

MARINKO OLUIĆ

PRIMJENA INFRACRVENIH AEROSNIMAKA ZA KARTIRANJE RUDONOSNIH POJAVA I NJIHOVIH STRUKTURA

S 1 tablom u prilogu

Paralelnom obradom kolor i infracrvenih fotografama u području Timočkog eruptivnog masiva dobiveni su vrijedni strukturno-geološki podaci.

Zahvaljujući mogućnosti da se na infracrvenom filmu snimi i dio »bližeg« infracrvenog spektra bilo je moguće na infracrvenim fotografama u spomenutom području izdvojiti određena polja s povećanim toplotnim gradijentom. Ta polja mogu predstavljati orudnjene zone ili biti dobar putokaz za njihovo otkrivanje.

Denzitometrijskim mjerenjima gustoće zacrncjenja utvrđeno je da polja s povećanim toplotnim gradijentom imaju osjetno manji stupanj zacrncjenja od okolnih litoloških članova.

UVOD

Pankromatski aerosnimci u posljednja dva desetljeća pokazali su se kao jednostavna i sigurna fotografska tehnika kod različitih geoloških istraživanja s dobrim mogućnostima kvalitativne i kvantitativne interpretacije.

U novije vrijeme, pored tog konvencionalnog snimanja iz zraka u crno-bijeloj tehnici, ograničenog na vidljivi dio elektromagnetskog spektra (osjetljivost film-emulzije 370–680 $m\mu$), uspješno se primjenjuju u geološkim istraživanjima i različiti drugi filmovi s takvim emulzijama, koje su osjetljive i na onaj dio elektromagnetskog spektra kojeg ljudsko oko ne može registrirati (infracrveni film, infracrveni film u boji ili »falš« kolor film i dr.).

KARAKTERISTIKE INFRACRVENIH AEROSNIMAKA

Infracrvena fotografija je značajna fizikalna disciplina koja omogućava registriranje dijela elektromagnetskog spektra u području od 500–900 $m\mu$ (upotrebom žutog i narančastog filtra) i/ili 700–900 $m\mu$ (upotrebom crvenog filtra). Zbog toga infracrveni film ima veću osjetljivost od pankromatskog crno-bijelog i kolor filma. Takva osobina infracrvenih emulzija,

upotrebom različitih filtera dozvoljava njihovu uspješnu primjenu u različitim ispitivanjima, među kojima značajno mjesto imaju geološka istraživanja. O tome je već opširnije pisano (O l u i ć, 1969).

Tehnika snimanja i proces izrade infracrvenih aerosnimaka je sličan kao kod pankromatske aerofotografije. Cijena infracrvenih aerosnimaka je tek nešto veća (oko 10%) od pankromatskih fotograma. Promatranja, zapažanja i prostorna mjerenja na infracrvenim aerosnimcima omogućena su kao i kod pankromatskih aerosnimaka zahvaljujući mogućnosti prostornog gledanja na stereomodelu. Infracrvena fotografija sadrži različite sive tonove koji se kreću od tamnosivih, gotovo crnih, do svijetlosivih, gotovo bijelih. Između te dvije krajnje granice tona postoji veći broj prelaza (što se može utvrditi instrumentalnim mjerenjem). Međutim, ljudsko oko (subjektivna ocjena) može da registrira tek nekoliko (desetak) različitih tonova.

Ako bi izdvojili samo tri osnovna tona koja se lako golim okom razabiru na aerosnimcima: svijetlosivi ton, srednje sivi ton i tamnosivi ton, vidjeli bi da se određeni predmeti na infracrvenim fotogramima prikazuju u posve određenim tonovima koji se razlikuju od onih na pankromatskim snimcima. Različite kulture će na infracrvenim fotogramima imati određene sive tonove koji u prvom redu ovise o sadržaju vlažnosti u tlu. Tako npr. svijetlosivi ton imaju: guste listopadne šume, osobito mlađa i bujnija vegetacija (klorofil efekat), zatim pognojene livade, oranice, nisko gusto raslinje itd. Srednje sivi ton imaju: površine s prostornim strukturama kod gustog raslinja, žitarica, livade neznatne gustoće raslinja itd. Tamnosivi ton imaju sve vodene površine, a vlažna tla su u pravilu tamnijeg tona što im je veća vlažnost. Nasuprot njima predmeti i pojave s povećanim toplotnim gradijentom na infracrvenim fotografijama imaju svijetliji ton.

Analizom različitih sivih tonova na infracrvenim aerosnimcima, kao i analizom ostalih fotogeoloških kriterija kao morfoloških karakteristika, vegetacije, hidrografske mreže, napredovanja erozije itd. mogu se dobiti vrijedni strukturno-geološki podaci.

INFRACRVENI AEROSNIMCI KAO SREDSTVO ZA OTKRIVANJE RUDONOSNIH POJAVA I NJIHOVIH STRUKTURA (NA PRIMJERU TIMOČKOG MASIVA)

Fotogeološkom analizom obrađeno je šire područje Timočkog eruptivnog masiva u istočnoj Srbiji u površini od cca 2.000 km².

Analiza je izvršena na infracrvenim fotogramima 23x23 cm snimljenim kamerom s univerzal-aviogon objektivom (Wild), s uzdužnim preklapom od 60% i poprečnim preklapom od oko 25%. Snimanje je izvršeno u jesen 1971. godine u približnom mjerilu 1:10000.

Pored infracrvenih aerosnimaka za spomenuto područje paralelno su korišteni i kolor fotogrami istoga mjerila.

Svrha fotogeoloških istraživanja u naznačenom području bila je, u prvom redu, utvrđivanje strukturno-geoloških odnosa, zatim utvrđivanje veze orudnjenja sa strukturnim elementima i litološkim sastavom, formama reljefa, vegetacijom i drugim osobinama područja koje se odražavaju na korištenim aerosnimcima. Prisustvo takvih veza dozvolilo je mogućnost utvrđivanja kriterija za istraživanje zona pojačane mineralizacije, pretežno bakarne rude.

Istraživano područje izgrađuju različite eruptivne i sedimentne stijene. U tim stijenama moglo se je na aerosnimcima dešifrirati različite geološke podatke, kao što su: litološka razgraničenja, stratigrafski kompleksi, ostaci nekadašnje vulkanske aktivnosti (nekovī, dajkovi, kupe i dr.), plikativni i disjunktivni tektonski poremećaji itd. Dešifriranje navedenih elemenata omogućeno je prvenstveno na osnovi kontrasta sivih tonova, koji su dosta oštri na fotogramima, zatim na osnovi formi reljefa (linijske teksture, tačkaste teksture, mrljaste teksture i sl.) hidrografske mreže, napredovanja erozije itd.

Litološki članovi mogli su se najbolje dešifrirati po karakterističnim formama u reljefu i intenzitetu sivoga tona. Tako je relativno lako odvojiti pojedine sedimentne članove od eruptivnih kompleksa i to u prvom redu po slojevitosti koja se dobro zapaža na aerosnimcima. Razdioba među različitim sedimentnim članovima vršena je na osnovi određenih osobina pojedinih članova. Tako npr. vapnenci se izdvajaju po karakterističnim oblicima u reljefu (škrape, vrtače) i pomanjkanjem hidrografske mreže na površini. Klastični sedimenti imaju zaobljene forme reljefa, koji je bolje razveden od vapnenačkih terena i imaju bolje razvijenu hidrografsku mrežu i uz to gotovo redovito tamniji ton.

Razdiobu unutar različitih eruptivnih stijena na aerosnimcima također je moguće vršiti. Efuzivne stijene, andeziti i latiti obično čine pozitivne forme reljefa, dok nasuprot njima vulkanski piroklastici zbog svojih litofizičkih osobina gotovo redovito se javljaju u hipsometrijski nižem položaju. Dobro se uočavaju različiti ostaci nekadašnjih vulkana kao što su: nekovī i dajkovi koji najčešće strše u terenu poput dimnjaka ili izduženih bedema sa strmim stranama. Zatim lučni, prstenasti, katkad vrlo dobro očuvani ostaci oblika kaldera. Ostaci vulkanskih kupa se također dobro zapažaju, a često ih karakterizira radijalna drenažna mreža. Hidrotermalno izmijenjene zone na infracrvenim aerosnimcima imaju u pravilu svijetliji ton od okolnih stijena (kredni klastiti, vulkanski piroklastici i dr.).

Dešifriranje plikativnih i disjunktivnih tektonskih poremećaja na aerosnimcima u istraživanom području bilo je moguće prije svega na osnovi oblika reljefa, hidrografske mreže i napredovanja erozije, prekida litološkog kontinuiteta i vegetacije.

Dislokacije je na aerosnimcima moguće često pratiti, a ponekad im odrediti i relativnu starost, što je kod terenskog kartiranja vrlo teško. To pokazuje analiza postojećih geoloških karata (detaljnih) na kojima su ti ra-

sjedi odsutni, ili ne odražavaju karakter disjunktivne tektonike. Rezultati analize presjecišta razloma dešifriranih na fotogramima ukazuju da su najstariji i najjači rasjedi oni što se pružaju u pravcima SZ-JI i SSZ-JJI. Oni su isprecijecani poprečnim i dijagonalnim rasjedima koji su od njih mlađi i po intenzitetu slabiji.

Analizom strukturno-geoloških podataka dobivenih iz aerosnimaka i podataka iz postojećih geoloških karata utvrđena je vodeća uloga strukturnih pokreta (uglavnom rasjedna tektonika) u lokalizaciji perspektivnih rudonosnih zona, uz prisustvo povoljnih litofacijskih uvjeta.

Fotogeološkom analizom infracrvenih aerosnimaka na osnovi ranije navedenih kriterija izdvojena su polja (mjesto) s povećanim toplotnim gradijentom. Ta polja imaju izrazito svjetliji ton od okoline (tab. I). Kod izdvajanja navedenih polja interpretacija je vršena od poznatih oblika (stara haldišta, rudni izdanci) prema nepoznatim, čime je istovremeno stvaran fotogeološki ključ. Izdvojena polja često predstavljaju zone s povećanom mineralizacijom, a mogu biti dobar putokaz za otkrivanje rudnih pojava. Većina takvih izdvojenih polja nalazi se uz longitudinalne dislokacije, ili na presjecištu više rasjednih ploha (tab. I). Također se većina izdvojenih polja nalazi u hidrotermalno izmijenjenim stijenama, ili uz granicu tih stijena i gornjokrednih klastita.

Na izdvojenim poljima često uspijeva određena biljna asocijacija koja traži kiselo tlo, tj. stijensku podlogu koja je najčešće obogaćena sulfidnom mineralnom asocijacijom. Na takvim poljima u istraživanom terenu pretežno uspijeva breza, zatim zakrčljali hrast i bukva.

Polja izdvojena na infracrvenim fotogramima nisu do sada provjeravana drugim metodama istraživanja. Međutim, u području M. Krivelja neovisno od fotogeološkog proučavanja vršena su istraživanja na bakar različitim drugim metodama (geofizika, geokemija, bušenje i dr.). Naknadnom usporedbom dobivenih podataka utvrđeno je da su na izdvojenim poljima s povećanim toplotnim gradijentom, na više mjesta registrirane rudne pojave (usmeno saopćenje kolega Terzića i Aleksića). Međutim, da se utvrdi koliki je procenat izdvojenih polja u pogledu povećane mineralizacije perspektivan trebat će provjeriti veći broj tih polja. Tek tada će se dobiti prava slika o vrijednosti izdvojenih polja na infracrvenim fotogramima.

Kao rezultat dešifriranja kolor i infracrvenih fotograma u Timočkom masivu, dobiveni su podaci koji su djelomično terenski potvrđeni i uspoređeni s geološkim podacima ranijih radova. Utvrđeno je da u Timočkom eruptivnom masivu glavni stil strukturnoj građi daje rupturna tektonika. Za disjunktivne poremećaje, pretežno pravca pružanja SZ-JI i SSZ-JJI, najčešće je vezano odlaganje korisne bakarne mineralizacije, o čemu je već pisano u literaturi (Aleksić, 1969., 31).

Slična fotogeološka istraživanja na halkopirit izvođena su u SSSR-u, gdje su utvrdili da lokalne anomalije polja tektonskog intenziteta na mjestima preklapanja s kiselim vulkanitima indiciraju zone paleovulkanskih ždrijela

i subkratera i da ih se kao takve može smatrati potencijalno perspektivnima za otkrivanje ležišta halkopirita (E m e l j a n e n k o & L e v i n, 1972., 13).

Ranije je spomenuto da se makroskopskim zapažanjem na aerosnimcima mogu razlikovati različiti sivi tonovi (stepenasti klin). Prema tome moguće je specijalnim instrumentom na aerosnimcima mjeriti intenzitet različitih tonova ili gustoću zacrnljenja. Budući da se na infracrvenim aerosnimcima mjesta s povećanim toplotnim gradijentom pojavljuju u svjetlosivom tonu, moguće je na takvim mjestima izmjeriti stupanj zacrnljenja i izmjerene vrijednosti usporediti sa stupnjem zacrnljenja mjenjenim na okolnim stijenama. Na taj način se dobije razlika u optičkoj gustoći (denzitetu) između navedenih mjenjenih jedinica.

Instrument s kojim se vrši mjerenje stupnja zacrnljenja na aerosnimcima zove se denzometar ili denzimetar. Postoji više vrsta različitih denzimetara. Naša mjerenja stupnja zacrnljenja izvršena su s denzimetrom tipa MAC BETH-Quanta Log. Mjerenje je izvršeno na infracrvenim crno-bijelim aerosnimcima u prolaznom svijetlu. Mjerilo aerosnimaka na kojima su vršena mjerenja iznosi približno 1:10000. Mjerenje je vršeno na poljima označenim kao mjesta povećane toplotne vrijednosti i na okolnim litološkim članovima. Radi dobivanja što reprezentativnijih vrijednosti mjerenja su vršena na dva odvojena područja. Na svakom području mjenjeno je na 5 različitih polja (tabela 1).

1. Područje Krivelja

2. Područje Jasikova

Film	INFRACRVENI CRNO-BIJELI				
Mjenjeno	GUSTOĆA ZACRNJENJA				
Polje	Polja povećanog temperat. gradijenta	Gornjokredni sedimenti	Polja povećanog temperat. gradijenta	Silificirane vulkanske stijene	
1	0,35	0,66	0,20	0,60	
2	0,36	0,58	0,18	0,62	
3	0,37	0,45	0,25	0,72	
4	0,37	0,61	0,20	0,75	
5	0,38	0,56	0,25	0,73	
prosjeck	0,37	0,57	0,22	0,68	
razlika	$\Delta = 20$		$\Delta = 46$		

Tabela 1. Prikaz rezultata mjerenja

Usporedbom dobivenih mjerenih vrijednosti vidljivo je da izdvojena polja s povećanim toplotnim gradijentom imaju osjetno manji stupanj zacrnljenja na filmu od okolnih stijena. Razlika u stupnju zacrnljenja između polja s povećanim toplotnim gradijentom i gornjokrednih sedimenata (klastiti i vapnenci) iznosi 20 (mjereno u području Krivelja). U području Jasikova razlika u stupnju zacrnljenja između polja s povećanim toplotnim gradijentom i izmjenjenih (silificiranih) vulkanskih stijena iznosi čak 46 (tabela 1).

Na osnovu takvih mjerenja moguće je s više sigurnosti utvrditi i izdvojiti na infracrvenim aerosnimcima polja s povišenim toplotnim gradijentom, koja često predstavljaju zone povećane mineralizacije.

ZAKLJUČAK

Iz svega iznesenog može se zaključiti da je fotogeološkom analizom kolor i infracrvenih fotograma u Timočkom eruptivnom masivu dobiveno mnogo novih vrijednih strukturno-geoloških podataka. Zatim da je utvrđena određena veza između strukturnih podataka, prvenstveno tektonskih poremećaja i perspektivnih rudonosnih zona.

Na osnovu opisanih fotogeoloških kriterija moguće je na infracrvenim fotografijama izdvojiti određena polja s povišenim toplotnim gradijentom, koja mogu predstavljati zone povećane sulfidne mineralizacije, ili mogu biti dobar indikator za otkrivanje rudnih ležišta. Analizom strukturno-geoloških odnosa i izdvojenih polja s povećanom toplotnom vrijednošću moguće je planirati i usmjeriti rudarska istraživanja, a ponekad i direktno otkriti perspektivne rudonosne zone.

Denzitometrijskim mjerenjima na infracrvenim aerosnimcima utvrđena je osjetna razlika u stupnju zacrnljenja izmjenjenog na poljima s povećanim toplotnim gradijentom – ograničenim na infracrvenim aerosnimcima – i susjednih stijena.

Polja s povećanim toplotnim gradijentom imaju na aerosnimcima mnogo manji stupanj zacrnljenja nego okolna područja drugog sastava. Taj podatak može korisno poslužiti kod utvrđivanja i ograničavanja polja s povećanim toplotnim gradijentom za koja su najčešće posredno ili neposredno vezane korisne mineralne pojave.

Na pomena autora: Polja s povećanim toplotnim gradijentom ne moraju svagdje imati povećan topl. gradijent, pa je taj naziv u članku upotrijebljen uvjetno.

Primljeno 15. 4. 1972.

*Geološki sektor
Industroprojekt – Zagreb
Zagreb, Savska c. 88a*

LITERATURA

- Aleksić, D. (1969): Rezultati dvogodišnjih istraživanja u Velikom Krivclju. Zbornik radova 9, 27-40, Bor.
- Barić, Lj. (1961): Polarizacioni denzitometar po Martens-Goldbergu, odnosno po Martens-Bechsteinu. »Fotokemijska industrija«, 4, 87-97, Zagreb.
- Emeljanenko, U. V. & Levin, V. N. (1972): Opit primenjenja aerofotometričeskoj dlja vijavlenija perspektivnih ploščadej s mednokolčedannim orudneniem v rajonak Južnogo Urala. Razvetka i Ohrana Nedr, 38/1, 12-14, 1972, Moskva.
- Meinberg, P. (1966): Die Landnutzungskartierung nach Pan.-Infrarot- und Farbluftbildern. Münchener Studien zur Sozial- und Wirtschaftsgeographie, 1, 2, Kallmunz/Regensburg.
- Oluić, M. (1969): Novi postupci aeroprospekcije i njihove mogućnosti primjene u geološkim istraživanjima. Geodetski list, 23(46)-7-9 i 10-12, 184-194, Zagreb.
- Stankevič, E. N. (1968): Primenenie dešifrovanija aerofotosnimkov dlja kartirovanija rudokontrolirujuščih i rudolokalizujuščih elementov struktur. Izd. »Nedra«, 1, 21, Moskva.

M. OLUIĆ

DIE ANWENDUNG INFRAROTER LUFTAUFNAHMEN FÜR DIE
KARTIERUNG VON ERZLAGERSTÄTTEN UND IHRER STRUKTUREN

Ausser den üblichen panchromatischen schwarz-weißen Luftbildern werden neuerdings bei geologischen Untersuchungen auch verschiedene Filme mit entsprechenden Emulsionen angewandt, die für jenen Teil des elektromagnetischen Spektrums empfindlich sind, den das menschliche Auge nicht wahrnehmen kann (infraroter Film, »False Color« Film und andere).

Bei infraroten Luftaufnahmen wird ein Teil des elektromagnetischen Spektrums im Wellenbereich von ca. 500-900 m μ registriert. Durch Registrieren des sogenannten »näheren« infraroten Spektrums können infrarote Luftbilder bei Untersuchungen verschiedener mineralischer Rohstoffe erfolgreich angewendet werden. Verschiedene Gegenstände und Erscheinungen auf infraroten Luftbildern sind in verschiedenen Grautönen sichtbar, die sich von den Grautönen auf panchromatischen schwarz-weißen Luftbildern unterscheiden. Die Grautöne auf infraroten Luftbildern sind in erster Linie von der Bodenfeuchtigkeit abhängig. Deshalb werden alle Wasser- und Feuchtigkeitsflächen auf infraroten Photogrammen einen dunkeln Ton haben. Die Verdunkelung ist in der Regel desto grösser, je mehr Feuchtigkeit im Boden enthalten ist. Dagegen haben Gegenstände und Erscheinungen mit erhöhter Wärmeneigung auf infraroten Photogrammen hellere Töne.

Unsere Untersuchungen wurden im Timok-Massiv (Ostserbien) durchgeführt, das aus verschiedenen Eruptiv-metamorphen und Sedimentgesteinen aufgebaut ist. Es wurde eine Gesamtfläche von 2000 km² bearbeitet.

Parallel mit den Kolor- und infraroten Photogrammen wurde eine photogeologische Analyse im Masstab 1:10000 durchgeführt. Der Zweck photogeologischer Untersuchungen ist, die strukturellen geologischen Verhältnisse festzulegen, weiters die Verbindung zwischen den Lagerstätten und strukturellen Elementen sowie die lithologische Zusammensetzung, Reliefform und Vegetation zu ermitteln.

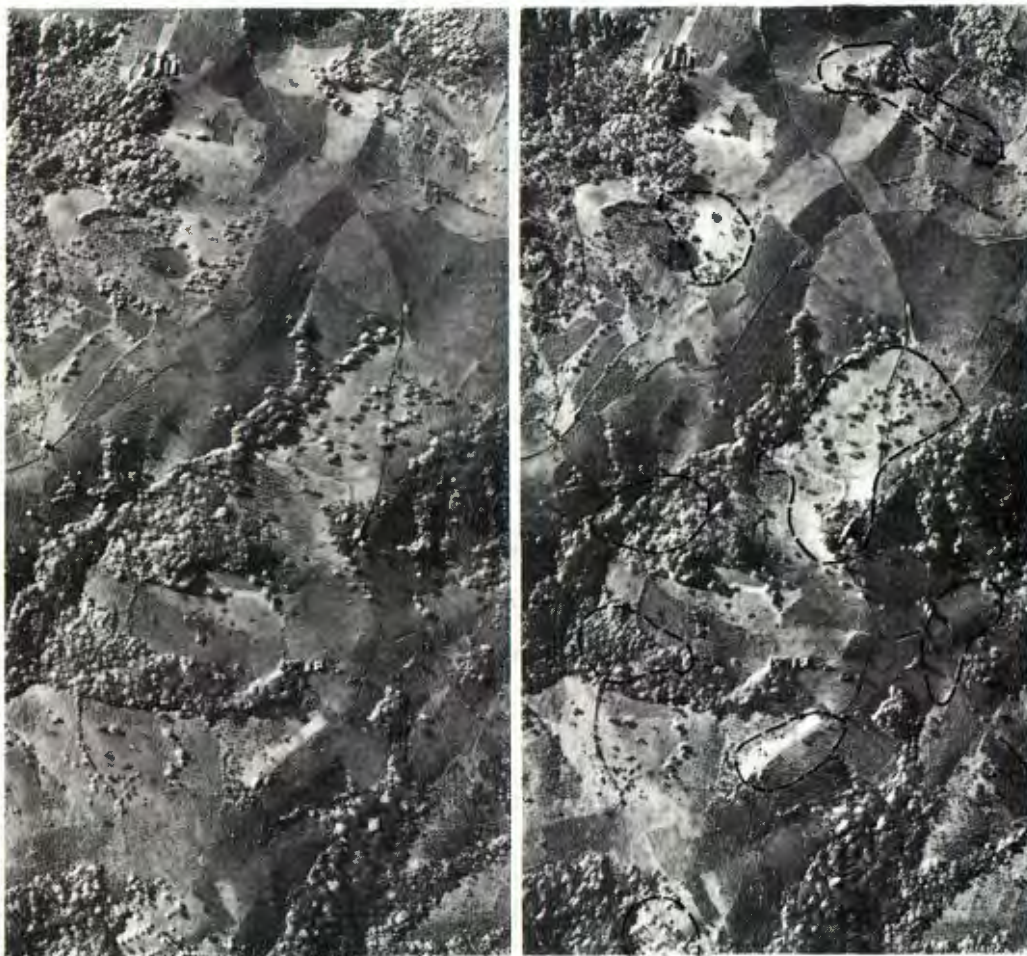
Durch photogeologische Analysen erhielt man im angeführten Bereich strukturelle Werte von denen der grösste Teil erstmals registriert wurde.

Auf den infraroten Luftaufnahmen wurden die Felder mit erhöhten Wärmegradient umgrenzt. Solche Felder befinden sich meistens bei tektonischen Verwerfungen oder am Querschnitt mehrerer Dislokationslinien. Durch Geländenachprüfungen wurde festgestellt, dass der grösste Teil dieser Felder mit erhöhtem Wärmegradient Mineralien enthält (Kupfererze) oder mindestens ein Wegweiser zur Auffindung mineralischer Rohstoffen sein könnte.

Durch Densitometermessungen auf den infraroten Photogrammen in durchfallendem Licht wurde festgestellt, dass Felder mit erhöhtem Wärmegradient einen kleineren Verschwärzungsgrad zeigen als die Umgebung anderer lithologischer Struktur. Aus dem oben Angeführten ist ersichtlich, dass es mit Hilfe einer Analyse der strukturell-geologischen Beziehungen und der Begrenztheit der Felder mit erhöhten Wärmewerten möglich ist, die Lagerstättenuntersuchungen zu planieren und öfters direkt zukünftige erzenthaltende Zonen ausfindig zu machen.

Angenommen am 15. April 1972.

*Geologische Abteilung
Industrieprojekt – Zagreb
Zagreb, Savska c. 88a*



Infracrveni stereogram područja oko 4 km istočno od Jasikova, M približno
1 : 10.000. Ograničena polja imaju povećani toplotni gradijent.

Infrarotes Stereogramm, Gebiet ca. 4 km östlich von Jasikovo, M etwa 1 : 10.000.
Die ungrenzten Felder zeigen einen erhöhten Wärmegradient.

Aerofoto: V G I – Beograd, 32-13.