesi, iz katerega je nastal apneni filit (Mioč & Žnidarčič, 1978). Pretežni del pregledanih vzorcev nakazuje,

da prvi pogostokrat pripadajo coni kataklaze, drugi pa milonitni coni.

Od filitov se močno razlikujejo kamnine Štalenskogorske formacije, ki so nanje narinjene. Geokemične raziskave, kot sta jih prikazala Hinterlechner-Ravnikova in Moine (1977), kažejo na glinaste sedimente s preboji alkalnega bazalta podmorskih izlivov.

Posledice narivanja in kasnejših vplivov

Velike prelomne cone imajo navadno korenine v srednji do spodnji skorji in so zato sestavljene iz najrazličnejših tipov prelomnih kamnin (Snoke & Tullis, 1998). Glavno narivanje Avstroalpskega pokrova je pri nas potekalo po predhodno šibko metamorfoziranih muljevcih z lečami apnenca (po nekompetentnih kamninah). Zaradi dolgotrajnega tektonskega transporta so v milonitnem melanžu poleg filitnih različkov vključeni tudi posamezni odtrgani deli gnajnsne formacije (blestnik, gnajns, amfibolit/amfibolski skrilavec). Našli smo jih v vrtninah pri Gaju (Trajanova & Mladenovič, 2001) in v vrtninah pri Mariboru (Brezigar & Trajanova, 1995). Zato je opazna velika spremenljivost vsebnosti posameznih litoških različkov in mineralov, ki jih omenjajo že Mioč in Žnidarčič (1978) s sodelavci v tolmaču k listu Slovenj Gradec, hkrati pa tudi hitro vertikalno spreminjanje metamorfne stopnje. Po podatkih Schmid-a in Handy-a (1991) sintektonske mineralne reakcije lahko spremljajo progradno ali retrogradno regionalno metamorfozo zunaj strižne cone nariva kot tudi v coni sami, če so za to vzroki v kinetiki in premeabilnosti fluidov.

V območju akrecijskega klina se je skorja Avstroalpina močno odebelila in postala nestabilna. Začela je gravitacijsko razpadati proti jugu in izoblikovala globoke E-W potekajoče ekstenzijske strukture. Na pohorsko-kobanskem območju je nastala stopnica z bazenom gosavskega tipa, sličnim kot jih prikazujejo Willingshofer et al. (1999a). Nakazujejo ga ostanki krednih sedimentov zahodno od Ribnice na Pohorju, pripadajo pa mu tudi krpe v okolici Zreč in na posameznih delih Kobanskega. Njegov najgloblji, severni rob so omejevali prelomi. Pri nadaljnji konvergenci Afriške in Evropske

plošče se je celotno območje skupaj z bazenom hitro dvigalo in erodirana je bila praktično vsa gosavska kreda. Dviganje je pospešilo še vtiskanje granodiorita in čizlakita vzdolž omenjenih ekstenzijskih razpok. Nastalo je izrazito izbočenje Pohorja, za katerim se je izoblikoval nov Ribniško-selniški bazen. Zapolnili so ga miocenski sedimenti s številnimi krednimi klasti. Proti metamorfne- mu kompleksu ga z juga omejuje reverzni Lovrenški prelom (sl.3), ki predstavlja reaktiviran severni rob stopnice predhodnega krednega bazena. Ob njem sta se Pohorski in Kobanski blok subvertikalno reverzno premaknila (sl. 4). Pohorski blok je vzdolž Ribniško-selniškega tektonskega poljarka nekoliko potisnjen navzdol, torej je po osi W(NW) – E(SE) zarotiran proti N(NE). Kobanski blok je zasukan na isti način. Rotacija nakazuje istočasno tudi smer narivanja proti severu.

Kobansko območje bi bilo smiselno deliti na dva bloka. Razmejuje ju ozka prelomna cona vzdolž Begantovega grabna, preko Cvitrškega sedla, do Mute in Radelce (sl. 3), katere zadnji odsek omenjata že Mioč in Žnidarčič (1978). Filiti na vzhodni strani pripadajo pretežno milonitom in filonitom, proti zahodu pa so primerljivi s strojniškim kompleksom in prav tako leže neposredno na zelenih skrilavcih (na karti označeni s Scoam). Med Trbonjami in Radelco prelom prekrivajo terase reke Drave ter miocenski sedimenti. Območje Košenjak – Ojstrica – Kozji vrh – Pernice se je ob tej tektonski liniji premaknilo proti vzhodu, še preden je zaživel Labotski prelom. V lokalnem pogledu se je v neogenu deformiralo ločeno od Strojne, na katero so vplivala dogajanja z zahodne strani tega preloma, povezana s Karavankami. Kozjak se loči od Košenjaka še po odsotnosti zelenih skrilavcev, ki pa se tudi na Pohorju pojavljajo le kot tektonski vklješki južno od Selnice in Ruš. Zato bi Kobansko delili na bloka Košenjak in Kozjak, pri čemer slednji spada k Pohorskemu kompleksu. Na sliki 3 sta bloka razmejena s črtkanim prelomom z vprašaji.

Na območju osrednjega Pohorja so erodirani vsi deli dvignjenih krovnih enot (sl. 3 in 4). Ohranjeni so še na zahodni strani ter na Kobanskem (sl.3), kjer jih je Mioč s sodelavci (1978) imenoval Remšniški pokrov. Produkti retrogradnega metamorfnege vpliva, diafioriti, so ohranjeni v krpah, blestniki pa v večjem obsegu pod narivno cono (sl.3 in 4). Na OGK,

lista Slovenj Gradec ter Maribor in Leibnitz, so diafioriti vidni na območju Ljubnice, vzdolž Lovrenškega preloma in v bolj strnjeni in večji površini vzdolž zahodnega dela granodioritnega masiva. Na Ljubnici so zelo verjetno nastali iz zelenih skrilavcev (Scoam), filiti na njih pa pripadajo filonitu in nakazujejo na bližino erodiranega narivnega stika Štalenskogorske formacije. Za kamnine debele vplivne cone nariva je značilna izrazita subhorizontalna foliacija. Nastala je lineacija raztezanja (stretching lineation) v smeri vzhod-zahod, ki je posledica valjanja mineralnih zrn v prečni smeri in delno kasnejše ekstenzije v isti smeri (Fodor et al. 2002, v tisku).

Kot že rečeno, je hitro dviganje in razkrivanje Pohorja, poleg narivanja, povzročilo tudi vtiskanje granodiorita in čizlakita. Zato je bilo v zadnji fazi prekinjeno nadaljnje narivanje. Nastalo je domasto ukrivljenje (doming upward), zaradi česar je osrednji del intruzije razkrit z erozijo in so najviše dvignjene najgloblje ležeče in najmočnejše metamorfozirane kamnine. Na vrhu Pohorja je ohranjena le majhna krpa metamorfne kamnin (sl.3 in 4), ki tako kot neposredna okolica plutona, vsebuje retrogradno metamorfozirane leče eklogita in s tem dokazuje dvig najglobljega dela nekdanje kontinuirane podlage. Izliv dacita na strukturo takrat še ni vplival, ker se je vtisnil šele proti koncu ali po končanem narivanju.

V kontaktni coni z granodioritom se značilna milonitna struktura izgubi. Novo kristaljene (osvežene) mineralne faze (predvsem kremen, biotit in deloma alkalni glinenec) nakazujejo plastično prekrystalizacijo pri visoki temperaturi, še vedno pa imajo izrazito foliacijo in lineacijo. Enake primere navajata Snoke in Tullis (1998).

Narivanje je pravtako prizadelo granodioritni masiv. Zasedimo rahlo metamorfozo v pogojih zeolitnega faciesa. V njem je pri hlajenju v dinamičnih pogojih nastala usmerjena tekstura, ki jo poudarja predvsem plastična deformacija in degradacijska rekrystalizacija kremenca ter reorientacija in usmerjena rast biotita. Visokotemperaturni minerali, najpogosteje plagioklazi, so se deformirali krhko. Vsebujejo mikrorazpoke prečno na usmerjeno teksturo, ki so nekoliko zarotirane in nakazujejo na delovanje napetosti proti severu. Zapolnjujejo jih kremen in drugi sekundarni minerali.

Nenavaden je izdanek granodiorita na Pekrski gorci pri Mariboru. Lokaliziran, majhen pojav in struktura kristalizacije, ki bi bila v primeru apofize drugačna, navajata na razlago, da pripada odrezanemu bloku s Pohorja. Najmanjša možna dolžina transporta v smeri NE, gledano pravokotno na rob plutona, bi bila v zadnji fazi narivanja okrog 11 km.

Za razliko od granodiorita pa dacit prebada pokrov štalenskogorske formacije, kar pomeni, da se je vtisnil v plitve dele skorje že po končanem krovnem narivanju.

Če predpostavimo, da so miloniti in filoniti pri narivanju nastajali v najmanjši globini okoli 4 km, ki jo teoretično navaja Mason (1990), se je morala ta skladovnica erodirati v relativno kratkem času. V Lovrenško-selniškem poljarku se v srednjemiocenskih plasteh nahajajo prodniki tonalita (granodiorita) (Žnidarčič & Mioč, 1989), kar pomeni, da je bil pohorski intruziv takrat vsaj delno že razgaljen in je bil pred tem erodiran metamorfni pokrov. Dejstvo odgovarja hitremu razkrivanju na območju Vzhodnih Alp (Thöni, 1999).

Dogajanja v neogenu, ki jih prikazujejo Fodor et al. (1998 in 2002, v tisku) so izoblikovala recentno podobo Pohorja. Zaradi njih je bil Lovrenški prelom razrezan. Istočasno so bili desno zmično deformirani ostanki gosavske krede jugozahodno od Kungote. V vzhod-zahod potekajočih poljarkih lovrenško-selniškega tipa so vsaj v prvih dveh fazah zelo verjetno nastali ogljikovodiki na območju Murske depresije (Hasenhüttl et al., 2001), kasneje pa v mlajših prečnih bazenih t.i. tektonskih poljarkov pri lateralnem ekstenzijskem razpadu Avstroalpina. Vse te strukture so mlajše od krovne zgradbe in predstavljajo stopničasto poglobljanje Panonskega bazena proti vzhodu, ki so ga prikazali Fodor et al. (1998 in 2002, v tisku). Mlajši je tudi Labotski prelom ob katerem se je Pohorski blok škarjasto premaknil; na NW strani se je ugreznil, na SE strani pa dvignil. Čeprav sta ob njem Pohorje in Kobansko zamaknjena in odrezana od Karavank pa so konec krede in v začetku terciarja v tektonskem smislu prešli skupno zgodovino. Odrezani zahodni del Pohorja se nahaja severozahodno od Slovenj Gradca. Dogajanja, ki so povzročila transpresivne reakcije na zahodni strani tega preloma na

območju Pece (Placer, 1996), niso vplivala na njegovo vzhodno stran.

O starosti narivanja

Zaradi dolgotrajnega alpskega narivanja so se starejše mineralne parageneze počasi, vendar močno pomladile in se, še posebno v bližini narivnih con, niso mogle ohraniti. O natančnejšem časovnem intervalu bi težko govorili brez ustreznih analiz. Jasno je le, da gre za vsaj dva močnejša zaporedna impulza, ki sta milonitizirala kamnine zgornjega dela gnajnsne formacije, predvsem pa dele filitne formacije ter na stiku v tektonsko moko zdrobila karbonate.

Na Štalenskogorsko formacijo so diskordantno odloženi permotriasni sedimenti. Skupaj so narinjani na predhodno metamorfizirane kamnine gnajnsne formacije, kar se je lahko zgodilo le po začetku akrecijskih procesov. Štalenskogorsko formacijo sekajo tudi številni dajki dacita, kar pomeni, da je bila le-ta narinjena pred njegovim vtiskanjem.

Druga faza je zagotovo mlajša od zgornjega triasa. O tem nam pričajo ostanki narinjenih krp zgornjetriasnih karbonatov na Pohorju pri Polani, v okolici Zreč, nekoliko nejasno tudi vzhodno od Ribnice na Pohorju, pri Sv. Duhu na Kobanskem in zahodno od Kozjaka nad Mariborom, vidni na OGK, lista Slovenj Gradec ter Maribor in Leibnitz (Mioč & Žnidarčič, 1976 in Žnidarčič & Mioč, 1988). Na enak način se pojavljajo zahodno od Labotskega preloma (Mioč et al., 1983, Trajanova, 1994, neobjavljeno poročilo, arhiv GeoZS).

Prvi informativni radiometrični podatki, dobljeni na vzorcih iz višjih nivojev gnajnsne formacije na Kobanskem, kažejo na kredno starost. V milonitiziranem blestniku je bila po metodi K/Ar na biotitu in muskovitu določena starost 96 Ma (Fodor et al. 2002, v tisku). Začetki so vsekakor povezani s podiranjem Evropske pod Afriško ploščo ter z nadaljnjim luskanjem pokrovov pri kredni koliziji kontinentov. Willingshofer in sodelavci (1999b) obravnavajo to dogajanje kot kolizijo Avstro-Alpina in zgornje Juvavic – Silice plošče pred ca 100 Ma.

V primeru Pekrske gorce bi bilo narivanje aktivno še konec oligocena in v začetku miocena, saj je verjetno, da je do premestitve

prišlo pred ohladitvijo plutona. Tezi bi odgovarjale ugotovitve Roureja (1998), ki govori o krednem do paleogenskem podirvanju in konvergenci kontinentov ter o stiskanju in deformiranju odebeljenih delov skorje na območju Alp vse do neogena. Poleg tega je planarna tekstura vtisnjena tudi v pohorski pluton, katerega starost je po dosedanjih analizah med 18 in 16 milj. let (Dolenec, 1994 in Marton et al., 2002, v tisku). Narivanje je zato moralo biti aktivno v paleogenu, verjetno pa še v začetku neogena. Nadaljnje deformacije so povezane s prvo fazo desnega iztiskanja ALCAPA bloka pred 24-18,5 Ma (Fodor et al., 1998).

Interpretacija nastanka pohorsko-kobanske strukture

Nastopanje milonitov in filonitov na Pohorju in Kobanskem priča o obstoju velikih krovnih struktur v slovenskem delu Vzhodnih Alp, ki so nastale pri narivanju Afriške plošče na Evropsko v času kredne kontinentalne kolizije (pred okoli 100 Ma, Thöni, 1999). Proces se je začel z zapiranjem Tetide in s stiskanjem kamnin oceanskega dna. Pri konvergenci plošč so se te kamnine gubale, lateralno nekoliko mešale, odebelile in delno asimilirale v subdukcijski coni. Maksimalno globino podirvanja na posameznih delih Alp ocenjujejo celo na 70 km (Roure, 1998). Preostanek teh sedimentov se je ob zaprtju bazena narival na površini, skupaj z Afriškim akrecijskim klinom. Paleogeografski in geodinamični razvoj zapiranja Tetide in za tem Peninskega oceana sta detaljno prikazala Faupl in Wagreich (2000).

Pri koliziji obeh kontinentov so se kamnine Afriške plošče pričele luskati na Evropsko ploščo. Mednje so bile v največjih globinah vkleščene kamnine oceanske skorje in

v fleksurah odtrgani deli zgornjega plašča. Predstavljajo jih leče bazičnih in ultrabazičnih metamorfitev (eklogitov, peridotitov in serpentinitov) (sl.3 in 4). Hinterlechner-Ravnikova in sodelavci (1991a,b) pripisujejo prve izvorno fragmentiranim bazaltom oceanskega dna, druge pa plastnatemu gabru. Skupaj so doživele hiter tektonski dvig v območje zgornje skorje. Med pokrovi so se delno premešale z matičnim materialom Afriške kontinentalne plošče. Melanž je bil skupno metamorfoziran v PT pogojih granulitnega faciesa (Hinterlechner-Ravnik et al., 1991a,b). Ob nadaljnjem dviganju sledimo padanju metamorfne stopnje. Metamorfoza je potekala ob prisotnosti fluidne faze (vode), zato so nastale tipične retrogradne (dinamo)metamorfne pretvorbe od gnajsov, preko blestnikov, ki vsebujejo številne leče amfibolitiziranih eklogitov, do diaforitov in v narivni coni sami še milonitov in filonitov, ki jih Hinterlechner-Ravnik et al. (1991b) uvrščajo v epidot-amfibolitno fazo.

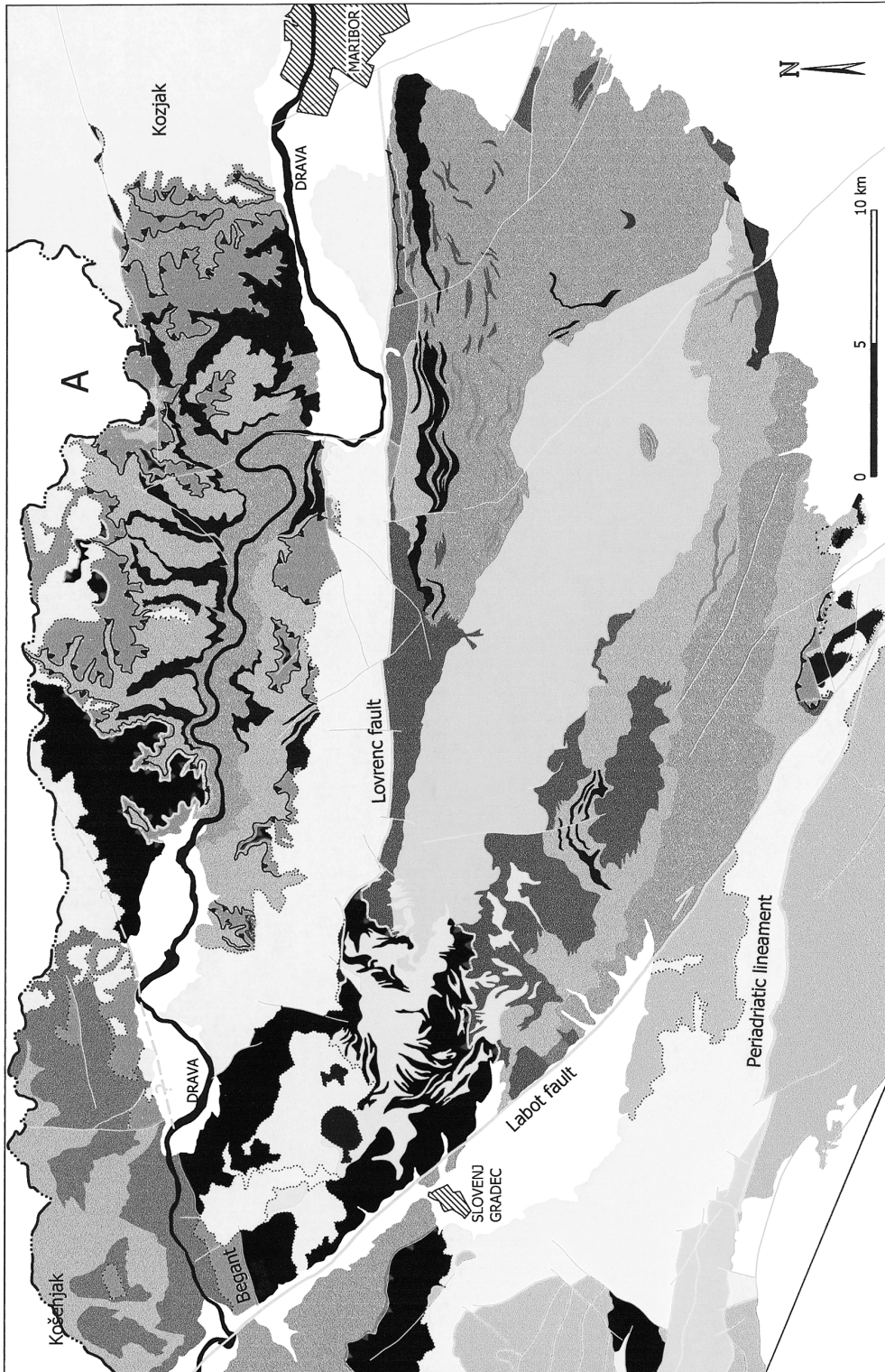
Pod nakopičeno skorjo afriškega akrecijskega klina (pokrovi Avstroalpina) se je v spodnji skorji delno nataljeval kamninski melanž in verjetno doprinesel del materiala pri formiranju pohorske gabrske in diferencirane granodioritne taline, katero je podrobno obdelala Zupančičeva (1994a, 1994b). Hitrejše vtiskanje plutona je nastopilo šele, ko je v zgornji kredi pričel razpadati odebeljen in naluskan Avstroalpin (Genser et al., 1996). Kot posledica so nastali vzhod-zahod potekajoči prelomi (npr. Lovrenški prelom, sl. 3). Hkrati je bilo pred ca 90 Ma inicirano hitro razkrivanje na celotnem območju Vzhodnih Alp, ki ga povdarjajo različni avtorji (napr. Thöni, 1999). Z dviganjem plutona se je kupolasto izbočil pohorski masiv, kar je povzročilo izrivanje visoko metamorfoziranega melanža v njegov osrednji del (sl. 3 in 4). Nastala je jedrna

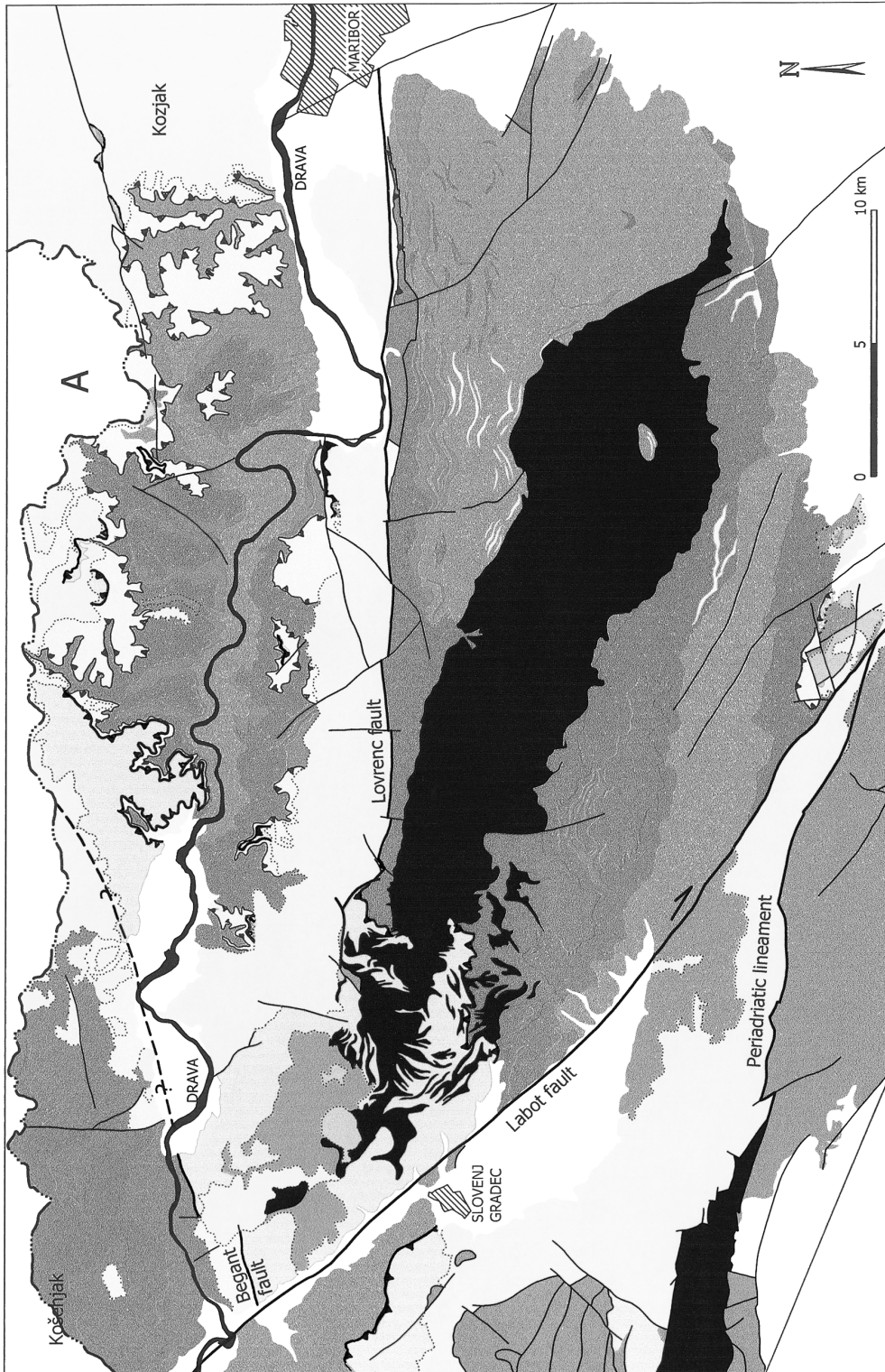
Sl. 3. Geološka karta Pohorja in Kobanskega z glavnimi tektonskimi in metamorfnimi enotami (prirejena po Mioč & Žnidarčič, 1976 in Žnidarčič & Mioč, 1988). Za razlago glej tekst. Legenda na sl.4.

Fig. 3. Geological map of the Pohorje and Kobansko area with main tectonic and metamorphic units (modified after Mioč & Žnidarčič, 1976 and Žnidarčič & Mioč, 1988). See text for explanation. Legend in fig. 4.

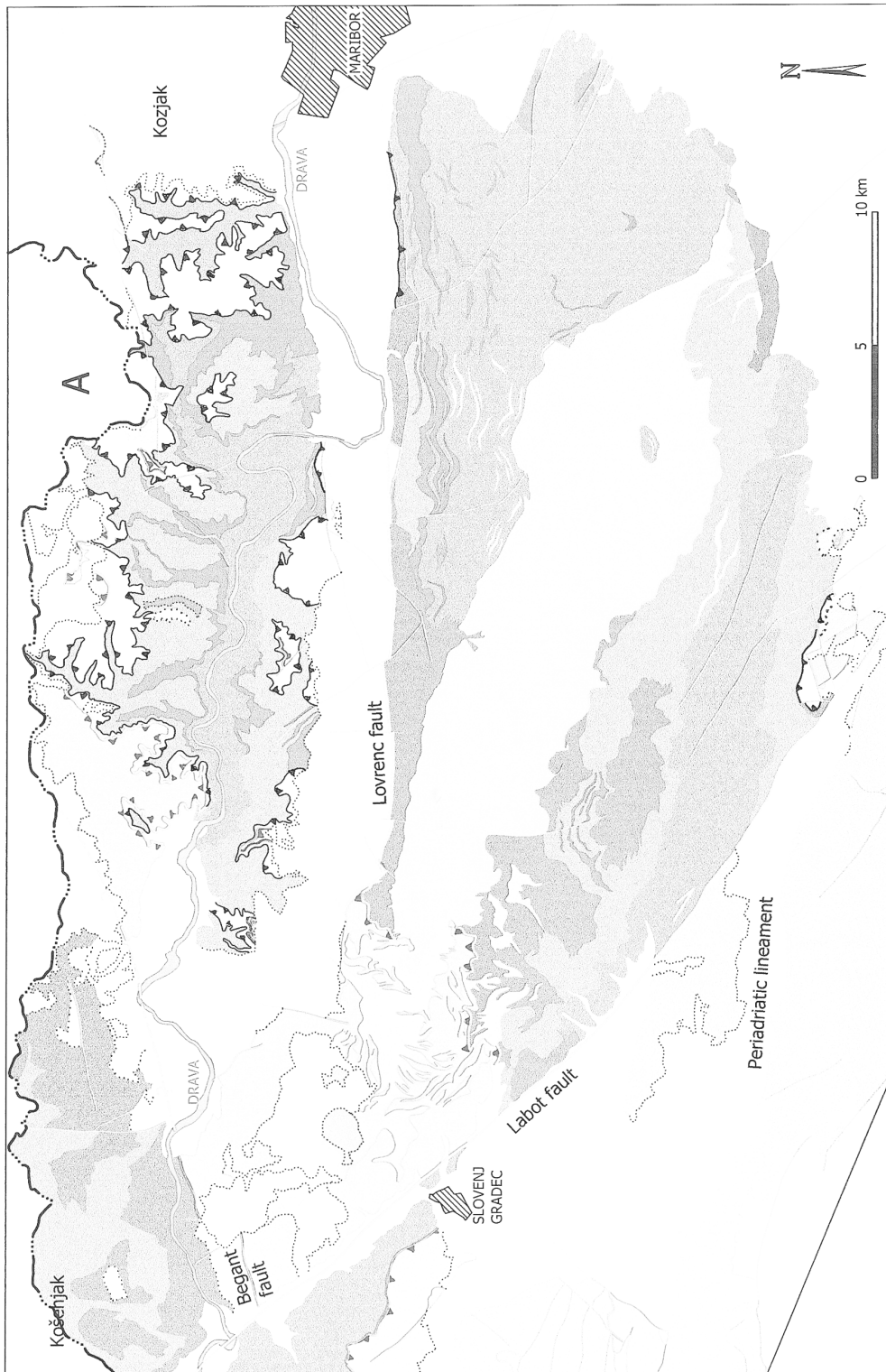
Sl. 4. Sintetični profil čez Pohorje in Kobansko v smeri S-N.

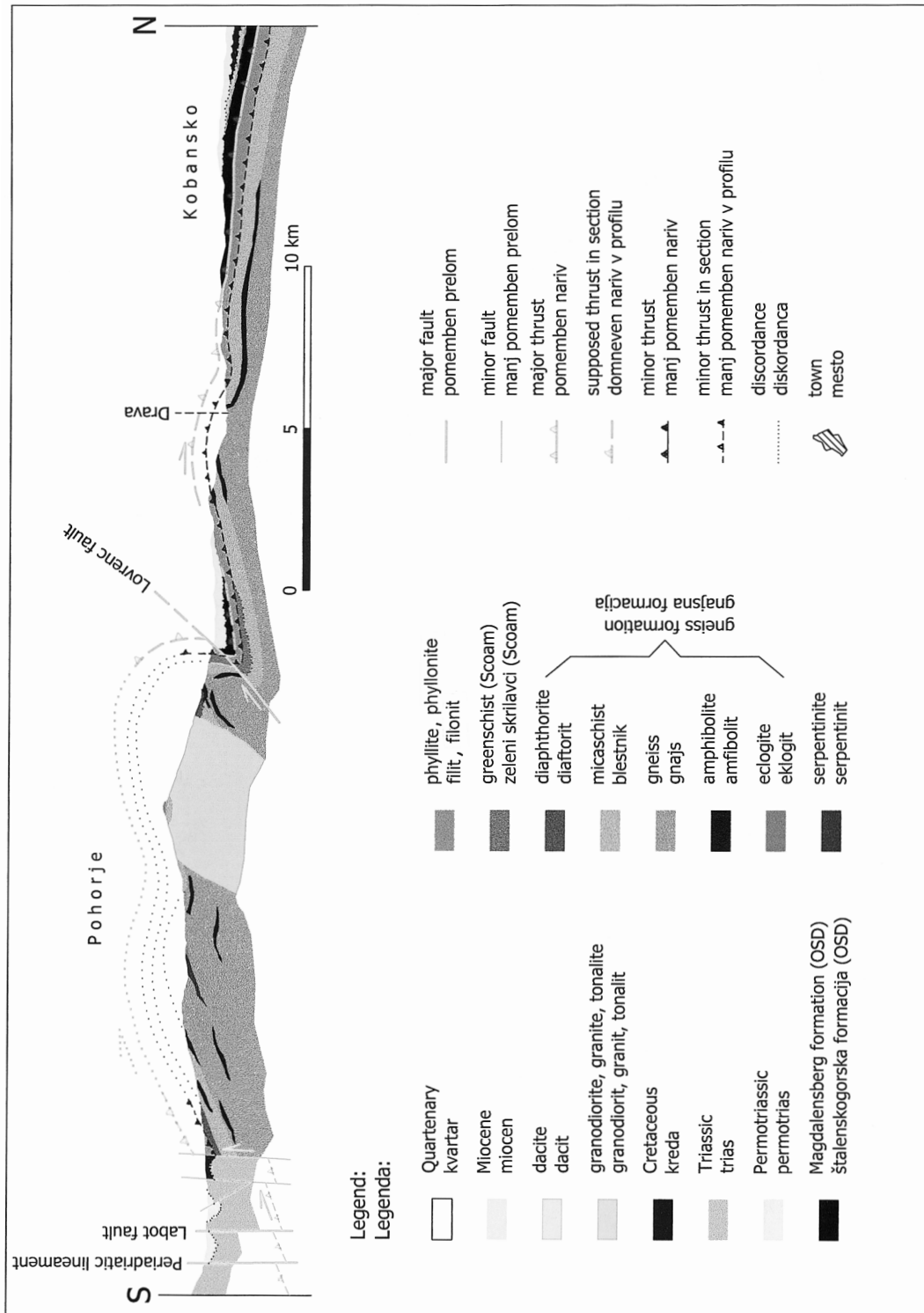
Fig. 4. Synthetic cross-section across Pohorje and Kobansko area in the S-N direction.

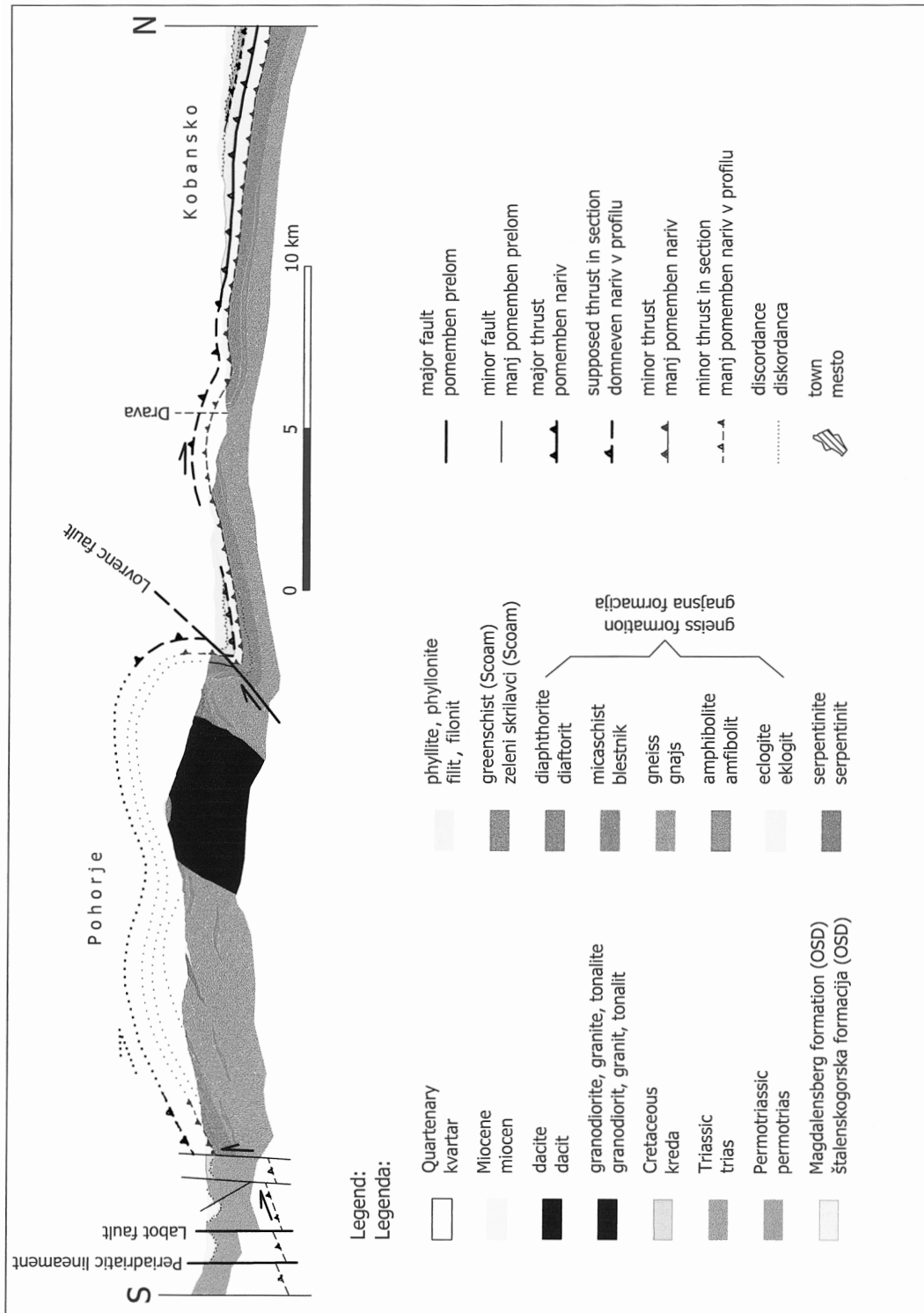


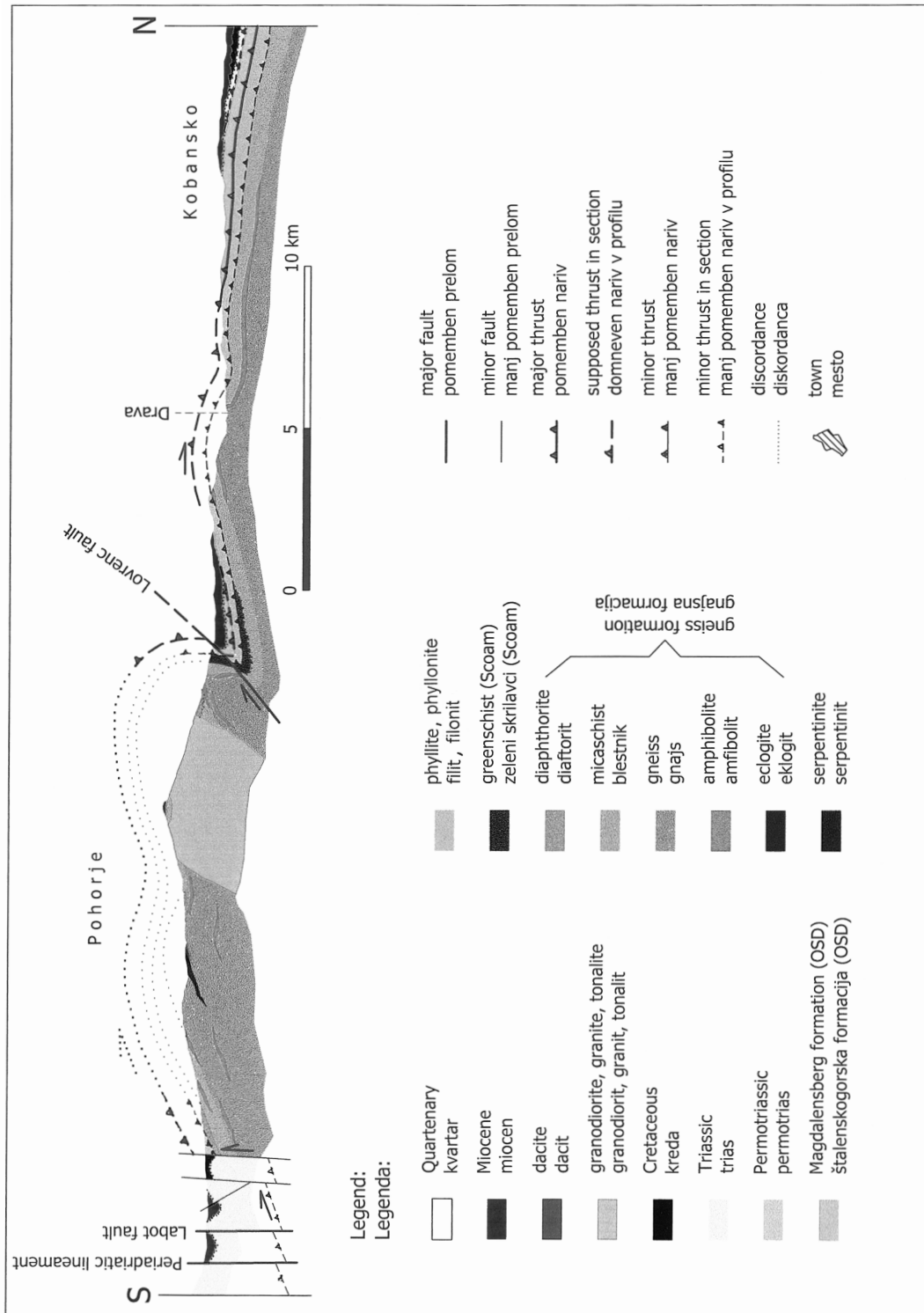


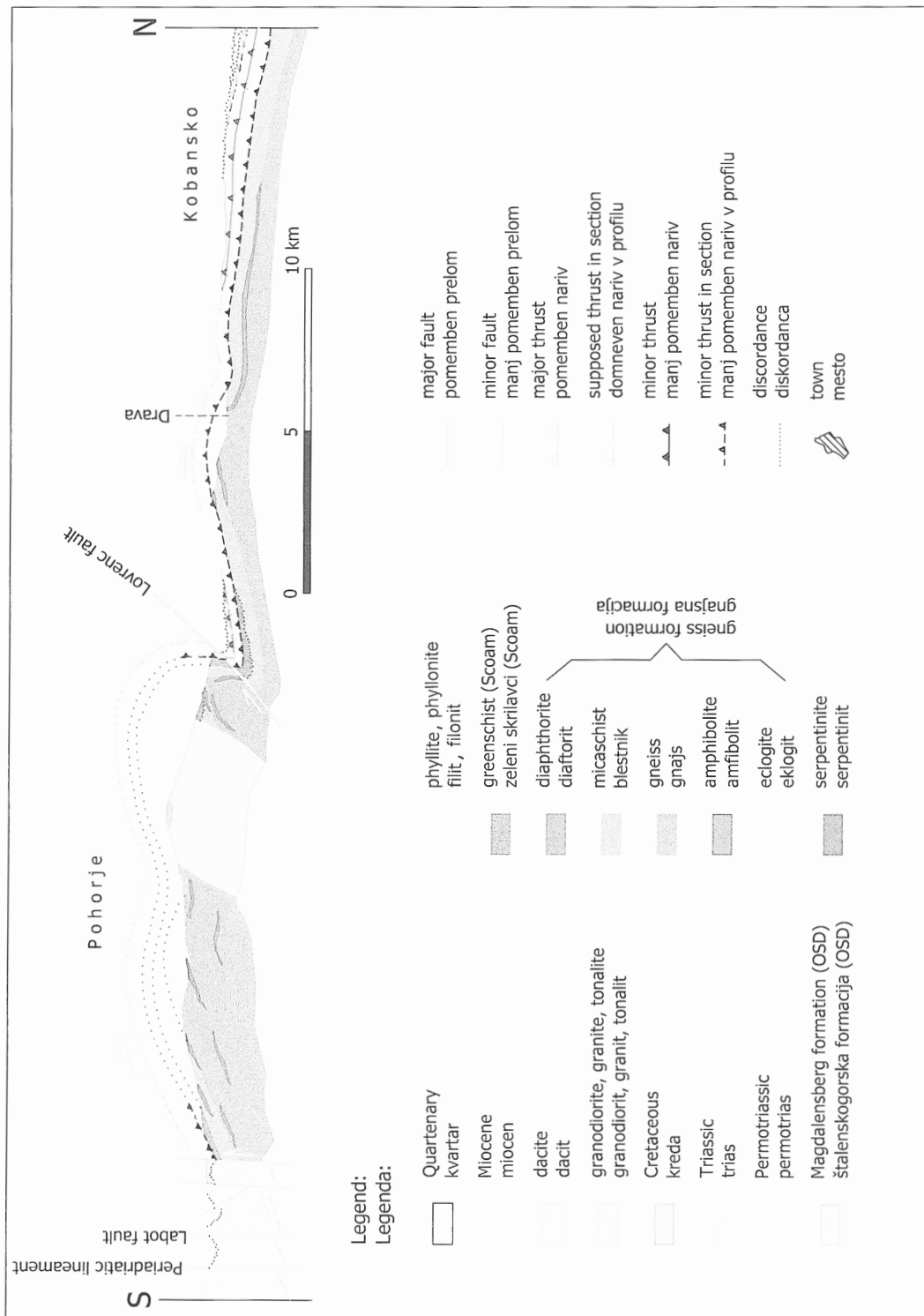












struktura. Take strukture se severno od Periadriatskega lineamenta pojavljajo tudi v Avstriji (Muriden kompleks) in jih opisujejo razni avtorji (npr. Neubauer & Frisch, 1993). Pri sever – jug usmerjenih napetostih je izbočenje zaviralo normalen potek še vedno aktivnega narivanja. Tektonska erozija je zato rezala vse globlje dele metamorfne podlage. Zaradi naraščajoče napetosti se je vzdolž severnega roba pohorskega hrpta reaktiviral Lovrenški prelom in zaživel kot reverzni prelom. Za njim je nastal Lovrenško-selniški poljarek (sl.3 in 4) v katerem se je v srednjem miocenu začela sedimentacija bazalnega konglomerata. V njem zasledimo prodnike granodiorita in gosavske krede. Radgonska depresija (Hasenhüttl et al. 2001, sl.1) bi lahko pomenila njegovo pogreznjeno nadaljevanje proti vzhodu.

Narivanje je prav tako prizadelo granodioritni pluton. Vpliv je viden po jasno izraženi planarni teksturi, degradacijski rekristalizaciji kremenca, krhki deformaciji plagioklaza in začetni zeolitizaciji mafičnih ksenolitov. Verjetno jih je povzročilo narivanje karbonatnega pokrova na paleozojske klastične kamnine, ki so se pri tem šibko metamorfozirale. Izdanek granodiorita na Pekrski gorci pri Mariboru verjetno pripada odrezanemu bloku s Pohorja.

Krovnemu narivanju bi lahko pripisali tudi povečan toplotni tok na območju Pohorja, Mariborsko-Radgonskem področju in vzdolž antiklinale Boča v začetku miocena, za kar so Sachsenhofer in sod. (2001) domnevali, da bi bil lahko vzrok hitro dviganje vroče podlage. Razlagi bi ustrezal model Willingshofer-ja in sod. (1999b, sl. 5i), kjer je na prehodu v terciar pred približno 65 Ma viden močan dvig izoterm predvsem v enotah spodnjega in zgornjega Avstroalpina. To je stanje intenzivnega krovnega narivanja, ki se je, po podatkih nekaterih avtorjev (Zimmermann et al., 1994, Roure 1998, Neubauer et al., 2000), z različno intenzivnostjo nadaljevalo še skozi ves paleogen. Poleg tega so maksimalne temperature metamorfoze zaostajale za maksimalno dinamometamorfozo in so bile dosežene šele kasno do post-kinematično v času razkrivanja (Thöni, 1999). Isti avtor navaja, da naj bi interval zadnjega ogrevanja trajal med 35 do 25 Ma, prej v višjih tektonskih enotah in kasneje v nižjih. Fenomen o dvigu izoterm pod odebeljeno skorjo v območju

formiranja akrecijskega klina obravnava v širšem in bolj splošnem smislu Roure (1998).

Ob Labotskem prelomu sta zamaknjena in odrezana Pohorje in Kobansko od Strojne in Karavank, vendar pa so konec krede in v začetku terciarja v tektonskem smislu prešli skupno zgodovino. Transpresivne reakcije na zahodni strani tega preloma (Placer, 1996), niso imele vpliva na njegovo vzhodno stran.

Prikazano območje so Mioč s sodelavci (1976, 1978) in Žnidarčič s sodelavci (1988, 1989) delili na naslednje tektonske enote: Pohorski horstantiklinorij ter Strojniški, Dravograjski in Remšniški nariv. Pri interpretaciji s krovnim narivanjem se mi delitev na Pohorsko in Kobansko serijo, kot ju obravnavata Mioč in Žnidarčič s sodelavci v tolmačih in na listih Slovenj Gradec ter Maribor in Leibnitz, ne zdi smiselna. Poimenovanje posameznih krovnih (narivnih) enot bi povsem zadostovalo, hkrati pa ne bi dobili vtisa, da gre za dve različni formaciji, temveč za razluskan kamninski melanž v smislu Hinterlechner-Ravnikove in sodelavcev (1991a,b) na katerega so narinjene kamnine Štalensko-gorske formacije in triasnih karbonatov.

Zahvala

Za kritični pregled članka se zahvaljujem dr. Ladislavu Placerju. Zahvalo dolgujem tudi prof dr. Simonu Pircu za pomoč pri angleškem prevodu in MSZŠ-ju, ki je financiralo te raziskave v preteklih letih. Za izdelavo grafičnih prilog se zahvaljujem Jožetu Štihi.

Significance of mylonites and phyllonites in the Pohorje and Kobansko area

Introduction

The present structure of the Alps was formed mainly during the Cretaceous and Tertiary Alpine metamorphism and accompanying deformations, which Neubauer et al. (2000) ascribe to two phases of independent collisions. In the Cretaceous the Avroalpine units *sensu lato* were formed, but in the Eocene-Oligocene oblique collision the Au-

strolpine rocks, together with the rocks of the Adriatic microplate, were thrust upon the European plate.

The paper comprises the results of the phyllite rocks investigations in the area of Pohorje and Kobansko (Fig.1) in the light of the African and European plates collision. The relations of these rocks to the underlying and overlying rocks as shown on the Basic Geologic Map 1:100 000, sheets Slovenj Gradec and Maribor, and Leibnitz (Žnidarčič & Mioč, 1988 and Mioč & Žnidarčič, 1976), have been diversely interpreted. Their contacts are shown as discordances on one hand and as thrusts on the other hand, although identical phyllites occur on schists of the Pohorje or of the Kobansko Formation. The relatively quick vertical change of the metamorphic degree as observed cannot be explained simply by the progressive regional or contact metamorphism. Together with the tabular occurrence of the phyllites, which are on macro scale very similar to the mylonites and phyllonites, these observations were the reason for investigation of the possible agents that might have caused them.

The time of nappe thrusting

Due to the Alpine nappe thrusting the former mineral parageneses were slowly, but strongly rejuvenated, and could not remain preserved especially near the thrust zones. It is difficult to discuss more precisely the time interval of thrusting without appropriate analyses. It is clear only that there were two stronger successive impulses, which led to mylonitization of the rocks of the upper part of the gneiss formation, particularly the parts of the phyllite formation and to crushing, grinding of carbonate rocks into tectonic gouge.

The Permo-Triassic sedimentary rocks are discordantly deposited on the Štalensko-gorska (Magdalensberg) Formation. They were overthrust together upon the previously metamorphosed rocks of the gneiss formation what could happen only after the initiation of the accretionary process. Numerous dacite dykes intrude the Štalensko-gorska Formation indicating that it was overthrust before their emplacement.

The second phase is obviously younger than the Upper Triassic. The fact is proven

by the relics of the thrust Upper Triassic carbonate beds on the Pohorje and Kobansko rocks, as seen on the Basic geologic map, sheets Slovenj Gradec and Maribor and Leibnitz (Mioč & Žnidarčič, 1976 and Žnidarčič & Mioč, 1988). They occur similarly on the western side of the Labot fault (Mioč et al., 1983, Trajanova, 1992, 1997).

First informative radiometric dating of the samples from the upper parts of the gneiss formation indicated the Cretaceous age. The K/Ar age of the biotite in the mylonitized mica schist from the Kobansko area is 96 Ma (Fodor et al. 2002, in press). The initial events are indubitably connected with the subduction of the European plate under the African plate and to the subsequent thrust faulting of the nappes during the Cretaceous continent-continent collision. Wilinghofer et al. (1999b) consider them as the collision of the Austro-Alpine and the upper Juvavic – Silice plate at about 100 Ma.

In the case of the Pekrska gorca granodiorite near Maribor the thrusting should have been active still at the end of Oligocene / beginning of Miocene. It is probable that this part has been displaced before the total solidification of the pluton. The assumption is in agreement with the statements of Roure (1998) who evidenced the Cretaceous to Paleogene subduction and convergence of the continents. He reported also further compression and deformation of the thickened parts of the crust in the area of the Alps up to the Neogene. Besides, also the planar structure was impressed into the Pohorje pluton the age of which, according to the previous datings, is between 18 and 16 Ma (Dolenec, 1994, and Marton et al., 2002, in press). Therefore the thrusting should have been active in the Paleogene, and probably still at the beginning of Neogene. Further deformations are connected with the first phase of the dextral lateral extrusion of the ALCAPA block at 24-18,5 Ma (Fodor et al., 1998).

Interpretation of the Pohorje-Kobansko structure

The occurrences of mylonites and phyllonites in the Pohorje and Kobansko area evidence the existence of big nappe thrusts in

the Slovenian part of the Eastern Alps that originate in the Cretaceous continent-continent collision of the European and African plates (about 100 Ma ago, Thöni, 1999). The process was initiated by the closure of the Tethyan Ocean and with compression of its sediments. With the plate convergence the rocks were folded, laterally mixed, thickened and partly assimilated into the subduction zone. The maximum depth of subduction of the single parts of the Alps is estimated even at up to 70 km (Roure, 1998). At the closure of the basin the remainder has been thrust at the surface together with the African accretionary wedge. Paleogeographic and geodynamic evolution of the closure of the Tethyan and after that Penninic Oceans is shown in more detail by Faupl and Wägrich (2000).

At the collision of both continents the thrust faulting of the rocks of the African plate on the European plate started. The rocks of the oceanic crust and parts of the upper mantle detached at the flexures were stacked in the deepest parts between them. They are represented by lenses of the basic and ultrabasic metamorphites (eclogites, peridotites and serpentinites) (Fig. 3 and 4). Hinterlechner-Ravnik et al. (1991a,b) ascribe the origin of the first ones to the originally fragmented basalts of the oceanic bottom, and the latter to the layered gabbro. They were together fast tectonically uplifted into the upper crust. Between the nappes they were partly mixed with the parent rock material of the African continental plate. This melange was in common metamorphosed at the granulite facies PT conditions (Hinterlechner-Ravnik et al., 1991a,b). During the subsequent uplift the decreasing of the metamorphic grade can be observed. Metamorphism took place in the presence of the fluid phase (water). Therefore typical retrograde (dynamo)metamorphic changes occurred, from gneisses across micaschists containing numerous lenses of amphibolitized eclogites to diaphthorites, and in the thrust zone itself to mylonites and phyllo-nites attributed by Hinterlechner-Ravnik et al. (1991b) to the epidote-amphibolite phase.

Below the accumulated crust of the African accretionary wedge (the Austroalpine nappes) the rock melange in the lower crust

underwent partial melting. It probably contributed to the Pohorje gabbro and differentiated granodiorite melt formation, both of which were studied in detail by Zupančič (1994a, 1994b). The more rapid pluton ascend occurred only when the thickened and thrust-faulted Austroalpine started to disintegrate (Genser et al., 1996). As a consequence E-W trending faults formed (e.g. the Lovrenc fault, Fig. 3). Simultaneously, rapid exhumation in the whole area of the Eastern Alps was initiated about 90 Ma ago, as emphasized by several authors (e.g. Thöni, 1999). The emplacing pluton domed upward the Pohorje massif and caused the extrusion of the highly metamorphosed melange into its central part, thus forming its core structure (Fig. 3 and 4). Such structures tend to occur north of the Periadriatic lineament also in Austria (Muriden complex), as described by several authors (e.g. Neubauer & Frisch, 1993). At the northward directed stress this dome structure obstructed the normal course of the still active thrusting. Therefore the tectonic erosion cut into deeper and deeper parts of the metamorphic basement. Due to the increasing stress the Lovrenc fault was reactivated along the northern margin of the Pohorje ridge acting as a reverse fault. Behind it the Lovrenc-Selnica half-graben formed (Fig. 3 and 4) in which sedimentation of the basal conglomerate in the Middle Miocene was started. The rock contains frequent pebbles of granodiorite and of Gosau Cretaceous. The Radgona depression (Hasenhüttl et al. 2001, sl.1) could represent the submerged prolongation of the half-graben toward the east.

Thrusting affected the granodiorite pluton as well. Its influence is expressed by the clear planar structure, degradational recrystallization of quartz, brittle deformation of plagioclase and initial zeolitization of the mafic xenoliths. These changes were probably caused by thrusting of the carbonate nappe on the Palaeozoic clastic rocks which became slightly metamorphosed. The granodiorite exposure at the Pekrska Gorca near Maribor probably belongs to a block detached from the Pohorje.

The increased heat flow in the areas of Pohorje, Maribor-Radgona and along the Boč anticline at the beginning of Miocene could

also be attributed to the nappe thrusting. Sachsenhofer et al. (2001) presume that its cause could be the rapid uplift of the hot basement. Our explanation would correspond with the model of Willingshofer et al. (1999b, Fig. 5i) who report a strong rise of isotherms particularly in the Lower and Upper Austroalpine units at the transition to Tertiary about 65 Ma ago. This is the process of an intensive nappe thrusting that, according to some authors (Zimmermann et al., 1994, Roure 1998, Neubauer et al., 2000), continued with differing intensity still during the whole Paleogene. Besides, the maximum temperatures of the metamorphosis lagged behind the maximum dynamometamorphism, and were attained only during the late to post-kinematic phase at the time of exhumation (Thöni, 1999). The same author also suggested the interval of the last heating to last between 35 to 25 Ma, earlier in the higher tectonic units and later in the lower ones. The phenomenon of the rise of isotherms under the thickened crust in the area of the accretionary wedge formation was also discussed in a broader and more general sense by Roure (1998).

Along the Labot fault the Pohorje and Kobansko areas were separated from Strojna and Karavanke and displaced, but in the tectonic sense they passed a common history in the Upper Cretaceous and at the beginning of Tertiary. The transpressive reactions at the western side of the fault (Placer, 1996) had no influence to its eastern side.

Mioč and Žnidarčič (1976, 1978) and Žnidarčič and Mioč (1988, 1989) subdivided the area considered in paper into the following tectonic units: the Pohorje horst-anticlinorium and the Strojna, Dravograd and the Remšnik thrusts. At interpreting the nappe thrusting, the subdivision into Pohorje and Kobansko series, as suggested by Mioč and Žnidarčič in the explanatory notes and sheets Slovenj Gradec and Maribor and Leibnitz, does not seem reasonable to this author. The naming of particular nappe units suffices, however without giving the impression of existence of two different formations, but simply of a single thrust faulted rock melange in the sense of Hinterlechner-Ravnik et al. (1991a,b) with rocks of the Štalensko-gorska Formation and Triassic carbonate beds are overthrust on it.

Acknowledgements

I would like to thank Dr. Ladislav Placer for critical review of the paper. I owe my gratitude also to Prof Dr. Simon Pirc for his help with the English translation and to MSZŠ for financing these investigations in the past years. Thanks also to Mr. Jože Stih for elaboration of the graphics.

Literatura

- Barker, A. J., 1990: Introduction to Metamorphic textures and microstructures. Blackie & Son Ltd., pp 170, New York.
- Brezigar, A. & Trajanova, M., 1995: Karotazne krivulje v metamorfnih kamninah pri Mariboru. – *Geologija*, 37, 459-481, Ljubljana.
- Dolenec, T., 1994: Novi izotopski in radiometrični podatki o pohorskih magmatskih kamninah. *RMZ*, 41, 147-152, Ljubljana.
- Faupl, P. & Wagneich, M., 2000: Late Jurassic to Eocene Paleogeography and Geodynamic Evolution of the Eastern Alps. – *Mitt. Österr. Geol. Ges.*, 79-94, Wien.
- Fodor, L., Jelen, B., Márton, E., Skaberne, D., Čar, J. & Vrabec, M., 1998: Miocene-Pliocene tectonic evolution of the Slovenian Periadriatic fault: Implications for the Alpine-Carpathian extrusion models. – *Tectonics* Vol. 17, No. 5, 690-709, Amer. Geoph. Union.
- Fodor, L., Jelen, B., Márton, E., Zupančič, N., Trajanova, M., Rifelj, H., Pécskay, Z., Balogh, K., Koroknai, B., Dunkl, I., Horváth, P., Horvat, A., Vrabec, M., Kraljić, M. & Kevrić, R., 2002 (v tisku): Connection of Neogene basin formation, magmatism and cooling of metamorphics in NE Slovenia. Abstract, XII. congress of CBGA, Bratislava.
- Genser, J., van Vees, J. D., Cloetingh, S. & Neubauer, F., 1996: Eastern Alpine tectono-metamorphic evolution: Constraints from two-dimensional P-T-t modeling. – *Tectonics* Vol.15, No.2, 584-604, Am. Geoph. Union.
- Hasenhüttl, C., Kraljić, M., Sachsenhofer, R. F., Jelen, B. & Rieger, R., 2001: Source rocks and hydrocarbon generation in Slovenia (Mura Depression, Pannonian Basin). – *Marine and Petrol. Geol.* Vol. 18, No. 1, 115-132, Elsev. Sci. Ltd., Oxford.
- Hinterlechner-Ravnik, A. & Moine, B., 1977: Geochemical Characteristics of the Metamorphic Rocks of the Pohorje Mountains. – *Geologija* 20, 107-140, Ljubljana.
- Hinterlechner-Ravnik, A., Sassi, F. P. & Visona, D., 1991a: The Austridic eclogites, metabasites and metaultrabasites from the Pohorje area (Eastern Alps, Yugoslavia): 1. The eclogites and related rocks. – *Rend. Fis. Acc. Lincei* s.9, v.2, 175-190, Roma.
- Hinterlechner-Ravnik, A., Sassi, F.P. & Visona, D., 1991b: The Austridic eclogites, metabasites and metaultrabasites from the Pohorje area (Eastern Alps, Yugoslavia): 2. The metabasites and metaultrabasites, and concluding considerations. – *Rend. Fis. Acc. Lincei* s.9, v.2, 175-190, Roma.

- Marton, E., Zupančič, N., Pécskay, Z., Trajanova, M. & Jelen, B., 2002 (in press): Paleomagnetism and new K-Ar ages of the Pohorje igneous rocks. Abstract, XII. congress of CBGA, Bratislava.
- Mason, R., 1990: Petrology of the metamorphic rocks. 2nd Edit., Unwin Hydmán, 230 pp., London.
- Mioč, P. & Žnidarčič, M. 1976: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, list Slovenj Gradec. – Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Mioč, P. & Žnidarčič, M. 1978: Tolmač za list Slovenj Gradec. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. – Zvezni geološki zavod, 74 pp., Beograd.
- Mioč, P., Žnidarčič, M. & Jerše, Z., 1983: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, list Ravne na Koroskem. – Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Myashiro, A., 1973: Metamorphism and metamorphic belts. Allen & Unwin Ltd., pp 492, London.
- Neubauer, F., Genser, J. & Handler, R., 2000: The Eastern Alps: Result of a two-stage collision process. In: Neubauer, F. & Höck, V., 2000: Aspects of Geology in Austria. – Mitt. Öster. Geol. Gesellsch. 92, 117-134, Wien.
- Neubauer, F. & Frisch, W., 1993: The Austro-Alpine Metamorphic Basement East of the Tauern Window. – In: von Raumer, J.F. & Neubauer, F.: Pre-Mesozoic Geology in the Alps. Spr.-Verl., 515-536, Berlin, Heidelberg.
- Park, A.F., 1989: Cataclastic rocks. In: Bowes, D.R. (Ed.), 1989: The Encyclopedia of Igneous and Metamorphic Rocks. Van Nostrand Reinhold, 91-95, New York
- Passchier, C.W. & Trouw, R.A.J., 2000: Microtectonics. CD, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Placer, L., 1996: Pecin nariv ob Periadriatskem lineamentu. – Geologija 39, 289-302, Ljubljana.
- Raymond, L. A., 1995: Petrology. Part IV – Metamorphic rocks. WCB Publ., 471-742, Dubuque.
- Sachsenhofer, R. F., Jelen, B., Hasenhüttl, C., Dunkl, I. & Rainer, T., 2001: Thermal history of Tertiary basins in Slovenia (Alpine-Dinaride-Pannonian junction). – Tectonophysics Vol. 334, No. 2, 77-99, Elsev. Sci.B.V., Amsterdam.
- Roure, F., 1998: Subduction of the Lithosphere and Crustal Balance in Orogenic Belts. – Sedimentary Basins – Models and Constraints. Proceedings of the Internat. School Earth and Planet. Sci., 175-192, Siena.
- Schmid, S. M. & Handy, M. R., 1991: Toward a Genetic Classification of Fault Rocks: Geological Usage and Tectonophysical Implications. Acad. Press Ltd.
- Snoke, A.W. & Tullis, J., 1998: An overview of fault rocks. In: Snoke, A.W., Tullis, J. & Todd, V.R., 1998: Fault related rocks. Princeton Univ., 3-18, New Jersey.
- Thöni, M., 1999: A review of geochronological data from the Eastern Alps. – Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 79, 209-230.
- Trajanova, M., 1994: Korelacija nizko in srednje metamorfni kamnin v slovenskem delu Vzhodnih Alp (Končno poročilo). Neobjavljeno poročilo Geol. Zav. Slov., Ljubljana.
- Trajanova, M. & Mladenovič, A., 2001: Durability Response of Metamorphic Rocks in Aggregate – Phyllitoid to Mylonite Comparison. – Aggregate 2001 – Environment and Economy Vol. 2, 325-330, Helsinki.
- Zupančič, N., 1994a: Petrografske značilnosti in klasifikacija pohorskih magmatskih kamnin. – RMZ 41, 101-112. Ljubljana.
- Zupančič, N., 1994b: Geokemične značilnosti in nastanek pohorskih magmatskih kamnin. – RMZ 41, 113-128. Ljubljana.
- Žnidarčič, M. & Mioč, P., 1988: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, list Maribor in Leibnitz. – Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Žnidarčič, M. & Mioč, P., 1989: Tolmač za list Maribor in Leibnitz. – Zvezni geološki zavod, 60 pp., Beograd.
- Willingshofer, E., Neubauer, P. & Cloetingh, S., 1999a: The significance of Gosau-type basins for the late Cretaceous tectonic history of the Alpine-Carpathian belt. – Tectonics, 18, No. 5, 687-695, Oxford.
- Willingshofer, E., van Vees, J. D. & Cloetingh, S. A. P. L., 1999b: Thermomechanical consequences of Cretaceous continent-continent collision in the eastern Alps (Austria): Insights from two-dimensional modeling. – Tectonics, 18, No. 5, 809-826, Oxford.
- Zimmermann, R., Hammerschmidt, K. & Franz, G., 1994: Eocene high pressure metamorphism in the Peninic units of the Tauern Window (Eastern Alps). Evidence from ⁴⁰Ar-³⁹Ar dating and petrological investigations. – Contrib. Mineral. Petrol. 117, 175-186.