

Strukture nižeg reda u naboru

O kinematici nabiranja veoma mnogo govore različite male strukture, koje se javljaju u naborima. One su isto tako značajne i za rekonstrukciju nabora.

Najvažnije od ovih „malih struktura“ su klivaž, međuslojni nabori, budinaž i različiti tipovi lineacije.

Klivaž

Kao što je već rečeno, razni autori pod terminom „klivaž“ obuhvataju različite pojave, tako da je ekstenzija sadržaja ovog pojma delimično i stvar konvencije. Ovde je usvojeno shvatanje sovjetskih autora, po kojem klivaž predstavlja sistem bliskih ruptura u slojevitim stenama, nastao u toku nabiranja. Širi pojam klivaža, koji obuhvata i sisteme bliskih kinematskih s-površina u bilo kakvim stenama nastale bilo kakvim uzrocima, obuhvaćen je ovde terminom „škriljavost“.

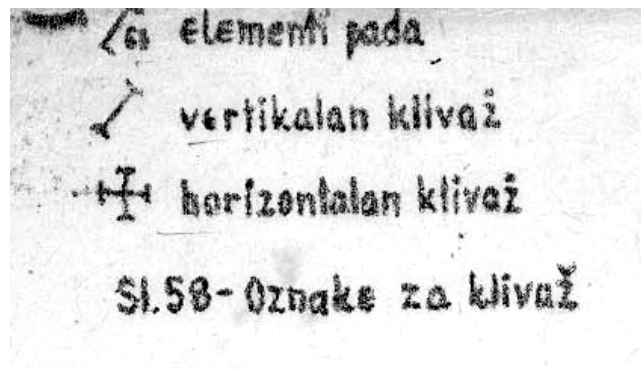
Fleksiono nabiranje pokazuje da pri nekim kinematskim aktima dolazi do smicanja //ss. Ovo nisu jedine vrste s-površina koje mogu biti mehanički aktivne, ili koje nastaju kao mehanički aktivne (tip egzogenih neafinih deformacija) u toku nabiranja. Pojavu različitih sistema mehanički aktivnih s-površina uslovljavaju različiti pritisci i naprezanja pri nabiranju, od kojih je najvažnija kompresija upravna na aksijalnu površinu i spreg koji fleksionim nabiranjem nastaje u svakom sloju.

Nastali sistemi ruptura mogu imati različita rastojanja između pojedinačnih s-površina. Ako su ta rastojanja velika, zovemo ih sistemima pukotina; ako su mala, nazivamo ih klivažom. Sve vrste klivaža, kao rupturni deformacioni oblici, nastaju u stenama u kojima je već izvršena konsolidacija u dovoljno visokom stepenu, tako da nemaju intergranularni plasticitet. Zbog toga se promene oblika stenske mase ne kompenzuju komponentalnim kretanjima po intergranularima, nego stena reaguje stvaranjem ruptura koje prolaze kroz celu stensku masu. U inkompetentnim stenama su, prema ovom tumačenju, oblikovanja savijanjem vezana za fazu postojanja intergranularne vode, koja služi kao „podmaz“ za kretanja zrna; kada tokom ovih oblikovanja voda bude zbog pritiska izdvojena, a nabori dostignu veliki indeks, stvaraju se s-površine čija prostorna orijentacija zavisi od rasporeda napona na steni, dakle od oblika i kinematike nabora; stvara se klivaž. Njime je stenska masa izdeljena na lamele ili mikrolitove.

Oznake i klasifikacija klivaža

Pri regionalnim ispitivanjima klivaž se meri i označava na karti samo ako je od važnosti za objašnjenje geneze nabora i kinematike područja. U detaljnim istraživanjima njegovo ispitivanje, merenje i grafičko prikazivanje - na kartama je obavezno. Oznake za klivaž na geološkim kartama prikazane su na sl.58.

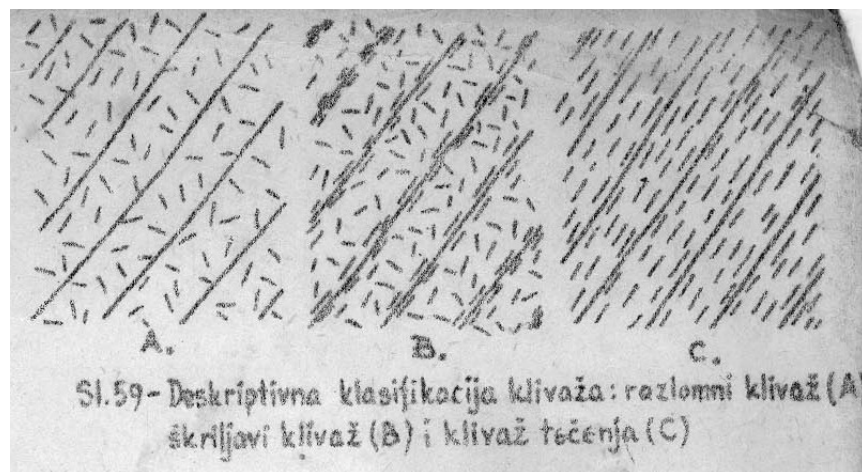
Klasifikacija klivaža je u raznim autorima različita i uvek vrlo komplikovana; ovo je većinom posledica činjenice da je klivaž najčešće opisivao i nazivan prema svom izgledu i pratećim fenomenima. To je dovelo do pojave niza naziva, često istih za različite ili različitih za iste pojave. O ovome se mnogo podataka može



naći u literaturi, naročito kod Wilson-a (1961.) zatim kod de Sitter-a (1956.), Billings-a (1955.), Ažgirej-a (1956.) i Turnera i Weiss-a (1963.).

Ovde su za klivaž usvojene dve klasifikacije: deskriptivna i geometrijska.

Deskriptivna klasifikacija kao osnovu uzima odnos između klivaža i položaja planarnih minerala u steni, nastalog rekristalizacijom stene a u prvim fazama i mehaničkim uređivanjem ljuspica i ploča paralelno klivažu. Razlikuju se:



- Frakturni (razlomni) klivaž. S-površine klivaža prolaze kroz stenu kao rupture koje imaju proizvoljan položaj u odnosu na planarne minerale stene (pre svega liskun). Nema mehaničkog uređivanja planarnih minerala u površinama klivaža, niti rekristalizacije. Francuski i nemački autori ga često nazivaju „lažnim klivažom“.

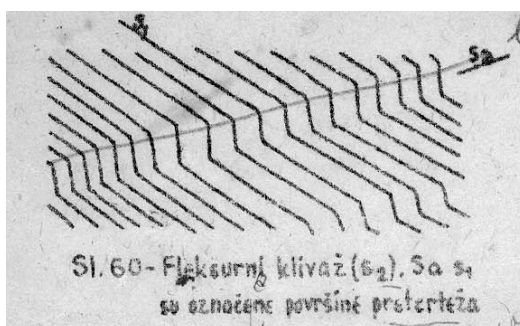
- Škriljavi klivaž. Po s-površinama klivaža su planarni mineralni sastojci stene uređeni paralelno klivažu (mehaničkim uređivanjem ili češće rekristalizacijom). U mikrolitonima, dalje od same površine klivaža, prvobitna građa stene je neporemećena.

- Klivaž tečenja („pravi klivaž“ u mnogih autora). Planarni minerali stene su uređeni paralelno površinama klivaža, ne samo uz granične površine mikrolitona, nego i u njihovoj unutrašnjosti. Razvijena je, u suštini,

foliacija paralelna klivažu i pod uglom na prvobitnu stratifikaciju. Ime „klivaž tečenja“ nije srećno izabrano, pošto ova pojava ne mora biti posledica samo plastičnog tečenja u steni; ovde je zadržano zbog svoje univerzalne rasprostranjenosti u literaturi.

Kod škrljavog (ponekad i frakturnog) klivaža često se makroskopski može ustanoviti smicanje po površinama klivaža. Takav klivaž se naziva klizni ili klivaž smicanja. Unutrašnja građa mikrolitona može pri tome ostati nepromenjena, ili postojeće s-površine unutar mikrolitona (na pr. ss koje su pod uglom na s-klivaža) mogu biti savijene i oblikovane u nabore (fleksioni klivaž smicanja). Nabori ss-površina ili s-površina starijih od s-klivaža unutar mikrolitona mogu biti stariji od klivaža ili mogu biti izazvani spregom sila vezanim za klivažna smicanja.

Poseban tip klivaža, koji je najčešće (ali ne uvek) vezan za kinematiku nabora, predstavlja fleksurni klivaž („fleksurno smicanje“ Dimitrijevića i Drakulića 1958). Kod ovog tipa klivaža nisu izražene rupture, nego su one zamenjene uglastim fleksurama mm- (ređe i cm-) razmera sa jasnom monoklinom simetrijom (sl.60). Presečne prave slojevitosti (ili foliacije) i-ravni po kojima je razvijen fleksurni klivaž najčešće su paralelne koordinatnoj osi b.



Klivaž smicanja, fleksioni klivaž smicanja i fleksurni klivaž ne predstavljaju kategorije izdvojene po kriterijima, navedenim ranije za deskriptivnu klasifikaciju. One su ipak navedene uz nju, pošto su (uz svoj kinematski snisao) ipak pretežno deskriptivne.

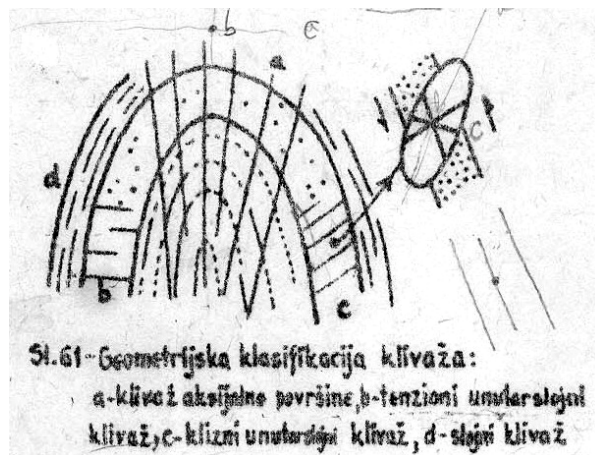
Geometrijska klasifikacija, kao osnovu uzima položaj površina klivaža u naboru. Razlikuje se (sl.61):

- Klivaž aksijalne površine. Statistički je paralelan aksijalnoj površini nabora, i ako u pojedinostima odstupa od tog položaja. To je najvažniji tip klivaža, te će o njemu docnije biti više reči.

- Klivaž upravan na osu nabora. Upravan je istovremeno i na aksijalnu površinu, i leži u ravni (ac). Razvijen je relativno retko.

- Unutarslojni frakturni klivaž. Javlja se u bancima kompetentnih stena, i može se podeliti na klizni i tenzioni. Češće je razvijen kao sistem pukotina nego kao tipski klivaž.

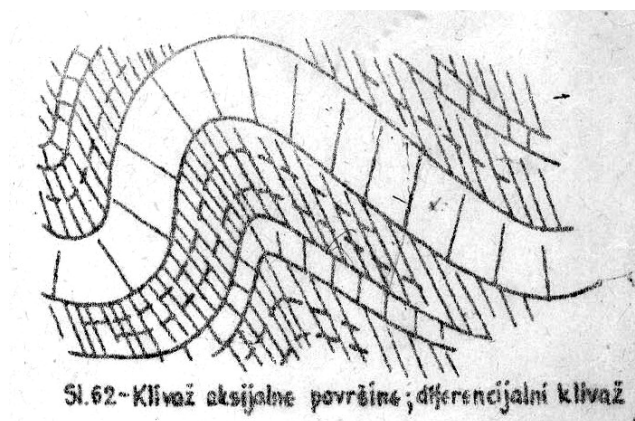
- Slojni klivaž. Paralelan je ss-površinama.



Faktori koji uslovljavaju pojavu klivaža

Pojava i intenzitet razvoja klivaža uslovljeni su različitim faktorima, od kojih su najvažniji sastav stene, intenzitet tektonskih deformacija i dubina u kojoj se deformacije događaju.

Tip stene je odlučujući i za pojavu klivaža i za intenzitet njegovog razvoja i za njegovu morfologiju. Po pravilu je klivaž intenzivniji što je stena inkompetentnija. U veoma inkompetentnim stenama (gline, ugalj) klivaž se razvija i uz relativno mala naprezanja, a odstupanje klivaža od normale na ss je najveće (odn. na ugao klivaža prema ss je najmanji). Komponentne stene dobijaju klivaž tek pri veoma intenzivnim napreznjima, rastojanje površina klivaža je veće, a ugao između ss i klivaža teži pravom. Zaog toga heterogene serije sa razvijenim klivažom pokazuju karakterističnu sliku: broj klivažnih površina na jedinicu površine preseka stene raste u inkompetentnim, a opada u kompetentnim stenama, a ugao između klivaža i ss se stalno menja kroz seriju (diferencijalni klivaž sl.62).



Intenzitet tektonskih deformacija po pravilu mora biti visok, da bi došlo do pojave klivaža (potrebni intenzitet je funkcija sastava stene). Zbog toga se klivaž najčešće javlja u stenama nabranim u nabore velikog indeksa. Ako je polje pritiska različito u jednoj oblasti, klivaž se javlja samo u područjima lokalnog povećanja pritiska.

Dubina, u kojoj se deformacije događaju, igra takođe veliku ulogu. Terenska osmatranja pokazuju da se klivaž ne javlja u pripovršinskim delovima terena, nego samo ispod određene dubine, odnosno iznad određenog hiddrostatičkog pritiska. U planini Juri je, na primer, izračunato da se klivaž javlja samo u stenama deformisanim uz hidrostatički pritisak (opterećenje stenama povlate) koji odgovara dubini većoj od 5-7 km.

Geneza klivaža

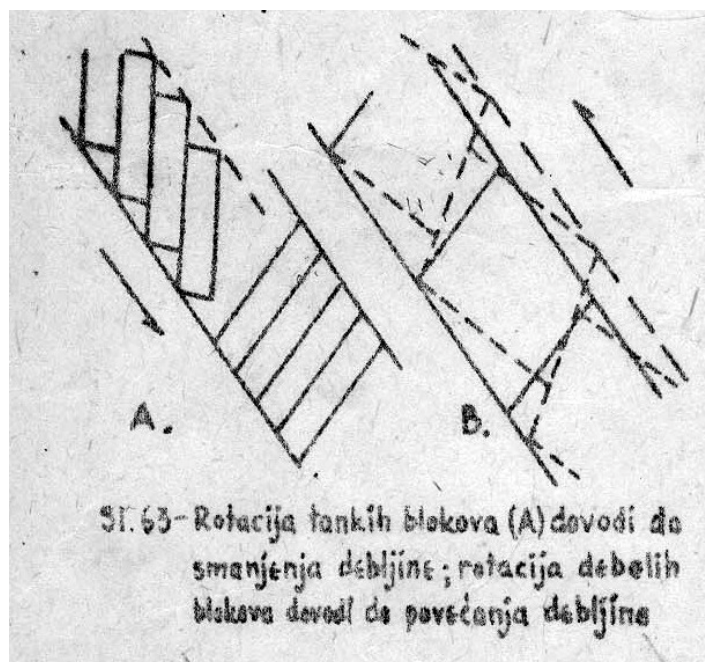
Najveći broj vrsta klivaža pripada snopu (h0l), što je od ogromnog značaja za korišćenje klivaža pri rekonstrukciji nabora. Unutar ovog snopa razne vrste klivaža imaju različit položaj te im je geneza u mnogome nejasna i sporna. Jasno je, svakako, da se geneza svih vrsta klivaža ne može svesti na jedan kinematski tip (spljoštenje po ab ili smicanje po spregnutim sistemima h0l), nego da razni klivaži postaju raznim kinematskim putevima.

Razmotrićemo prvo unutar-slojni i slojni klivaž.

Postanak ovih tipova klivaža najčešće se tumači već poznatim rupturnim sistemima, u polju tri različite ose stresa. U prvaj fazi oblikovanja, ss-površine su zakrivljene i stvoreni su fleksioni nabori uz koncentrično kliženje. Kada su naprezanja postala veća od jačine stena na kidanje pojavila su se dva konjugovana sistema ruptura - jedan I/SS , a drugi skoro upravan na nju.

Sistem I/SS je slojni klivaž, po kojem dalje dolazi do klizanja slojnih lamela. Ovaj sistem je vanredno značajan pri metamorfizmu - ako je slojni klivaž dobro izražen, tokom progresivnog metamorfizma minerala (liskuni, amfiboli itd.) rastu paralelno slojnom klivažu. Tako nastaje foliacija I/As . Drugi konjugovani sistem, koji je u početku skoro bio upravan na slojevitost, biva u toku daljeg oblikovanja rotiran spregom koji nastaje koncentričnim klizanjem po slojnim površinama. Ova rotacija ima zakonit smer - oštri uglovi između slojevitosti i klivaža pokazuju smer rotacije. Daljim deformacijama slojevi na taj način prividno smanjuju svoju debljinu, kao što pokazuje uprošćeni modelski prikaz na sl.63.

Rotacija uz smanjenje debljine moguća je samo ako su rastojanja među površinama klivaža malena u odnosu na debljinu sloja - ako su rastojanja velika, rotacija je onemogućena pošto bi zahtevala povećanje debljine sloja (nemoguće u uslovima lateralne kompresije). Zbog sprega nastalog koncentričnim kliženjem površine klivaža uz ss su često povijene u smeru kliženja. U debljim slojevima kompetentnih stena umesto površina smicanja javljaju se tenziona pukotine, koje mogu predstavljati jedan sistem ruptura, nalik na grubi klivaž.



Klivaž aksijalne površine, i ako može po položaju biti vrlo blizak teoretskom položaju rotiranih kliznih pukotina, teško se može kinematski objasniti na taj način. On najverovatnije predstavlja (ab) - rupture spljoštenja, po kojima stena trpi skraćenje u pravcu pritiska, i istezanje upravno na pritisak (dakle paralelno aksijalnoj površini). On nastaje u produženju nabiranja, pod dejstvom istih sila koje izazivaju stvaranje bora. U prvoj fazi slojevi se ubiraju do određenog intenziteta, kada dalje nabiranje biva onemogućeno gubljenjem vode u steni. Tada se paralelno aksijalnoj površini stvara sistem mehanički aktivnih s-površina, po kojima dolazi do smicanja upravno na smer sile - nastaje klivaž aksijalne površine. Ako je proces dalje praćen metamorfizmom može se razviti folijacija, koja je paralelna klivažu, aksijalne površine i seče ss-površine pod uglom. To je sada klivaž tečenja.

Rekonstrukcija nabora pomoću klivaža

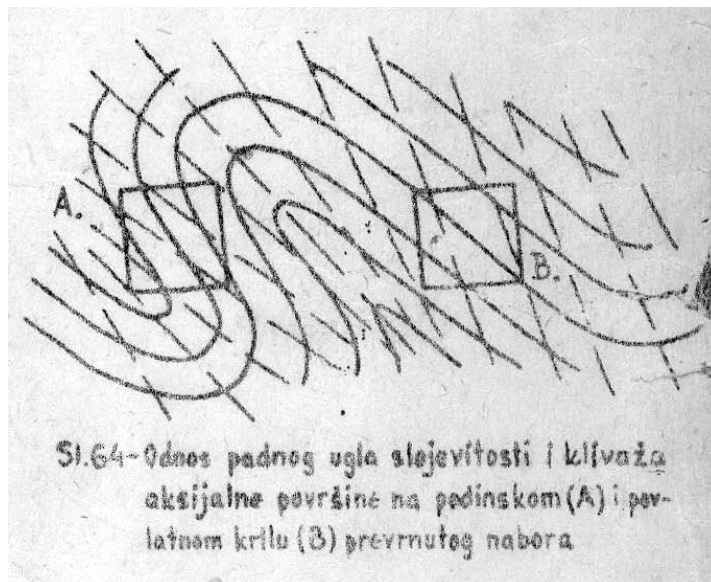
Za rekonstrukciju nabora najkorisnije može poslužiti klivaž aksijalne površine.

Iz prethodnih izlaganja jasne su sledeće zakonitosti.

- Klivaž aksijalne površine (kao i većina tipova klivaža) pripada zoni (h0l), te je paralelan sa osom nabora. Zbog toga je presečna prava površine klivaža i površine sloja na svakom izdanku unutar jednog nabora statistički paralelna osi nabora. To znači, da se jednostavnom konstrukcijom na Šmitovoj mreži za svaki izdanak (i kada je pad slojeva na njemu konstantan) može naći osa nabora, ukoliko postoji klivaž aksijalne površine. Ovako dobijene ose β beleže se na kartu posebnim znakom, da ne bi došlo do pogrešne interpretacije ukoliko klivaž ne pripada zoni (h0l).

Klivaž aksijalne površine, kao što mu samo ime kaže, paralelan je aksijalnoj površini. Ova pravilnost je samo statistička, jer ravni klivaža najčešće

konverguju prema jezgru nabora. Takav položaj klivaža omogućava grubo određivanje vergence na svakom izdanku, kao i rekonstrukciju položaja izdanka u okviru većeg nabora. Sa svakom međuslojnom površinom klivaž zaklapa na svakom mestu, osim u šarniru nabora, oštar ugao koji svojim vrhom pokazuje smer kliženja slojeva. To znači da u prevrnutom naboru sa horizontalnom osom slojevi i klivaž na oba krila padaju u istom smeru, ali im je padni ugao različit; na normalnom (povlatnom) krilu pad klivaža je strmiji od pada slojeva, a na invertnom (podinskom) krilu pad klivaža je blaži od pada slojeva (sl.64.). Kod kompetentnih slojeva je ova pravilnost izražena manje jasno, a kod inkompetentnih jasnije (jer je ugao oštiji).



Prilikom korišćenja ovih pravilnosti za rekonstrukciju nabora treba prethodno vrlo detaljno proučiti položaj i vrstu svih postojećih s-površina u steni, odnosno odvojiti slojevitost od klivaža, i unutar različitih vrsta klivaža izvršiti razvrstavanje. U stenama sa intenzivno razvijenim klivažom (naročito klivažom tečenja, ponekad i škrljavim klivažom) slojevitost je maskirana i jedva primetna. Slojevitost se primećuje tim teže što u ovakvim stenama ona najčešće nije mehanički aktivna, te po njoj nema deljivosti. Tada je potrebno pažljivo ispitivanje primerka u cilju određivanja slojevitosti po boji, gradaciji materijala, promeni litološkog sastava i drugim kriterijima. Najčešće se zapaža gradaciona slojevitost - svaki sloj pokazuje pravilne promene u granulometrijskom sastavu ozdo na više. U paleozojskim slojevima na primer, često se gradaciona slojevitost prepoznaje po boji: donji, krupnozrniji deo sloja ima više kvarca, te je svetliji; gornji, sitnozrniji, obogaćen je nečistom glinovitom materijom, te je tamniji. Pošto se stena ne deli po slojevitosti, elementi pada ss-površina obično se moraju meriti pomoću dva prividna pada (postupak sa Šmitovom mrežom).

Međuslojni nabori

Termin „međuslojni nabori“ upotrebljava se u našoj literaturi za različite nabore nižih redova veličina, koji se pojavljuju uglavnom na krilima većih nabora. Iste je vrednosti i termin „sekundarni nabori“ (sekundarni po veličini, a ne po redosledu stvaranja).

Među sekundarnim naborima razlikuju se dve glavne grupe koje su morfološki dosta slične, ali kinematski različite. To su:

- nabori plastičnog vučenja, i
- parazitski nabori.

Nabori plastičnog vučenja („drag-folds“ u anglosaksonskoj literaturi) ili frikcioni nabori (Moret 1947) nastaju u inkompetentnim slojevima pod dejstvom sprega, izazvanog međuslojnim smicanjem pri nabiranju savijanjem. Pošto je ovaj spreg izražen samo na krilima nabora, frikcioni nabori se ne javljaju u šarnirima. Ose frikcionih nabora su paralelne sa osom krupne bore, u kojoj oni leže, a simetrija im je monoklina i uslovljena pravcem sila sprega.

Ako se postavi ravan ($h0l$) normalna na slojevitost, aksijalne površine frikcionih nabora su od ove ravni otklonjene prema šarniru antiklinale, kada se posmatra gornja površina sloja, odnosno prema šarniru sinklinale, kada se posmatra donja površina sloja. Ova relativna vergenca aksijalnih površina frikcionih nabora služi kao vanredno korisno sredstvo za rekonstrukciju nabora, kao i za utvrđivanje normalnog odnosno inverznog položaja slojeva.

Veličina frikcionih nabora može biti veoma različita; u krilima manjih nabora i u plastičnim, inkompetentnim, tankim slojevima oni su najčešće mm- do dm- razmera, a u velikim naborima mogu biti u Dm-hm razmera. U poslednjem slučaju sekundarni frikcioni nabori mogu kao kompleks graditi sinklinorije ili antiklinorije, koji se od „normalnih“ oblika razlikuju po tome što raspored aksijalnih površina u prostoru nije tipski lepezast.

Frikcioni nabori nisu vezani isključivo za nabore, nego mogu nastati u monoklinim kinematskim sredinama drugog postanka. Oni su na primer česti u reversnim dislokacionim zonama, gde nastaju analognim dejstvom sprega. Kao što je već objašnjeno kod nabora vezanih za rasede, ose frikcionih nabora u ovakvim dislokacionim zonama ne moraju biti normalne na VCK; njihov položaj je funkcija pravca kretanja i prvobitnog položaja kinematski aktivnih s-površina.

Parazitski nabori javljaju se u naborima smicanjem, ili u naborima čija kinematika postanka obuhvata i pojavu smicanja. Najčešće već pre pojave smicanja u naboru postoje frikcione sekundarne bore. Kada se u daljem toku oblikovanja stvori klivaž aksijalne površine, dolazi do daljeg razvoja sekundarnih nabora, koji rastu smicanjem. Za razliku od frikcionih, parazitski nabori su raspoređeni po celom naboru višeg reda, a ne samo po krilima; ima ih i u šarnirima, gde se frikcioni nabori ne javljaju uopšte. Parazitski nabori razlikuju se od frikcionih i po tome što su zatvoreniji i imaju veći indeks nabiranja. Kinematiku i morfologiju parazitskih nabora detaljno je obradio de Sitter (1958.).

Poseban morfološki tip sekundarnih nabora predstavljaju „mahunasti nabori“, kako ih je nazvao Mendelsohn (1959) („pod-fold“). To su sekundarni nabori čije ose nisu paralelne, nego prvo diverguju pa zatim konverguju u okviru jednog istog oblika. Ovi nabori nisu linearni, nego se smanjuju i gube i u jednom i u drugom smeru ose. Statistički posmatrano, veliki broj slučajno uzetih

merjenja elemenata pada osa mahunastih nabora daće na strukturnom dijagramu manje ili više rasut maksimum, čiji će se centar poklapati sa polom ose nabora višeg reda.

I frikcioni i parazitski nabori mogu biti stvoreni istim kinematskim aktom kojim i nabor višeg reda, a mogu biti posledica i nekog drugog oblikovanja. U prvom slučaju njihov osni krst i njihova simetrija su u skladu sa naborom višeg reda; sekundarni nabori su zavisni ili kongruentni. U drugom slučaju sekundarni nabori mogu imati osni krst različit od osnovog krsta nabora višeg reda, a simetrija im može biti nezavisna od simetrije nabora višeg reda; sekundarni nabori su nezavisni ili inkongruentni. Termini „kongruentni i inkongruentni nabori“ koriste se u nekih autora i za obeležavanje istovetnosti ili različitosti orijentacije strukturnih osa i simetrije nabora jednog kompleksa uopšte.

Rekonstrukcija nabora pomoću sekundarnih nabora

I frikcioni i parazitski nabori imaju relativne vergence (u odnosu na anvelopu) koje zavise od položaja posmatranog područja u okviru nabora višeg reda. Ova pravilnost se može upotrebiti za rekonstrukciju nabora višeg reda.

Pri rekonstrukciji treba prvo upoznati prostorni položaj anvelope, kao površine višeg reda. Zatim treba zapaziti relativnu vergencu sekundarnih nabora, i pomoću nje rekonstruisati spreg sila koji je izazvao sekundarno nabiranje. Smer sila ovog sprega pokazuje relativno kretanje slojeva pri nabiranju, i time omogućuje određivanje položaja šarnira antiklinala i sinklinala u odnosu na posmatrano područje (sl.65). Položaj ose nabora višeg reda određuje se merenjem osa sekundarnih nabora; ako su ovi razvijeni po tipu mahunastih nabora jedno merenje je nedovoljno, i položaj osa treba ispitati statistički.

Rekonstrukcija nabora višeg reda na ovaj način naročito je korisna u monoklinim područjima, gde je drugim načinima teško odrediti da li je serija normalna ili inversna.

