

JUGOSLOVANSKI SERPENTINSKI AZBESTI S POSEBNIM OZIROM NA AZBEST STRAGARI

Anton Grimšičar in Valentin Očepek

S 5 slikami med tekstem in 14 v prilogi

Izvleček

Avtorja podajata v začetku pregled o pridelavi in porabi azbesta v Jugoslaviji. Na kratko omenjata nastanek serpentinskega azbesta, izkorišček iz rude in metode za določanje kvalitete vlaken. Navajata tudi vrsto uporabnosti vlaken in nekaj splošnih fizikalnih lastnosti serpentinskih azbestov.

Podrobneje je opisan rudnik Stragari, kjer je bogato nahajališče tako imenovanega krpastega azbesta. Podane so tehnične kemične analize nekaterih jugoslovanskih azbestov v primerjavi s tujimi analizami hrizotila in antigorita.

Prikazani so rezultati diferenčno termične analize, mikroskopski opis vzorcev in röntgenskih analiz. Na osnovi podanih analiz sta avtorja poskušala razločiti posamezne vrste serpentinskih mineralov po Zussmanu in drugih.

Uvod

V mineralogiji označujemo za azbeste vsa nezgorljiva mineralna vlakna (gr. azbestos — nezgorljiv), h katerim prištevamo zlasti nekatere serpentinske in amfibolske minerale:

hrizotil, monoklinski in rombični serpentini	$H_4Mg_3Si_2O_{10}$
antofilit, rombični amfibol	$H_2(Mg,Fe)_7Si_8O_{24}$
amosit, rombični amfibol	$H_2(Mg,Fe)_7Si_8O_{24} + x Al_2O_3$
krokidolit, monoklinski, alkalni amfibol	$H_2Fe_2Si_4O_{24} + x FeNaSi_2O_6$
tremolit, monoklinski amfibol	$H_2Ca_2Mg_5Si_8O_{24}$
aktinolit, monoklinski amfibol	$H_2Ca_2(Mg,Fe)_5Si_8O_{24}$

Tukaj bomo obravnavali zaenkrat le različne modifikacije prve skupine, imenovali jo bomo tudi serpentinska skupina, saj tvori veliko

večino (okrog 95 %) vsega pridobljenega azbesta. Jugoslavija je po statističnih podatkih pri tem zastopana tako-le:

pridobljen azbest:	porabljen azbest:
1947 l. 310 t	—
1950 l. 958 t	2000 t
1954 l. 3200 t	6850 t
1957 l. (Stragari) 5100 t	

Poraba je bila torej leta 1954 več kot še enkrat večja od proizvodnje. V glavnem gre za serpentinski azbest. Če primerjamo te številke s pridobivanjem v Kanadi, ki je največji producent serpentinskega azbesta, leta 1954 je pridobila 900.000 t, vidimo, da je to razmeroma majhen delež.

V splošnem po svetu pridobivanje azbesta narašča. Tako je znašala leta 1937 svetovna proizvodnja le okrog 576.000 t (Tamarinov, 1946), od tega okrog dve tretjini v Kanadi; leta 1954 pa jo cenimo na približno 1.350.000 t. Razen Kanade so pri tem zastopane predvsem ZSSR, Južna Rodezija, Južna Afrika, Ciper, ZDA, Indija in druge države (okrog 1 %). Tudi zadnja leta pridobivanje in poraba azbesta še vedno narašča (Gummi and Azbest 1956/57).

Kot vsa svetovna nahajališča serpentinskega azbesta so tudi naša razširjena v serpentinskih masivih različne geološke starosti. Pretežno so verjetno paleozojska, nekatera pa so gotovo tudi mlajša. Znano je, da so ti masivi nastali povečini s pomočjo hidrotermalne metamorfoze pri relativno nizki temperaturi. Sklepamo, da se je to dogajalo zlasti v času intenzivnega vulkanskega delovanja, n. pr. v srednji triadi in v terciarju.

Delno pa so serpentinii lahko tudi prvotni (n. pr. v ruskih dunitih), ali pa so nastali pri preperevanju olivinskih kamenin

Ob določenih pogojih nastajajo v serpentinu vlaknati minerali. Pri izdelavi sintetičnega hrizotila so dobili najdaljša vlakna pri temperaturi 330°—375° C, pri pritisku 140—270 atmosfer in pH 6—11. Za nastanek vlaken je zlasti ugodna kritična temperatura vode (375° C) in pH 7—9,5. Dobili so do 50 mm dolga vlakna (Ipatiev, Balduzzi, Epprecht, Niggli, Wuhrer, Bowen, Tuttle id.).

Kemične analize surovih in predelanih vlaken ne dajo uporabnega merila za razločevanje med posameznimi oblikami in vrstami serpentinskega azbesta. Za pojasnilo navajamo nekaj tehničnih kemičnih analiz (1. tabela).

To nam bo razumljivo, če vemo, da imajo vsi serpentinovi različki isto kemično formulo in podoben kemičen sestav. Dajo pa se seveda razločevati serpentinski in amfibolski minerali, kar omogoča že enostavnejša optična metoda.

Preden preidemo na mineraloške metode določanja serpentinskih mineralov, naj še na kratko omenimo glavne metode razločevanja azbestov v splošnem.

Kakovost azbesta je odvisna od dolžine in elastičnosti vlaken. Najbolj so cenjena nad 19 mm dolga vlakna, ki se uporabljajo za azbestna

Table 1

1. tabela

KEMIČNE ANALIZE NEKATERIH JUGOSLOVANSKIH SERPENTINSKIH AZBESTOV V PRIMERJAVI
S HRIZOTILOM IN ANTIGORITOM

CHEMICAL ANALYSES OF SOME YUGOSLAV SERPENTINE ASBESTOS COMPARED WITH THOSE
OF CHRYSOTILE, AND ANTIGORITE

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Vlaga — Moisture	—	—	1,47 %	—	—	3,01 %	0,83 %	1,64 %	—	—
Žaroizguba	14,34 %	13,60 %	14,90 %	13,67 %	12,35 %	12,80 %	14,23 %	14,04 %	11,19 %	12,36 %
Loss on ignition										
SiO ₂	39,05 %	38,78 %	40,11 %	39,31 %	40,28 %	40,77 %	41,70 %	42,02 %	41,30 %	44,50 %
Al ₂ O ₃	2,53 %	3,69 %	2,31 %	4,12 %	3,76 %	2,37 %	0,24 %	0,52 %	1,59 %	1,41 %
Fe ₂ O ₃	2,64 %	1,31 %	3,16 %	3,37 %	2,24 %	5,06 %	0,35 %	0,30 %	8,57 %	0,39 %
CaO	sl. %	sl. %	2,44 %	0,76 %	sl. %	0,07 %	0,05 %	—	0,43 %	0,02 %
MgO	41,26 %	42,15 %	37,10 %	39,19 %	38,05 %	39,48 %	42,85 %	41,44 %	36,30 %	41,56 %
SO ₃	1,07 %	0,47 %	0,34 %	1,3 %	1,29 %	0,49 %	0,02 %	—	0,06 %	—

1. Stragari

2. Stragari, vlakna — fibres

3. Rujište

4. Korlača

5. Ozren

6. Bogoslovec

7. Hrizotil, Quebec, Kanada (Kalousek, Muttart, 1957, str. 5)

8. Hrizotil, Arizona (Nagy, Faust, 1956, str. 826, analiza F-20)

9. Antigorit, Antigorra (Kalousek, Muttart, 1957, str. 5)

10. Antigorit, State Line pits, Maryland (Nagy, Faust, 1956, str. 826, analiza F-1)

1-6 analiziral — analyzed by: Ing. D. Makarovič, Zavod za
raziskavo materiala in konstrukcij LRS

prediva. Takih vlaken cenijo, da je povprečno 1 % od vse količine azbesta na svetu (Tamarinov, 1946). Slabša tekstilna vlakna morajo biti dolga najmanj 9 mm. Vlakna od 9 mm do 2 mm se uporabljajo za razne salonitne izdelke, vlakna od 2 mm do 0,5 mm pa večinoma za papirje, obloge in podobno. Krajša vlakna dodajajo umetnim masam, da jim povečajo trdnost in odpornost proti toplotnim vplivom. Prah se uporablja v industriji proti ognju odpornemu materialu. Serpentina vlakna so obstojna tudi proti slabim kislinam. Vseh teh lastnosti nima nobeno umetno napravljeno vlakno.

Elastičnost vlaken določamo tako, da vzamemo 1,5 mm debel snop vlaken in ga petkrat preganemo. Če se vlakna zlomijo, velja azbest za krhkega (JUS, BFI 001, 1956).

Kvaliteto ocenjujemo še po drugih fizikalnih lastnostih, n. pr. po specifični teži, ki niha od 2,23 do 2,60 g/cm³, specifični površini (okrog 15.000 do okrog 30.000 cm²/1 g) in po tališču (od 1400° do 1550° C). Med tem ko je specifična površina odvisna delno od oblike in od stopnje razvlaknenosti, tališče od kemičnega sestava, je specifična teža razen od kemičnega sestava zelo odvisna zlasti od oblike vlaken. Ravno ta lastnost, ki jo je treba določati zelo natančno, nam skupaj z mineraloškimimi metodami lahko mnogo pomaga pri pojasnitvi oblik in lastnosti na osnovi strukture azbestovih mineralov.

Za razločevanje dveh glavnih serpentinskih različkov, ki jih včasih optično ne moremo razlikovati ali jih zelo težko ločimo, nam dobro rabi diferenčno termična analiza. Z njo je vedno enostavno in hitro mogoče ločiti hrizotil in antigorit, ker oddajata v strukturi vezano vodo pri različni temperaturi, prvi pri 700° C, drugi pri 800° (Nagy a. Faust, 1956).

Številni raziskovalci (Turkovich in Hillier, Noll in Kircher, Jagodzinski in Kunze) so ugotovili, da so tipična hrizotilova vlakna cevasta. Podobno se je to že dalo ugotoviti delno tudi za naše hrizotile. Nekaj napotkov za potrditev tega pa nam lahko morda povedo tudi izsledki diferenčno termične analize. Znano je n. pr., da cevasto oblikovan halloysit že pri nizki temperaturi izgubi cevasto obliko, ker odda rahlo vezano vodo med celicami. Tudi strukturno vezana voda je slabše vezana pri halloysitu kakor pri kaolinitu. Pretežno cevast kanadski hrizotilni azbest ima namreč znatno nižjo endotermno konico, po naših meritvah pri 685° C, kot naši serpentinski azbesti (705° do 760° C). Tipično nevlaknat in necevast antigorit iz Val Antigorio v Italiji pa ima po literaturnih podatkih endotermno konico šele pri 802° C. Iz tega bi mogli sklepati, da ravno nepravilno in zato navadno rahlo vezana voda v strukturi omogoča ukrivljenje strukture, kar so za halloysit dokazali Bates, Hildebrand in Swineford (Grim, 1953, p. 54), medtem ko za hrizotil zaenkrat to samo predvidevamo kot hipotezo, ki pa jo bo treba z nadaljnjimi preiskavami šele dokazati in razložiti.

Po preiskavah, ki so jih v zadnjih letih napravili Aruya, Brindley, Comer, Knoing, Whittaker, Zussman in drugi

(Zussman, Brindley, Comer, 1957, 134), imamo naslednje vrste serpentinskih mineralov:

monoklinski hrizotil (monoklinska singonija),
rombični hrizotil (rombična singonija),
lizardit (rombična singonija),
antigorit (monoklinska singonija),
šestplastovni serpentini (rombična singonija).

Monoklinski in rombični hrizotil imata enake parametre osnovne celice ($a_0 = 14,6 \text{ \AA}$, $b_0 = 9,2 \text{ \AA}$, $c_0 = 5,32 \text{ \AA}$), ločita pa se med seboj le po kotu β ($93^\circ 12'$ in 90°). Os vlakna je os c. Whittaker omenja še parahrizotil. Ta je rombičen in ima parameter b kot os vlakna. Natančnejši strukturni podatki o njem še niso objavljeni. Nahajamo ga v majhni količini med zgoraj omenjenima različkoma (Whittaker, Zussman, 1956, 115/116).

Parametri lizardita so podobni parametrom hrizotila. Antigorit ima v primeri s hrizotilom in lizarditom sorazmerno velik parameter a ($a_0 = 43,5 \text{ \AA}$).

Po novejših preiskovanjih lahko ta parameter zelo niha in sicer od $33,4 \text{ \AA}$ do $44,0 \text{ \AA}$, oziroma celo $90,6 \text{ \AA}$ in $109 \text{ \AA}$ (Zussman, Brindley, Comer, 1957, 148). Ostala dva parametra sta podobna parametrom hrizotila in lizardita.

Šestplastovni serpentini ima za razliko od hrizotila in lizardita sorazmerno velik parameter c ($c_0 = 43,6 \text{ \AA}$).

Struktura hrizotila in antigorita je podobna kaolinitovi strukturi, z razliko, da imata aluminijeve atome v glavnem nadomeščene z magnezijevimi (Zussman, Brindley, Comer, 1957, 133).

Struktura kaolinita je enoplastovna z ravninami iz OH, Al, O+OH, Si, O atomov (Grim, 1953, 49). Podobno strukturo navaja Whittaker tudi za monoklinski in rombični hrizotil. Pravi pa, da je le začasna. Struktura obeh različkov hrizotila je dvoplastovna z različno razporeditvijo magnezijevih atomov (Whittaker, 1953, 747). Struktura lizardita je po Zussmanu podobna strukturi hrizotila, le da je enoplastovna (Whittaker, Zussman, 1956, 118/119).

Značilne so tudi oblike serpentinskih mineralov (Zussman, Brindley, Comer, 1957, 152), in sicer:

Hrizotilova vlakna so cevasta, lahko pa so tudi letvasta. Antigoritovi kristali so ploščati, lahko pa so tudi letvasti. Enako je s šestplastovnim serpentinom. Lizarditovi kristali so ploščati.

Ker imamo za naše azbeste röntgenske podatke medmrežnih razdalj, bi se na kratko dotaknili tudi metode za interpretacijo medmrežnih razdalj, po kateri moremo ločiti antigorit, monoklinski in rombični hrizotil ter lizardit. Izdelala sta jo Whittaker in Zussman (1956) po podatkih, dobljenih v orientirani legi kristala. Sloni na ugotovitvah, da so pri nižjih kotih odboji za monoklinski in rombični hrizotil identični, razlike pa nastopajo pri višjih kotih onih odbojev, ki ustrezajo odbojem

od ploskev 201, in sicer so ti odboji nekoliko medsebojno premaknjeni. Po teh ugotovitvah sta avtorja izračunala in eksperimentalno na standardnih vzorcih opredelila medmrežne razdalje k eni in drugi strukturi. Upoštevala sta tudi jakosti odbojev. Kriteriji za ločitev na osnovi medmrežnih razdalj so naslednji: Monoklinski hrizotil se loči od rombičnega že po velikosti medmrežnih razdalj.

Obe rombični obliki — rombični hrizotil in lizardit — se ločita med seboj po jakosti odbojev, in sicer so pri rombičnem hrizotilu odboji od ploskev 201 močnejši, če je 1 liho število, kot pa če je 1 sodo število. Pri lizarditu so jakosti v nasprotnem redu.

Antigorit ima močno črto pri 2,53 Å. Pri lizarditu ustrezna črta nikoli ni večja od 2,50 Å. Antigorit ima dublet z močno črto 1,563 Å in srednjo črto 1,503 Å (Whittaker, Zussman, 1956).

Na elektronskih mikroposnetkih lahko direktno opazujemo obliko vlaken in sicer cevasto ali pa letvasto, pri ploščatih mineralih pa opazujemo ploščice. Zmerimo lahko tudi debelino posameznega vlakna, ki je po literaturnih podatkih od 200 Å do 300 Å (Shell, 1956, 351).

Rezultati naših preiskav

Za pridobivanje azbesta je treba navadno nakopati izredno veliko rude. Za jugoslovanske azbeste cenimo na osnovi statističnih podatkov v povprečku čist izkoristek okrog 1 %, v Stragarih pa z ozirom na nove izdelke do 11 %. Izjema bo postal rudnik Stragari, ko se bo z novo metodo separacije po mokrem postopku ta procent lahko znatno zvišal in bo mogoče pridobivati iz rude, ki se da v rudniku bolj ali manj že med delom hitro ločiti, do 15 % uporabnega azbesta, od tega okrog 7 % dolgovlaknatega. Zato je rudnik Stragari svetovna redkost med rudniki azbesta, podobno kot n. pr. po bogastvu kristalov rudnik Trepča med rudniki cinka in svinca.

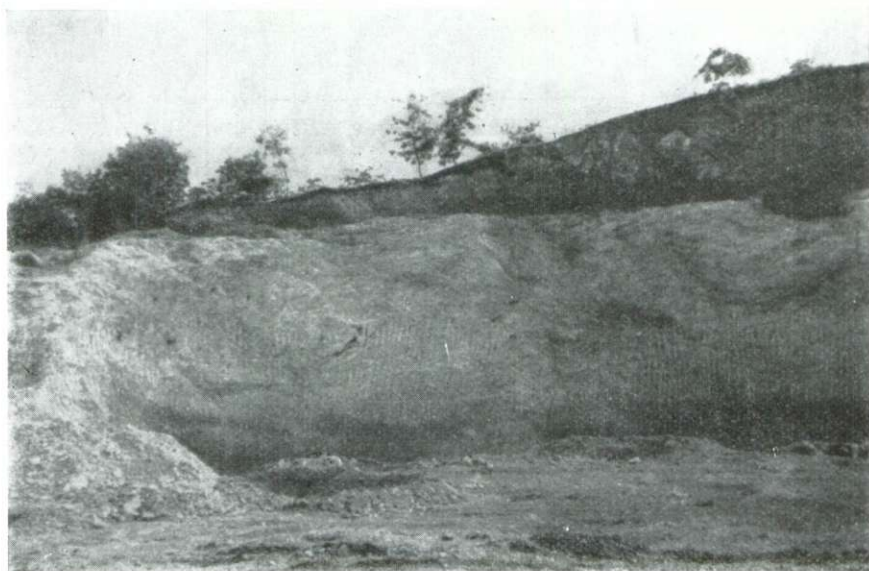
Nahajališče Stragari

Rudno telo v Stragarih ima obliko velike podolgovate piramide, ki leži v dinarski smeri v močno spremenjenem in zdrobljenem serpentinu. Tega pokriva plast sivga tektonsko izredno močno zdrobljenega spodnjekrednega apnenca (1. slika). Na robovih prehaja zdrobljen in spremenjen serpentin v navaden masiven serpentin z manjšimi lečami hrizotilnega azbesta po razpokah. Na kontaktu s serpentinom se na jugovzhodni strani (2. slika) pojavlja že apnen filit, ki prehaja v kremenov peščenjak.

Rudno telo se razteza na daljavo več sto metrov in se v globino širi, kar so pokazala vrtanja do globine okrog 30 m. Zaloge A + B cenijo na okrog 4 milijone ton. Med rudo se pojavljajo na posameznih mestih tudi večja ali manjša nakopičenja niklja v količini nekaj odstotkov. Povprečen odstotek pa je razmeroma majhen in znaša po podatkih rudnika nekaj desetink.

Azbest v rudi je med seboj na gosto prepleten v raznih smereh. Pojavlja se v plasteh, ki so večinoma vzporedne z lečo in med seboj prepletene v obliki večjih ali manjših krp (3. slika). Ker se azbest do zdaj mehansko na suh način ni dal primerno razvlakniti, je bilo treba najti nov, tako imenovani mokri postopek, s katerim je to zdaj mogoče. S tem je pomen rudnika izredno narastel.

Skupki vlaken se pod mikroskopom pojavljajo kot enoten mineral z nizkimi interferenčnimi barvami (dvolom znaša okrog 0,006 do 0,011) in s spremenljivim lomnim količnikom (okrog $1,54 \pm 0,02$). Natančnejših meritev zaradi malo uporabnih podatkov in velikih odstopanj v istem nahajališču nismo nadaljevali.



1. sl. Pogled na dnevni kop rudnika Stragari proti vzhodu. Zgoraj nariv zdrobljenega spodnjekrednega apnenca (temno)

Fig. 1. The view on the Stragari-open cast towards east. In the upper part the overthrust of Lower Cretaceous limestone (dark)

Diagram (4. slika) kaže diferenčno termične krivulje za vzorce azbestov iz naših glavnih nahajališč. Vse vzorce smo z roko odbrali od serpentinske prikamenine in jih zmerili v pečki s pomočjo Cr/AlCr termičnih elementov v zračni atmosferi pri hitrosti naraščanja temperature $12^{\circ}\text{C}/\text{minuto}$. Količina vzorcev je znašala okrog 0,6 do 0,7 g. Vse vzorce smo prej posušili do 110°C in nato različno dolgo v sušilniku, kar je nekoliko vplivalo le na začetno temperaturo do okrog 150°C . Vse analize smo večkrat kontrolirali.

Iz krivulj je razvidno, da so vzorci Bogoslovec, Korlača, Stragari II (št. 172) in Rujište razmeroma čisti hrizotilovi azbesti (delno s prevleko lizardita). Njihovi jasni endotermni odkloni se gibljejo med 700° in

720° C, eksotermni pa od 810° do 820° C. Vzorec Stragari št. 172 je vlaknat hrizotil, z roko izbran iz razpoke serpentina.

Vzorec Ozren predstavlja verjetno prehod v antigorit. Pri 670° C kaže začetek odklona za hrizotil, pri 765° C pa oster endotermni odklon, ki se približuje antigoritovemu.

Vzorec Stragari I (št. 220) ima endotermni odklon pri 730° C in izredno močan eksotermni odklon pri 815° C (na sliki ni do vrha razviden). Vzorec je povprečje krpastega azbesta.



2. sl. Meja na površini med serpentinom (spodaj) in apnencem (temno zgoraj). SE od dnevnega kopa Stragari

Fig. 2. Distinct boundary between the serpentine (lower part), and the limestone (dark upper part) on the surface. SE from the Stragari-open cast

Za primerjavo smo izmerili in prikazali na isti sliki antigorit-serpentin, ki ga je ing. D. Jelenc prinesel iz Etiopije (4. slika št. 335) in tipičen serpentin Stragari III (št. 160).

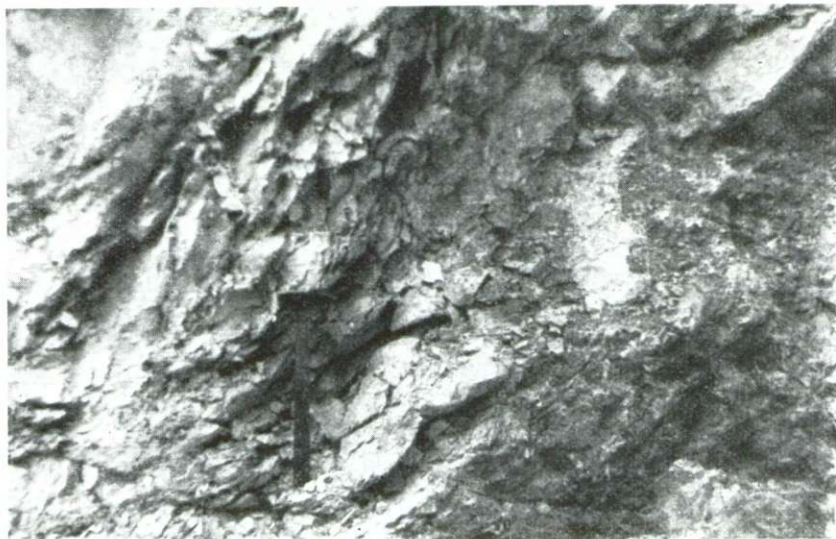
Makroskopski in mikroskopski opis domačih azbestov

Kakor je bilo že omenjeno, nahajamo stragarski azbest v svetlih krpah z rahlim zelenkastim odtenkom, to je v obliki, ki se razlikuje od znanih tujih in tudi tu omenjenih jugoslovanskih azbestov. Krpe so nekoliko upogljive in imajo masten otip. Vzporedno potekajoča vlakna so sorazmerno trdno med seboj zlepljena z drobnoluskastim materialom. Obe komponenti je precej težko razlikovati, kajti drobnoluskasti material predstavlja verjetno prehodno stopnjo med homogenimi enotnimi ploščicami serpentina in vlakni. Prevladujejo vlakna.

Skupki vlaken se vlečejo na dolžino več centimetrov. V polindustrijsko razvlaknjenih vzorcih nahajamo do 5 cm dolge vlaknate skupke brez sledov luskastega materiala.

Vlakna so sorazmerno močna, mehka, prožna, pod mikroskopom brezbarvna. Pri močno razrahljanih skupkih opazujemo med navzkrižnimi nikoli prečne proge, ki jih povzroča gubanje vlaken. Pod navadnim mikroskopom ne moremo razločiti ali gre za eno vlakno ali za skupek.

Pri krpi, ki naj bi predstavljala prehodno stopnjo med serpentinom in azbestom, opazujemo pod mikroskopom na nekaterih mestih podolgo-



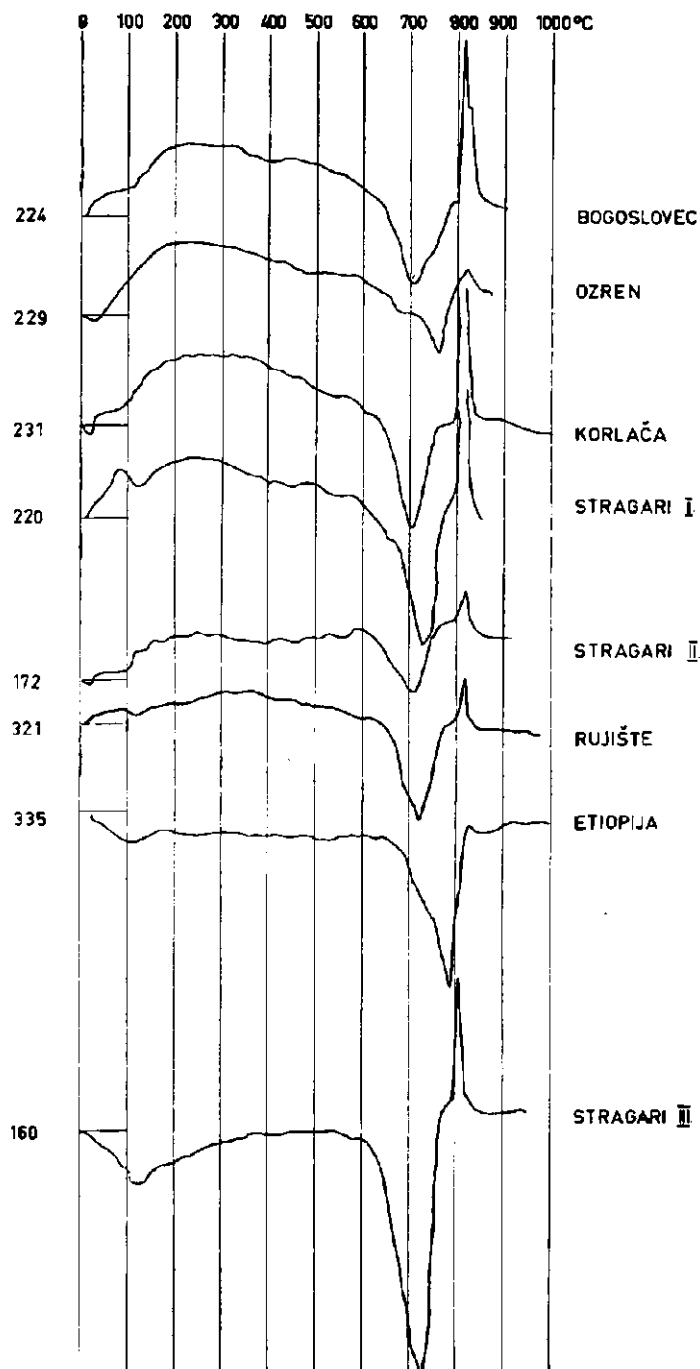
3. sl. Ruda »krpastega« azbesta na dnevnem kopu v Stragarih
Fig. 3. The flaky asbestos mined in the Stragari-open cast

vate oblike, na katerih je vlaknata struktura pretežno zakrita, na drugih mestih pa neenotno maso, ki je na videz drobnazrnata. Izraz »drobnoluskasta krpa« uporabljamo predvsem za izražanje mikroskopske slike, kajti za makroskopsko opazovanje je to močna, kompaktna krpa.

Omenimo še, da dobimo v krpah v majhni količini neenakomerno porazdeljena drobna magnetitna zrna, medtem ko karbonatov, ki bi jih bilo z ozirom na CO_2 pod 1 %, pod mikroskopom nismo opazili. Stragarski azbest nastopa v krpah, zato ga imenujemo krpasti azbest. V vlakna se da spraviti le s težavo.

Rujištanski azbest predstavljajo od nekaj stotink do 25 mm, povprečno 2 mm dolgi vlaknati skupki. Nahajajo se v enako debelih žilah drobnazrnatega serpentina, pri čemer je vlakno, kot je to navadno, postavljeno prečno na žilo.

Debelejši skupki so rumenkasti do zelenkasti in bolj togi, razrahljani pa so svetli, svilnati, nekoliko prožni in upogljivi. Pri prenehanju sile



4. sl. Diferenčno termične analize azbesta in serpentinov
 Fig. 4. Differential thermal analyses of asbestos, and serpentinite examined

se večinoma takoj povrnejo v ravno podolgovato obliko. Nalomljeni so na splošno bolj malo. Debelina posameznega vlakna je pod razločitveno mejo navadnega mikroskopa.

Redko dobimo med skupki vlaken nekaj stotink milimetra široke proge rjavkastega minerala, katerega moremo prišteti k bovlingitu. Ima slab pleohroizem, njegov lomni količnik je večji od kanadskega balzama in manjši od 1,657. V hladni solni kislini se sorazmerno hitro topi. Nahajamo ga le v sledovih (pod 0,5 ‰), Prav tako v majhni količini so med skupki azbesta leče kalcita.

Korlačanski azbest nahajamo kot žile v zelenkastosivi kamenini z vijoličnim odtenkom. Žile so široke od nekaj desetink milimetra do 7 mm, povprečno 1,8 mm. Enako dolgi so tudi azbestovi skupki. Žile azbesta so zelene, iz njih dobljen razvlaknjen azbest pa je svetel. V večini žil nahajamo neprožne azbestove skupke, ki dobe pri obdelavi številne nalome. Potemnitev nepoškodovanih skupkov je enotna.

Del žil (okrog $\frac{1}{4}$) je sorazmerno trd. Te žile so zapolnjene s serpentinom, delno pa z letvami, ki imajo bolj ali manj naznačeno vlaknato strukturo. Poleg tega je v teh žilah tudi malo kalcita.

Prikamenina korlačanskega azbesta je bolj slabo serpentinizirana. Nahajamo namreč drobnozrnato maso serpentina, prepreženo z žilami prav tako serpentina, ki ustvarjajo nekako mrežasto strukturo in zelo spominjajo na serpentinizacijo ob olivinovih razpokah. V tej drobnozrnati masi so okrog 3 mm velika zrna (okrog 10 ‰) s številnimi razpokami, z vzporedno potemnitvijo in z nizkimi interferenčnimi barvami. Ta zrna so verjetno bolj ali manj serpentinizirani rombski pirokseni. Po vsej kamenini je še obilo drobnega magnetita (okrog 8 ‰).

Za nahajališče **Ozren** (Bosansko Petrovo selo) smo imeli na razpolago le industrijsko ločene vzorce azbesta z označbo »Ozren 3 W« in »Bosansko Petrovo selo 4 M«. Razvlaknjen azbest je svetel. Skupki so dolgi povprečno okrog 2 mm in so sorazmerno prožni. Kažejo pa tudi nekaj nalomov. Pod mikroskopom so brezbarvni.

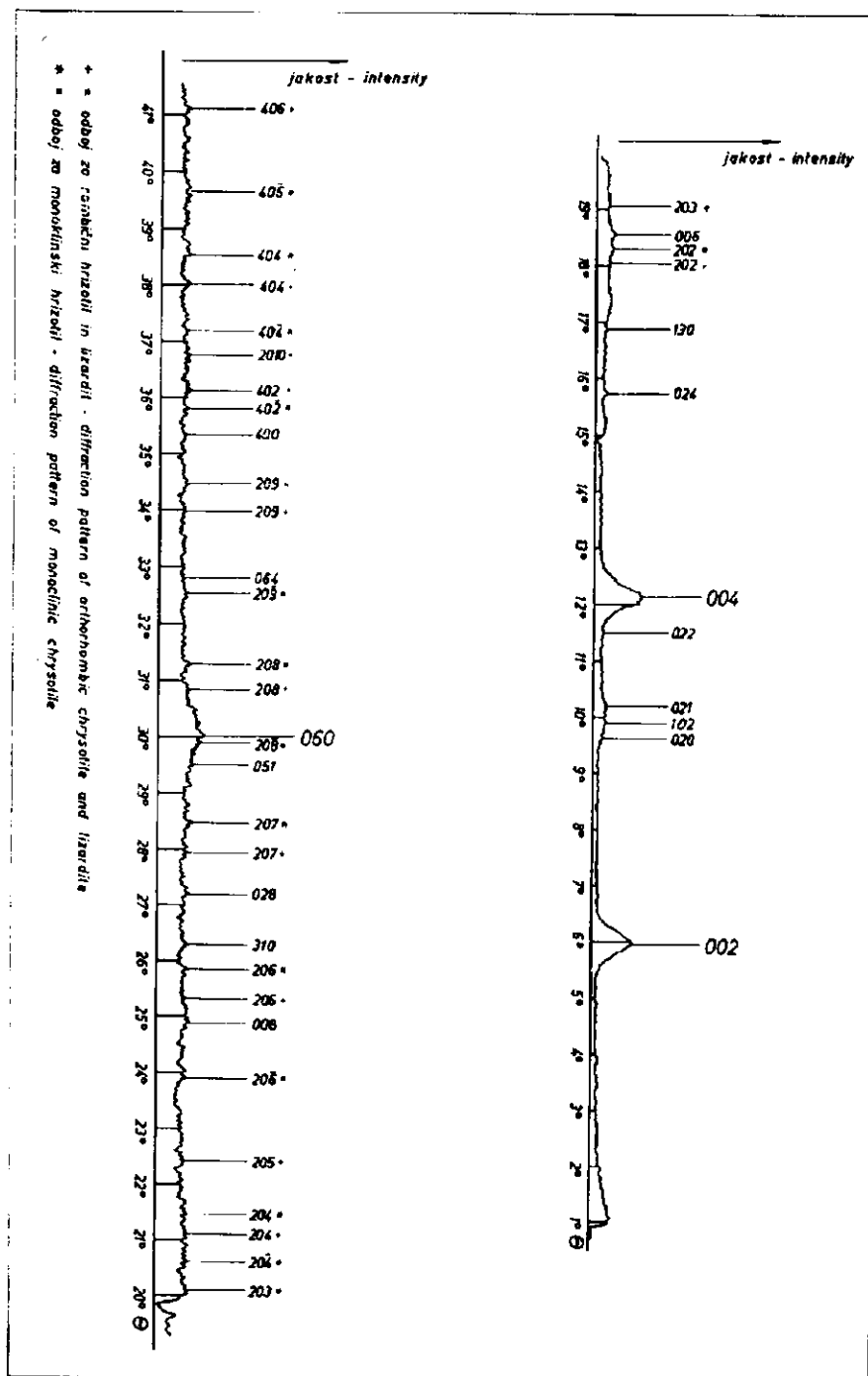
V obeh vzorcih opazujemo sorazmerno veliko (okrog 10–15 ‰) jalovine (serpentina, bovlingita, magnetita).

Tudi za nahajališče **Bogoslovec** smo imeli le industrijsko ločen vzorec azbesta z označbo »Bogoslovec 3 W«. V tem vzorcu nahajamo poleg skupkov vlaken tudi znatno količino zdrobljene jalovine (serpentin, bovlingit, magnetit). Skupki vlaken so dolgi povprečno okrog 1–2 mm. Pod mikroskopom so brezbarvni; so sorazmerno prožni in kažejo le slabe nalome.

Strukturni različki domačih serpentinskih azbestov

Iz diagrama stragarskega azbesta, ki ga je izmerila *Hinterlechnerjeva* (5. slika), smo izračunali medmrežne razdalje in jih opredelili po *Whittaker-Zussmanovi* metodi (2. tabela).

Za antigorit značilne črte 2,52 Å ne najdemo, pač pa sta naši sosednji črti (2,57 Å in 2,49 Å) značilni za monoklinski hrizotil in lizardit.



5. sl. Röntgenogram azbesta Stragari
Fig. 5. X-rays diffraction pattern of the Stragari asbestos

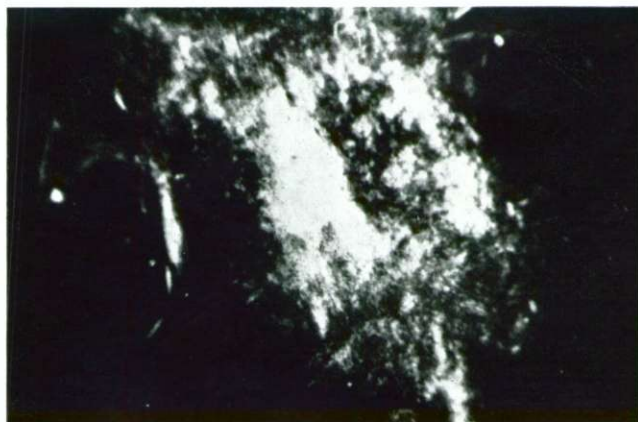
I. TABLA — PLATE I.

1. slika

Stragari, nikoli +, povečava 20 ×. Razrahljan skupek stragarskega azbesta: levo skupki vlaken, v sredi delno zakrita vlaknata struktura, desno »drobnoluskasta« krpa-sta masa

Fig. 1.

Stragari, + N, 20 diams. Loosened agglomerate of the Stragari-asbestos; groups of the fibres at the left, partly hidden fibrous texture in the middle, thin flaky mass at the right



2. slika

Stragari, nikoli +, povečava 20 ×. Razrahljani skupki vlaken stragarskega azbesta

Fig. 2.

Stragari, + N, 20 diams. Loosened groups of Stragari-asbestos

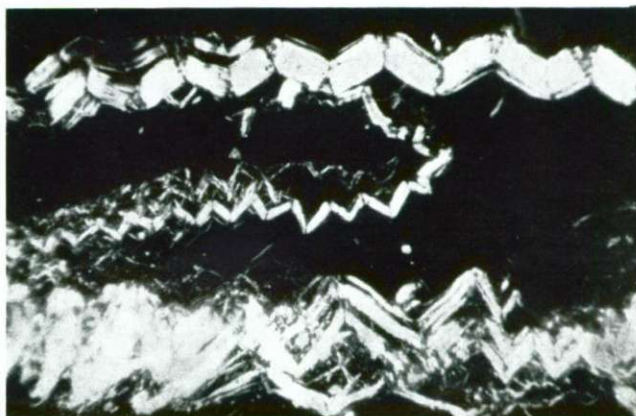


3. slika

Kutlovo pri Stragarih, nikoli +, povečava 20 ×. Zgubani skupki azbestnih vlaken

Fig. 3.

Kutlovo at Stragari, + N, 20 diams. Folded groups of fibres

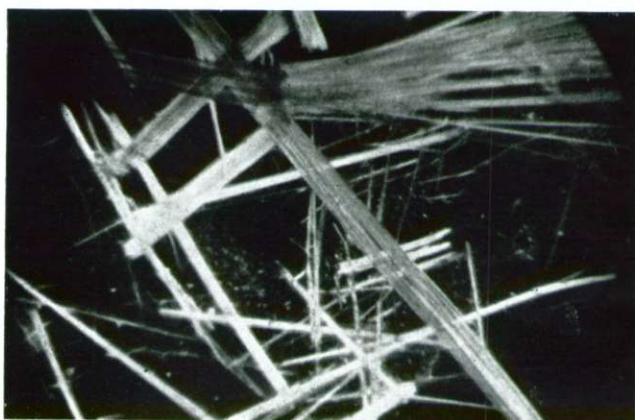


1. slika

Rujište, nikoli +, povečava 20 X.
Skupki azbestovih vlaken s šir-
šim nalomljenim skupkom ter ne-
koliko drobne jalovine (serpentina)

Fig. 1.

Rujište, + N, 20 diams. The groups
of asbestos fibres with a thicker
broken bundle and some fine
grained waste (serpentine)

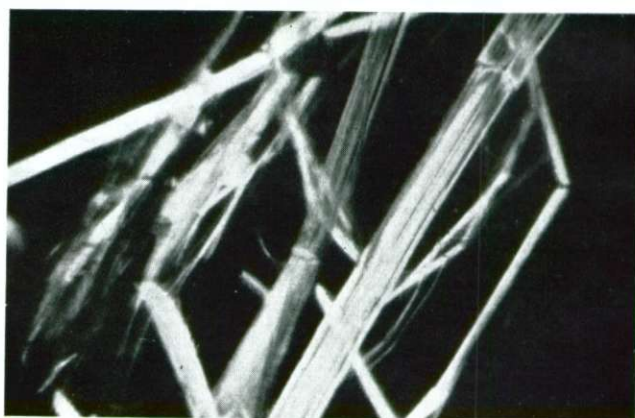


2 slika

Korlača, nikoli +, povečava 20 X.
Skupki azbestnih vlaken z nalomi

Fig. 2.

Korlača, + N, 20 diams. Bundles
of the asbestos fibres, partly
broken

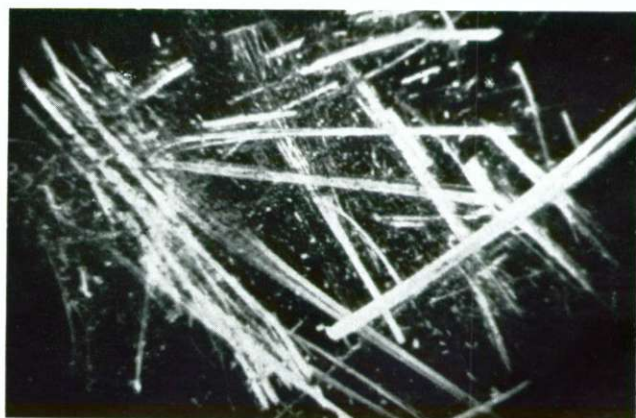


3. slika

Bogoslovec, nikoli +, povečava
20 X. Skupki azbestnih vlaken ter
drobna jalovina (serpentin, bow-
lingit, magnetit)

Fig. 3.

Bogoslovec, + N, 20 diams. Bund-
les of asbestos-fibres with the
fine-grained waste (serpentine,
bowlingite, magnetite)



III. TABLA — PLATE III.

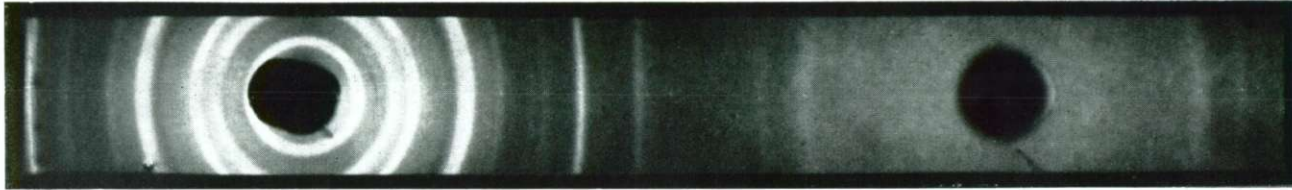


1. sl. Debeygram stragarskega azbesta z jalovino (Stragari 4 K, kobaltova anoda)
Fig. 1. X-rays diffraction pattern of the Stragari-asbestos with the waste
(Spec. Stragari 4 K, Co anticathode)



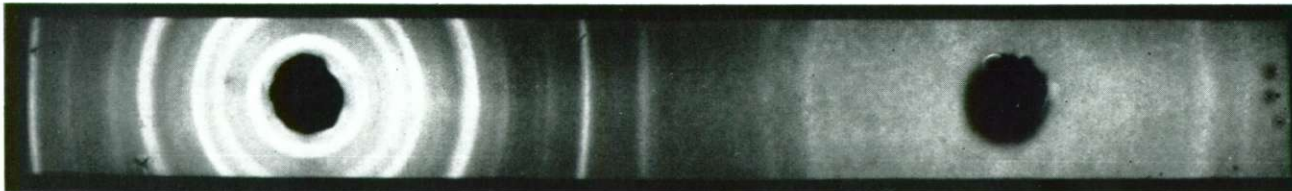
2. sl. Debeygram korlačanskega azbesta z jalovino (kobaltova anoda)
Fig. 2. X-rays diffraction pattern of the Korlača-asbestos with the waste
(Co anticathode)

IV. TABLA — PLATE IV.



1. sl. Debeygram ozrenškega azbesta z jalovino (Ozren 3 W, kobaltova anoda)

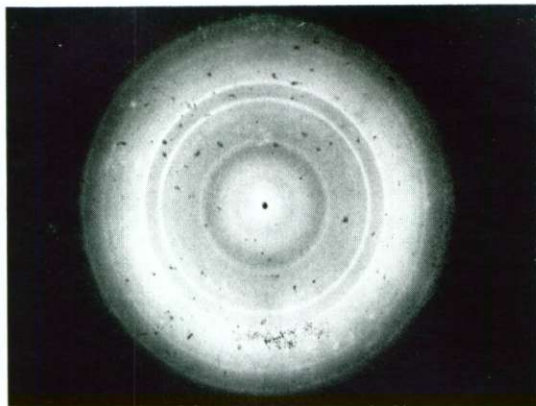
Fig. 1. X-rays diffraction pattern of the Ozren-asbestos
(Spec. Ozren 3 W, Co anticathode)



2. sl. Debeygram bogoslovškega azbesta z jalovino (Bogoslovec 3 W, kobaltova anoda)

Fig. 2. X-rays diffraction pattern of the Bogoslovec-asbestos with the waste
(Spec. Bogoslovec 3 W, Co anticathode)

V. TABLA — PLATE V.



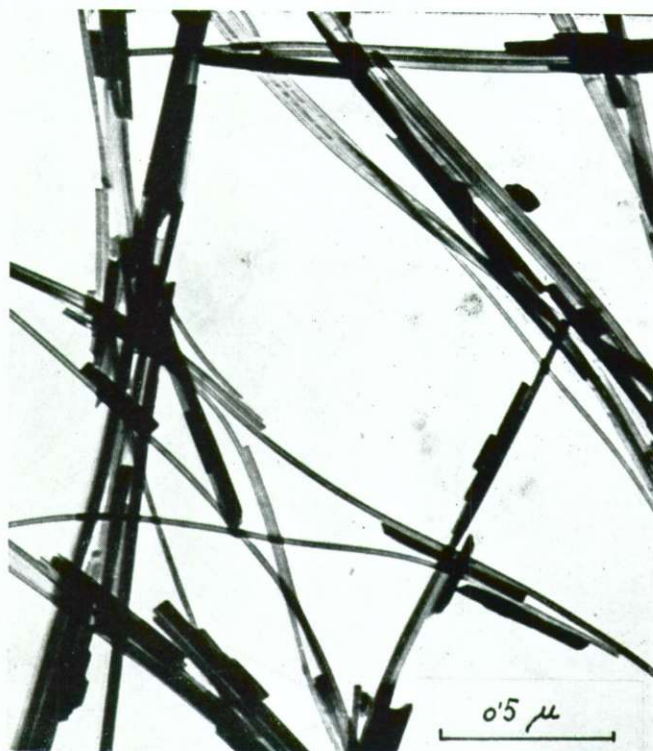
1. sl. Elektronski diagram čistega rujištanskega azbesta
Fig. 1. Electron diffraction pattern of the clean Rujište-asbestos



2. sl. Elektronski mikroposnetek rujištanskega azbesta pri 40.000-kratni povečavi
Fig. 2. Electron microscope picture of the Rujište-asbestos, 40.000 diams.



1. sl. Elektronski mikroposnetek korlačanskega azbesta pri 45.900-kratni povečavi
Fig. 1. Electron microscope picture of the Korlača-asbestos, 45.900 diams.



2. sl. Elektronski mikroposnetek stragarskega azbesta pri 45.900-kratni povečavi
Fig. 2. Electron microscope picture of the Stragari-asbestos, 45.900 diams.

Table 2

2. tabela

MEDMREŽNE RAZDALJE STRAGARSKEGA AZBESTA, IZRAČUNANE
IZ DIAGRAMA (5. sl.)

INTERLATTICE DISTANCES OF THE STRAGARI-ASBESTOS
CALCULATED OUT OFF THE DIAGRAM (Fig. 5.)

Odboj Reflection	Jakost Inten- sity	d v Å d in Å	Izrač. d v Å Calcula- ted d in Å	Ploskev Face	Odboj Reflection	Jakost Inten- sity	d v Å d in Å	Izrač. d v Å Calcula- ted d in Å	Ploskev Face
1. M-St	7,39		7,32	002	23. Š-F	1,733		1,739	310
2. Š-F	4,60		4,60	020	24. Š-F	1,683		1,698	028
3. Š-F	4,48		4,54	102	25. Š-F	1,643		1,643	207 +
4. Sr-M	4,35		4,37	021	26. Sr-M	1,615		1,601	207 ×
5. Š-F	3,87		3,89	022	27. Sr-M	1,563		1,566	051
6. M-St	3,65		3,66	004	28. Sr-M	1,544		1,548	208 ×
7. Š-F	2,84		2,86	024	29. M-St	1,537		1,534	060
8. Š-F	2,65		2,66	130	30. Š-F	1,500		1,506	208 +
9. Sr-M	2,57		2,592	202 ×	31. Sr-M	1,482		1,468	208 ×
10. Š-F	2,49		2,497	202 +	32. Š-F	1,426		1,424	209 ×
11. Sr-M	2,45		2,454	202 ×	33. Š-F	1,418		1,414	064
12. Sr-M	2,42		2,438	006	34. Š-F	1,377		1,386	209 +
13. Š-F	2,35		2,332	203 +	35. Š-F	1,357		1,354	209 ×
14. Sr-M	2,24		2,280	203 ×	36. Š-F	1,330		1,323	400
15. Š-F	2,19		2,214	204 ×	37. Š-F	1,316		1,322	402 ×
16. Š-F	2,14		2,148	204 +	38. Š-F	1,304		1,307	402 +
17. Š-F	2,10		2,094	204 ×	39. Š-F	1,286		1,281	2010 +
18. Š-F	2,02		1,966	205 +	40. Š-F	1,273		1,275	404 ×
19. Š-F	1,90		1,919	206 ×	41. Š-F	1,248		1,248	404 +
20. Š-F	1,83		1,829	008	42. Š-F	1,235		1,230	404 ×
21. Š-F	1,80		1,796	206 +	43. Š-F	1,205		1,198	406 ×
22. Š-F	1,765		1,748	206 ×	44. Š-F	1,170		1,167	406 +

× = odboj za monoklinski hrizotil

+ = odboj za rombični hrizotil in lizardit

Jakost — Intensity: M(očna) — St(rong), Sr(ednja) — M(edium), Š(ibka) — F(eeble)

Jakost za antigorit značilnega dubleta je pri našem vzorcu v obratnem redu kot ga navajata Whittaker in Zussman, zato smo medmrežne razdalje opredelili za hrizotil in lizardit. Na primesi (brucit, magnezit, markazit, magnetit, lojevec) ne moremo sklepati, ker so njihove tri močne črte večinoma istovetne s serpentinskimi.

Tudi na debeygramih ostalih azbestov (3. tabela) nismo ugotovili antigorita.

Table 3

Medmrežne razdalje jugoslovanskih
Interlattice distances of yugoslav,

	a	b	c	č	d
1.	7,35 M-St	6,82 M-St	6,29 M-St	7,03 M-St	6,92 M-St
2.	5,70 Sr-M	—	—	—	—
3.	4,53 M-St	—	—	4,55 Sr-M	—
4.	—	4,30 Sr-M	4,40 M-St	—	4,44 M-St
5.	3,64 M-St	3,49 M-St	3,56 M-St	3,57 M-St	3,68 M-St
6.	3,31 Š-F	—	—	—	—
7.	2,53 Š-F	—	2,55 M-St	—	—
8.	—	—	—	—	2,50 M-St
9.	2,46 Sr-M	—	2,46 M-St	—	—
10.	—	2,43 M-St	—	2,43 M-St	—
11.	—	—	—	—	2,34 Š-F
12.	—	—	—	—	2,14 Š-F
13.	2,08 Š-F	2,03 Sr-M	2,06 Š-F	2,09 Š-F	—
14.	—	—	—	—	1,963 Š-F
15.	—	—	—	—	1,834 Š-F
16.	—	1,79 Š-F	1,79 Š-F	—	—
17.	—	—	—	—	—
18.	1,72 Š-F	1,73 Š-F	—	1,73 Š-F	1,719 Š-F
19.	—	—	—	—	—
20.	—	—	—	—	1,642 Š-F
21.	—	—	1,61 Š-F	—	—
22.	1,52 M-St	1,53 M-St	—	1,53 M-St	1,538 M-St
23.	—	—	1,49 M-St	—	—
24.	—	—	—	1,46 Š-F	—
25.	—	—	—	—	—
26.	1,31 Š-F 1,30 Sr-M	1,30 M-St	1,293 Sr-M	1,309 Sr-M	1,306 Sr-M
27.	—	—	1,263 Š-F	—	—
28.	—	—	—	—	1,211 Š-F
29.	—	—	—	1,062 Š-F	1,076 Š-F
30.	1,04 Š-F	—	—	1,044 Š-F	1,044 Š-F
31.	—	—	—	0,99 Sr-M	0,991 Š-F

azbestov in kanadskega azbesta
and canadian asbestos

e	f	g	h	i	j
6,72 M-St	6,97 M-St	6,87 M-St	7,31 M-St	002	7,32
—	—	—	—	012	5,72
—	—	—	4,52 M-St	020	4,60
4,46 M-St	4,36 Sr-M	4,43 M-St	—	021	3,37
3,60 M-St	3,50 M-St	3,53 M-St	3,65 M-St	004	3,66
—	—	2,95 Š-F	—	024	2,86
—	—	—	2,56 Sr-M	202 ×	2,548
—	—	—	—	202 +	2,497
—	—	—	2,45 Sr-M	202 ×	2,454
—	2,42 Sr-M	2,42 M-St	—	006	2,438
2,34 M-St	—	—	—	203 +	2,332
2,15 Sr-M	—	—	—	204 +	2,148
—	2,07 Š-F	2,03 Sr-M	2,09 Š-F	204 ×	2,094
—	—	2,00 Š-F	—	205 +	1,966
—	—	—	—	008	1,829
—	1,78 Š-F	1,81 Š-F	—	206 +	1,796
1,76 Š-F	—	1,77 Š-F	—	206 ×	1,748
—	—	—	1,734 Š-F	310	1,739
—	—	—	1,710 Š-F	028	1,698
—	—	—	—	207 +	1,643
—	—	—	—	207 ×	1,601
1,53 M-St	1,52 M-St	1,56 M-St	1,531 Sr-M	060	1,534
—	—	—	—	208 +	1,506
—	—	1,45 Š-F	—	0010	1,463
—	—	1,40 Š-F	—	064	1,414
1,31 Sr-M	1,298 Sr-M	1,30 M-St	1,311 Sr-M	402 +	1,307
1,279 Š-F	—	1,275 Š-F	—	404 ×	1,275
1,216 Š-F	1,208 Š-F	—	—	0012	1,218
—	—	—	—	408 +	1,074
1,045 Š-F	1,039 Š-F	1,044 Š-F	—	510	1,056
0,994 Sr-M	0,991 Š-F	0,990 Sr-M	0,992 Sr-M	531 +	0,998

Cirkel (po Dammer, Tietze, 1914, 233) navaja, da je azbest slabši, če je prikamenina slabo serpentinizirana. To kažejo tudi naši podatki in sicer predvsem vzorec Korlača. Nasprotno pa sklepamo o dobro serpentinizirani kamenini v Stragarih, ki prehaja v azbest.

Za točnejšo razjasnitev prisotnosti lizzardita in rombičnega hrizotila ter za določitev oblike vlaken so potrebne še nadaljnje preiskave. Po dosedanjih raziskavah je kvaliteta vlaken odvisna predvsem od kristalne strukture in oblike.

Hipotezo, postavljeno po analogiji s halloysitom na osnovi diferenčne termične analize, da je vzrok cevasti strukturi rahlo in nepravilno vezana plastovna voda, bo treba podpreti še s podrobnimi in z bolj zadovoljivimi difrakcijskimi podatki, ki bi jih lahko dobili z bolj opremljeno kamero.

THE YUGOSLAV SERPENTINE ASBESTOS WITH SPECIAL REGARDS TO THE STRAGARI ASBESTOS

The authors are giving first of all the survey of the production and the uses of asbestos in Yugoslavia. They mention shortly the origin of the serpentine asbestos, and the standard methods for the determination of fibres. Further on they treat the uses of the fibres, and give some general physical properties of the serpentine asbestos. The technical chemical analysis of some yugoslav asbestos are compared with those of foreign chrysotile and antigorite.

In the second part of the article a detailed description is given of the Stragari asbestos-deposit with the results of the differential thermal analysis, macroscopic and microscopic description of the specimens as well as the results of the X-rays analysis. According to the data of the various analysis the authors attempt to explain individual minerals of the serpentine group according to Zussman, and other authors.

On the base of the data compiled they conclude, the elastic tender fibers have a monoclinic structure. That is very clear for the Stragari asbestos, meanwhile they have found the rhombic structure with the brittle Korlača-asbestos.

The data of the chemical analysis of our asbestos do not agree with the Dammer-Tietze's supposition, the fibres are brittle in case, they contain more Al_2O_3 (1913, 235), at least of the Stragari one, as the alumina content is not lower than with the rest of our asbestos.

Our data are in fair accordance with the Cirkel's hypothesis, the serpentine is of lower quality in case, the gangue is not well serpentinized. The Korlača asbestos is the best proof of his hypothesis. On the contrary we can expect good asbestos on the base of the well serpentinized rock grading into asbestos at Stragari.

Additional investigations are necessary for more accurate clearing up of presence of lizzardite, and rhombic chrysotile for the determination of the fibre-form as it is supposed, the quality of the fibres depends primarily on the crystal structure, and the form of the fibres.

The hypothesis, the basis of the pipe-structure is feebly and irregularly bound interlayer water set up per analogiam with the halloysite on the base of the differential thermal analysis should be backed by more detailed and favourable data of the diffraction patterns.

LITERATURA

- Alphabetical Index of X-Ray Diffraction Patterns, 1945, Philadelphia.
- Dammer B., Tietze O., 1914, Die nutzbaren Mineralien, II. B., Stuttgart.
- Grim R. F., 1953, Clay Mineralogy, New York, Toronto, London.
- Kalousek, G. L., Muttart L. E., 1957, Studies on the chrysotile and antigorite components of serpentine, The Am. Min., 1—22.
- Klug H. P., Leroy E. A., X-Ray Diffraction Procedures, New York, London.
- Midgley H. G., 1951, A serpentine minerat from Kennak Cove, Lizard, Cornwall, The Min. Magg., 526—530.
- Nagy B., Bates T. F., 1952, Stability of chrysotile asbestos, Am. Min., 1055—1058.
- Nagy B., Faust G. T., 1956, Serpentine: Natural mixtures of chrysotile and antigorite, The Am. Min., 817—838.
- Nikitin V. V., 1946, Teoretska petrografija, Zagreb.
- Poročila Zavoda za raziskavo materiala in konstrukcij LRS.
- Ramdohr P., 1942, Klockmanns Lehrbuch der Mineralogie, Stuttgart.
- Shell H. R., 1956, Determination of magnetite in chrysotile, Am. Min., 351/352.
- Tamarinov M. M., 1946, Kurs mestorožd. polezn. izkop., Moskva, 286—290.
- Warren B. E., Bragg W. L., 1931, The Structure of Chrysotile $H_4Mg_3Si_2O_{10}$, Zeitschr. für Krist., B 76, 201—210.
- Whittaker E. I. W., 1951, An orthorhombic variety of chrysotile, Acta Cryst., 187/188.
- Whittaker E. I. W., 1952, The unit-cell of chrysotile, Acta Cryst., 143/144.
- Whittaker E. I. W., 1953, The structure of chrysotile, Acta Cryst., 747/748.
- Whittaker E. I. W., 1956, The characterization of serpentine minerals by X-Ray diffraction, The Min. Mag., 107—126.
- Winchell A. N., Winchell H., Elements of Optical Mineralogy, Part II, New York, London.
- Zussman I., Brindley G. W., Comer J. J., 1957, Electron diffraction studies of serpentine minerals, The Am. Min., 133—153.
- Zussman I., 1956, Antigorite: Superlattice and structural formula, The Am. Min., 148—152.
- Zerjav V., 1955, Aktinolit iz Košina v Makedoniji, Slov. akad. znan. in um., razr. za prirod. vede, razpr. III, Ljubljana, 483—499.