

ANTE ŠARIN i PAVAO MILETIĆ

O HIDROGEOLOŠKIM ODNOSIMA
POVRŠINSKOG KOPA DRMNO (LIGNITNI
BAZEN KOSTOLAC)

S 2 tabele u tekstu i 3 priloga (2 karte i 2 profila sa skicom)

The open pit Drmno of the lignite mine of Kostolac — one of the largest lignite deposits in Yugoslavia — will be exploitable only if the overlying aquifers, which are fed by water of the near — by Mlava and Danube Rivers, are dewatered. This paper treats the hydrogeological conditions in the relevant area before the open pit is developed as well as of the conditions to be expected to arise once the exploitation of lignite has started, i. e. once dewatering of the overlying aquifer is well under way.

UVOD

Industrijsko energetska kombinat Kostolac u svom sklopu ima — kao bazu ostalim privrednim djelatnostima — rudnik lignita Kostolac. Rudnik se smjestio na utoku Mlave u Dunav, oko 70 km istočno od Beograda. U sastavu rudnika su jame Stari Kostolac i Klenovnik, te površinski kop Klenovik. Da bi se mogle razviti planirane djelatnosti potrebno je povećati proizvodnju ugljena. Rudarski projektanti su odlučili koncentrirati proizvodnju na dva objekta: (1) zapadno od rijeke Mlave otvoriti površinski kop Čirikovac, koji će se pretvoriti u jamu Čirikovac čim otkopi zađu dublje pod površinu terena i (2) istočno od Mlave otvoriti veliki površinski kop Drmno (prilog br. 1). Površinski kop Drmno davat će 75% proizvodnje čitavog rudnika.

Nad 10—20 m debelim slojem ugljena na području Drmna nalazi se nekoliko desetaka metara naslaga pijeska i šljunka koje su potpuno ispunjene vodom. Propusne se naslage daleko prostiru i neposredno su vezane uz obližnje velike površinske tokove. Da bi se mogao otkopavati ugljen potrebno je odvodniti ove slojeve.

Posljednjih desetak godina izvršen je čitav niz različitih istražnih radova namijenjenih otvaranju površinskog kopa Drmno. Navest ćemo one koji su vezani uz problematiku što je tretira ovaj rad.

Izbušeno je 276 strukturnih bušotina. Pomoću njih je tačno određen položaj i debljina III sloja ugljena, te litoški sastav njegove krovine. Bušotine su raspoređene u gustoj i pravilnoj mreži (prilog br. 3).

H. Weiland (1957) izvodio je temeljita istraživanja podzemne vode u području Drmna.¹ Na 42 bušotine koje je dao izbušiti 2 godine su opažani pijezometarski nivoi podzemne vode kod prirodnog stanja i za vrijeme pokusnog crpenja na 4 izbušena bunara. On je odredio koeficijente propusnosti na lokalitetima bunara na temelju crpenja i dao približne propusnosti vodonosnih naslaga na čitavom području kopa. Razradio je također i režim podzemne vode i izradio karte hidroizopijeza (prilog br. 1).

Geološku građu Kostolca obrađivali su B. Milanović, J. Marjanović—Marković i K. Ledebur. Radove ovih autora koristio je B. Milaković u svom sažetom i reinterpretiranom izvještaju (1957), odakle smo ih i mi koristili.

Institut »Jaroslav Černi« iz Beograda vršio je hidrološke studije ovog područja vezane uz vodoprivredno rješenje donjeg toka rijeke Mlave (Vladislavljević & dr., 1960).

Energetsko industrijski kombinat Kostolac povjerio je poduzeću »Geoistraživanja« iz Zagreba zadatak da na osnovi rezultata postojećih istražnih radova i uz dopunska istraživanja izradi idejni projekt odvodnjavanja površinskog kopa Drmno. U okviru dopunskih istraživanja »Geoistraživanja« su u 1960. godini izradila skupinu od 4 bunara s manjim međusobnim udaljenostima, te odgovarajuće satelitske bušotine za opažanje nivoa podzemne vode za vrijeme crpenja iz tih bunara. Pokusnim crpenjem, koje je iste godine izvedeno, utvrđen je međusobni utjecaj linijskog niza bunara da bi se mogli izvršiti proračuni crpenja za odvodnjavanje površinskog kopa. Dobiveni su i drugi ekonomsko-tehnički pokazatelji potrebni za izradu idejnog projekta odvodnjavanja.

Glavni projektant odvodnjavanja je B. Švel. Kod projekta na obradi dionica vezanih uz ovaj rad surađivali su: kod izrade hidrauličkog računa J. Grčić, kod rukovođenja istražnim radovima što su ih izvela »Geoistraživanja« i njihove obrade A. Aljinović, a kod obrade hidrogeoloških odnosa autori ovog prikaza uz sudjelovanje V. Babić i N. Nowinski (Švel & dr., 1960). Kod izrade ovog prikaza koristili smo djelomično i rezultate njihovog rada i neke sugestije, pa im ovom prilikom svima izražavamo zahvalnost.

Zahvaljujemo također P. Markoviću, R. Martincu i A. Hinštu, koji su izradili grafičke priloge.

¹ Pod podzemnom vodom u ovom se radu podrazumijeva slobodna podzemna voda, tj. ona voda koja se može gibati pod utjecajem gravitacije.

OPCI PODACI

Stratigrafski pregled

Prema B. Milakoviću (1957), osim kristalastih škriljavaca kod Rama, čitav kraj pokrivaju tercijarni i kvartarni sedimenti. Od tercijara dolazi panon i pont, a i oni su najvećim dijelom pokriveni praporom i aluvijalnim nanosom rijeke Mlave i Dunava.

Panon se sastoji iz donjeg pjeskovitog i gornjeg glinovitog dijela. Između njih se pojačavaju ugljen. Slojevi ponta nalaze se na sjeverozapadu bazena. Raščlanjeni su na osnovi litologije i raspodjele slojeva ugljena na donji i gornji pont.

Donjem pontu je pripojena podina III sloja ugljena na osnovi sličnosti s ostalim nalazištima. Južna granica donjeg ponta prolazi južno od sela Bradarac, dok mu sjeverna granica ide izdancima III sloja ugljena. Ovaj stratigrafski članak nije paleontološki dokumentiran.

Gornjem pontu pripada čitav glavni dio produktivne serije kostolačkog bazena. Podijeljen je na gornji i donji dio. Donjem dijelu gornjeg ponta pripadaju naslage između III i I sloja ugljena, a to su pretežno glinoviti sedimenti u kojima je uložena II sloj s njegovom pjeskovitom krovinom, koja se na zapadu izmjenjuje s glinama.

Taložine ponta su u kostolačkom bazenu pokrivene kvartarnim naslagama. Zastupljen je pleistocen i holocen. Pleistocenu pripada prapor, koji je dijelom barski a dijelom kopneni. Na Požarevačkoj Gredi (Leštavskom grebenu) on je debeo oko 15 m. Holocenske starosti su fluvijalni nanos Mlave i Dunava u njihovim dolinama. Izgrađuju ih šljunkovite i pjeskovite taložine, koje su upodručju Drmna pretežno pokrivene glinovitim i glinovito-pjeskovitim naslagama. Holocen je debeo i do 40 m.

Tektonski pregled

Tektonika kostolačkog ugljenonosnog bazena karakterizirana je blagim padom slojeva prema sjeverozapadu pod kutom od 8—15°. Postoje pretpostavke o većim rasjedima pružanja sjever jug, ali oni nisu dokazani dosadašnjim bušenjima. Produktivne naslage su prekinute pod Dunavom rasjedom položenim u pravcu istok zapad. Sjeverno se krilo ovog rasjeda spustilo.

Ležište ugljena

Sva tri pontska sloja ugljena dobro su istražena. Prvi rudarski pogoni otvoreni su već koncem prošlog stoljeća. Slojevi ugljena su ovako poredani: najgornji je I ili krovni sloj, oko 40 m pod njim je II ili srednji sloj i 0—60 m pod njim je III ili podinski sloj. Pod Leštavskim grebenom se II i III sloj gotovo spajaju.

I i II sloj prostiru se samo pod sjevernim dijelom Leštavskog grebena. III sloj se proteže otprilike pod čitavim područjem koje je obuhvaćeno kartom (prilog br. 1).

III sloj je najboljeg kvaliteta i najdeblji je: u području površinskog kopa ovaj je sloj debeo prosječno 16,7 m. On će se eksploatirati površinskim kopom Drmno.

Rijeka Mlava, koja teče sredinom eksploatacionog područja, dijeli III sloj ugljena na zapadni dio (pod Leštavskim grebenom) i istočni dio (Drmno).

Pogledamo li položaj površinskog kopa Drmno (prilog br. 1), vidimo da rijeka Mlava teče preko njegovog zapadnog dijela. Kod prve varijante projekta površinskog kopa kop je trebao biti manji; jugozapadna je granica kopa bila postavljena više prema sjeveroistoku, istočno od rijeke.

No time ne bi bio iskorišten ugljen pod Mlavom i širokim pojasom oko rijeke, koji bi se zbog poplava morao ostaviti kao sigurnosni stup. Iz rijeke bi se također infiltrirale ogromne količine vode u podzemlje, a time i u kop — odakle bi ih trebalo crpiti, što bi mnogo povećalo troškove proizvodnje.

Postoje i druge rudarske ekonomske i tehničke nepogodnosti takvog manjeg kopa. Zato su projektanti kopa u drugoj varijanti odlučili sačlašnje korito Mlave. Novo rječno korito prolazit će istočno od kopa.

Prema podacima iz investicionog programa otvaranje površinskog kopa Drmno, u granicama druge varijante kopa ima preko 50% više zalihâ nego kod prve varijante (Zorić & dr., 1961.).

Hidrološki podaci

Ovdje će biti navedeni neki hidrološki podaci, koji su potrebni za obradu hidrogeoloških odnosa, a koje su dali M. Vukčević i N. Đorđević u sklopu idejnog projekta devijacije donjeg toka rijeke Mlave (Vladislavljević & dr., 1960).

Površinski kop Drmno nalazi se neposredno uz ušće Mlave u Dunavac (Dunav), u ravnici Stig, za koju je karakterističan podunavski režim oborina. Najviše oborina pada ljeti, nešto manje u proljeće i u jesen, a zimi najmanje. Prosječne godišnje oborine, mjerene na stanici Požarevac (oko 10 km južno od kopa), za period 1925—1940. i 1946—1959. godine iznose 638 mm.

U najbližoj okolini površinskog kopa dva su površinska toka: Dunavac i Mlava. Protjecajne količine Dunavca praktički su neograničeno velike jer, je to rukavac Dunava koji je s Dunavom neposredno i dobro vezan. Dunavac je udaljen od kopa prosječno oko 4 km.

Mlava je važnija kod rješenja odvodnjavanja kopa, jer teče preko njegovog zapadnog ruba, a udaljena je od središta kopa oko 2 km. Protjecajne količine Mlave nisu mjerene kod samog kopa nego oko 28 km uzvodno, na vodomjernoj stanici Rašanac. Vrijednosti mjerene u Rašancu mogu poslužiti kao orijentacioni podaci i za sektor uz kop, pošto je stanica Rašanac smještena u ravnici Stig, i to nizvodno od svih pritoka Mlave, osim Vitovnice. Dok površina sliva Mlave iznosi 1686 km², stanica u Rašancu obuhvata sliv površine 1196 km², a sliv Vitovnice ima površinu 288 km², ili stanica u Rašancu zajedno s Vitovnicom 1484 km², tj. 88% sliva Mlave.

Srednji protok u Rašancu za period 1924—1941. i 1949—1959. godine je 903 m³/s; dok je samo za period 1949—1959. godine viši — iznosi 1041 m³/s. Srednji prtok Vitovnice za period 1949—1959. godine iznosi 0,776 m³/s.

Na ušću Mlave u Dunavac registrirani su sljedeći vodostaji: najveća opažena voda 71,97 m apsolutne visine; srednje velike vode 70,20 m; srednje vode 67,25 m; srednje male vode 65,08 m; najmanje opažena voda 64,03 m.

Već je kod opisa ležišta ugljena navedeno da će se izvršiti devijacija korita Mlave. Skretanje će se izvršiti desetak godina nakon početka eksploatacije kopa. Devijacijom će se osim pogodnosti kod rudarenja, pomoću i vodoprivrednom rješenju čitavog donjeg toka Mlave.

Kod mjesta Babušnice, oko 3 km uzvodno od površinskog kopa projektirano je skretanje korita Mlave prema istoku. Novo korito je dimenzionirano s propusnom moći za najveće velike vode Mlave (300 m³/s). Na mjestu skretanja izgradit će se nasuta brana. Ona treba spriječiti prodor katastrofalnih voda Mlave u područje kopa. I Dunavac će biti pregrađen, i to uzvodno i nizvodno od sadašnjeg ušća Mlave.

Područje kopa, koje je ovim branama izolirano od površinskih tokova, ima površinu oko 30 km². Potrebno je odvesti i vodu koja će ovuda teći nakon oborina i onu koja će se infiltrirati kroz branu. Ova će se voda kanalima odvesti do crpne stanice, odakle će gravitacijom otjecati u Dunavac kroz propust u brani, dok je vodostaj u Dunavu niži od 69,00 m. Kod višeg vodostaja, a to je u manjem dijelu godine, voda će se crpkom prebacivati u Dunavac.

Kod izrade projekta devijacije nije uzeta u obzir izgradnja brane za hidrocentralu na Đerdapu, a time i manje podizanje srednjeg vodostaja Dunava na ušću Mlave. Pošto se mora uzeti u obzir ovaj viši vodostaj trebat će izvršiti izmjene apsolutnih visina nekih hidrotehničkih objekata, projektiranih za devijaciju korita, kako je to odlučeno na reviziji projekta otvaranja površinskog kopa.

VODONOSNE NASLAGE

Vodonosni horizonti

Kod eksploatacije III sloja ugljena površinskim kopom rudarski radovi su ugroženi od podzemne vode koja se nalazi u svim propusnim naslagama iznad ugljena i u onima koje su u njegovoj neposrednoj podini. Pretpostavljamo da podzemna voda iz starijih naslaga ne može utjecati na rad kopa, jer stariji vodonosni horizonti nisu vezani s onima uz III sloj ugljena.

U području Drmna krovinske vodonosne naslage — a to su pijesak gornje pontske starosti i holocenski šljunak s pijeskom — predstavljaju jedinstveni vodonosni horizont, pošto ovi propusni sedimenti nisu međusobno odvojeni nikakvim nepropusnim tvorevinama. Ove su propusne naslage prekrivene glinovitim ili glinovito-pjeskovitim sedimentima, koji su na istočnom rubu kopa debeli i više od 30 m, a prema zapadu se postepeno stanjuju, tako da ih pod Mlavom na području kopa uopće nema (prilog br. 3).

Vodonosne naslage u podini ugljena nisu dovoljno istražene. To je pijesak koji se pojavljuje na nekim mjestima. Da li su to samo izolirane leće ili pak gornji dijelovi prostranih i debelih vodonosnih naslaga, nije sasvim sigurno, jer je podina ugljena samo nabušena, pošto je glavna svrha ranijeg bušenja bila probušiti sloj ugljena i, osim toga, samo utvrditi litološki sastav njegove krovine i neposredne podine.

Zanimljiv je predjel koji se nalazi na središtu sjeverozapadne granice kopa, par stotina metara prema istoku. Tamo na površini od oko 0,1 km² nedostaje III sloj ugljena. Prema podacima iz velikog broja susjednih bušotina, tu bi ugljen trebao biti na dubini od oko 50—70 m pod površinom terena. No neke bušotine, koje su smještene u tom sektoru, bušene su i do dubine od preko 100 m, a nisu nabušile ugljen. Razlog je ovoj pojavi vjerojatno isklinjenje ugljena.

Za nas je naročito važno što su sve te bušotine, osim glinovitog pokrova pod samom površinom, u ustalom dijelu nabušile samo pijesak. Tamo, gdje bi već morala biti nabušena podinska glina — kada već nerna ugljena, nalazi se još uvijek pijesak. Pitanje je da li je to izolirana pojava pijeska u podini ugljena — iako u ovom slučaju već nešto znatnijeg prostranstva — ili je to dio velikog pješčanog tijela. Najbliže susjedne bušotine, koje su već nabušile ugljen, utvrdile su glinovitu podinu. Bušeno je tek 5—10 m pod slojem ugljena, pa nije poznato koliko se duboko proteže ta glina.

U ostalom području III sloj ugljena zajedno s masnim glinama u svojoj podini, predstavlja nepropusnu barijeru i sasvim odvaja krovinski vodonosni horizont od eventualnog podinskog.

Debljina krovinskih vodonosnih naslaga varira. Usprkos znatnih lokalnih razlika može se pratiti postepeno istanjivanjem vodonosnih naslaga od sjeverozapadne prema jugoistočnoj strani površin-

skog kopa. Dok na sjeverozapadu njihova debljina varira od 20 do 40 m, na jugoistoku ona iznosi tek 5—10 m.

Zbog boljeg uvida izrađena je karta izopahita krovinskih vodonosnih naslaga (prilog br. 3). Na njoj su ucrtane još i izopahite šljunka, pošto on u najvećoj mjeri utječe na propusnost sedimenta. Ucrtane su također i izohipse krovine III sloja ugljena.

Pod Leštavskim grebenom — na zapadu hidrogeološka slika podzemlja je nešto drugačije. Tamo krovinski gornje pontski pijesak dolazi u obliku velikih, do 1 km prostranih leća. U ovom predjelu nema na površini holocenskih taložina nego samo pleistocenskih, koje se pak odlikuju nešto većom propusnošću u vertikalnom pravcu. Kako su leće pontskog pijeska uložene u glinovite sedimente i ne izlaze na površinu na mjestima gdje ih prekrivaju pleistocenske tvorevine, ne postoji podzemna vodna veza između pontskog pijeska i pleistocenskog pokrova. Ali zato postoji bočna veza između ovih leća i holocena Mlave i Morave.¹

Granulometrijski sastav naslaga

Glinovito pjeskoviti pokrivač — obzirom na tačan granulometrijski sastav — ustvari predstavlja prah.² Mjestimice je to i prah s više od 40% sitnog pijeska i pijeska srednje veličine zrna. Ovo su sedimenti u kojima prevladuje jedna frakcija, pa im je Hazenov koeficijent jednolikosti zrna³ $\frac{d_{60}}{d_{10}} \approx 10$

Holocenski šljunak, prema geološkim determinacijama strukturalnih bušotina, predstavlja uglavnom mješavinu u kojoj su zastupane sve frakcije od srednjeg šljunka do srednjeg pijeska. Mjestimice se tu nađe i čistog šljunka s vrlo malo pijeska, a mnogo češće uložaka s vrlo malo primiješanog šljunka.

Na raspolaganju nam je bio samo vrlo malen broj granulomet-

¹ Rijeka Morava teče na zapadu od kartom obuhvaćenog područja.

² Kod granulometrijskog sastava pridržavali smo se slijedeće, u stručnoj literaturi najšire prihvaćene, klasifikacije.

valutice	veće od 60	mm
krupni šljunak	20 — 60	"
srednji šljunak	6 — 20	"
sitni šljunak	2 — 6	"
krupni pijesak	0,6 — 2	"
srednji pijesak	0,2 — 0,6	"
sitni pijesak	0,06 — 0,2	"
krupni prah	0,02 — 0,06	"
srednji prah	0,006 — 0,02	"
sitni prah	0,002 — 0,006	"
glina	manje od 0,002	"

³ d_{60} , odnosno d_{10} predstavlja onaj promjer oka sita kroz koji mora proći najviše 60, odnosno 10, težinskih postotaka nekog uzorka.

rijskih analiza šljunka. U tima su podjednako dominirale po dvije frakcije materijala; jednolikost zrna im, dakle, nije bila tako dobra kao kod glinovitih sedimenata, pa im je $\frac{d_{60}}{d_{10}} \approx 30$. Kod krupnozrnijeg holocenskog pijeska, na temelju većeg broja uzoraka, vidi se da je sortiranost zrna još manja pa je $\frac{d_{60}}{d_{10}} \approx 50$.

U gornjopontskom pijesku u prosjeku ima podjednakih dijelova praha, sitnog pijeska i srednjeg pijeska. Zato se na pogled doima kao sitnozrni pijesak. No u toj pretežno homogenoj masi sitnijeg pijeska mjestimice dolaze po nekoliko metara debeli ulošci u kojima prevlađuju srednji ili čak krupni pijesak. Nađe se i po koji do 1 m deo uložak u kojemu, osim krupnijeg pijeska, ima i sitnijeg šljunka.

Gline u podini sloja ugljena su prilično čiste. Obzirom na tačan granulometrijski sastav, to je još uvijek uglavnom sitni prah sa znatnim sadržajem frakcije manje od 0,002 mm.

Sitnozrni gornje pontski pijesak i gline u podini ugljena odlikuju se nešto boljom sortiranošću, $s = \frac{d_{60}}{d_{10}} \approx 20$, što je rezultat mirnije, bazenske sedimentacije — za razliku od slabije sortiranosti krupnozrnijih tvorevina.

Koeficijenti propusnosti naslaga

Od svih hidrogeoloških parametara vodonosnih naslaga u Drmnu najbolje poznajemo koeficijent propusnosti (k).

Prvi ga je obrađivao M. Majšajder (1953) vršeći geomehnička ispitivanja na 16 bušotina smještenih u području kopa. U laboratoriju je utvrdio da koeficijent propusnosti krovinskih vodonosnih naslaga varira od $2,6 \cdot 10^{-5}$ do $7,0 \cdot 10^{-4}$ m/s, što predstavlja relativno dobru propusnost. Za koeficijent propusnosti glinovitog pokrivača ocijenio je da je manji od 10^{-9} m/s, što pak predstavlja praktički nepropustan materijal, pa mu propusnost nije laboratorijski ni određivao.

Daljnje podatke o propusnosti vodonosnog sloja u krovini ugljena dao je H. Weiland (1957). On je dao izbušiti 4 pokusna bunara. Bunari su poredani duž kopa na međusobnoj udaljenosti od 800—1200 m. Na krajnjem sjeveroistočnom bunaru $k = 2,57 \cdot 10^{-4}$ m/s, na slijedećem do njega — idući prema jugozapadu — $k = 4,71 \cdot 10^{-4}$ m/s na daljnjem $k = 3,07 \cdot 10^{-4}$ m/s i na krajnjem jugozapadnom — koji je udaljen od rijeke Mlave oko 800 m — $k = 6,55 \cdot 10^{-4}$ m/s. Dakle, svi su istog reda veličine.

Weiland je izradio diagram ovisnosti koeficijenta propusnosti o procentualnom udjelu šljunka u debljini čitavog vodonosnog sloja. Tako je dobio da čisti šljunak ima $k = 1,2 \cdot 10^{-3}$, a čisti pije-

sak $k = \text{cca } 8 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$. Taj »čisti« pijesak je ranije spominjana mješavina približno jednakih dijelova praha, sitnog i srednjeg pijeska, koju nazivamo sitnim pijeskom. Kod udjela šljunka oko 8—80% koeficijent propusnosti varira u intervalu $1,0—10,0 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$.

Sada je shvatljivo zašto su koeficijenti propusnosti svih spomenutih bunara istog reda veličine. Bunari su nanizani u pravcu paralelnom s pružanjem slojeva, i to na potezu uz sjeverozapadnu stranu sadašnje varijante kopa. Tu su oni nabušili u glavnom podjednako debeo sloj gornje pontskog pijeska, ali i sličnu debljinu holocenskog šljunka, pa se odnos šljunak : pijesak ne mijenja toliko da bi mogao uzrokovati veće promjene (srednjeg) koeficijenta propusnosti čitavog vodonosnog sloja.

Kod obimnih hidrogeoloških radova, koje su »Geoistraživanja« izvodila zbog rješenja odvodnjavanja krekanskog ugljenonosnog bazena, koeficijente propusnosti smo odredili pomoću diagrama koji je izrađen na temelju rezultata nekoliko stotina granulometrijskih analiza i terenskih određivanja propusnosti, što su ih izvršili američki autori (Creager, Justin & Hinds, 1950, p. 649). Kod pokusnog crpenja utvrđeno je da su sasvim zadovoljavajuće vrijednosti, dobijene po ovom diagramu.

Istu smo metodu primijenili i u Kostolcu, pošto postoji nekoliko strukturnih bušotina s područja kopa i iz njegove bliske okoline iz kojih su uzimani uzorci za granulometrijsku analizu. Na temelju oko 330 analiza dobili smo prosječne vrijednosti za koeficijente propusnosti pojedinih sedimenata (tabela br. 1).

Tabela 1

S t i j e n a	Broj uzoraka	Koeficijent propusnosti [m/s]
pjeskovita glina (holocen)	112	$5,4 \cdot 10^{-8}$
šljunak (holocen)	5	$8,7 \cdot 10^{-4}$
srednji do krupni pijesak (holocen i gornji pont)	33 i 14	$2,1 \cdot 10^{-6}$
sitni pijesak (gornji pont)	148	$5,0 \cdot 10^{-7}$
glina iz podine III sloja ugljena (donji pont)	20	$3,0 \cdot 10^{-9}$

No, usporedimo li ove podatke s vrijednostima koje daje H. Weiland, vidimo da kod šljunka razlike gotovo i nema. Samo je kod sitnog pijeska razlika vrlo velika. Podaci, dobijeni prema diagramu Creagera & dr, oko 15 puta su manji. Veličine, koje daje H. Majšajder su pak najveće, kao da je on određivao propusnost samo pjeskovitog šljunka, a ne čitavog vodonosnog

sloja u krovini ugljena. Zanimljivo je da se veličine koeficijenta propusnosti za šljunak slažu kod svih.

Da bi još bolje ocijenili vrijednost podataka navedenih autora, poslužimo se slijedećim primjerom:

Raniji najistočniji bunar s $k = 2,57 \cdot 10^{-4}$ m/s pokazuje identičnu propusnost kao i srednja vrijednost skupine od 4 bunara koji su kasnije bušeni, a koji se nalaze u njegovoj blizini. Srednja vrijednost iz skupine bunara ($2,53 \cdot 10^{-4}$) među svima ostalima predstavlja najegzaktniji podatak, jer je dobijena iz 4 bunara, i to kod dva sniženja dinamičkog nivoa, a pojedinačni podaci su varirali u intervalu $1,16 - 3,26 \cdot 10^{-4}$ m/s.

U središtu skupine bunara nalazi se jedna bušotina kojoj je jezgra granulometrijski analizirana. Ako pomoću prije spomenutog dijagrama odredimo k_{sr} za čitavu bušotinu, dobijemo $2,34 \cdot 10^{-5}$ m/s. Ova vrijednost je za 10 puta manja od one najtačnije ($2,53 \cdot 10^{-4}$ m/s), ako izračunamo koeficijent propusnosti krovinskih vodonosnih naslaga ovog područja prema diagramu H. Weiland, tj. u ovisnosti o udjelu šljunka dobijemo vrijednost $1,7 \cdot 10^{-4}$ m/s koja je istog reda veličine kao one tačne vrijednosti.

Zato veličine koeficijenta propusnosti, dobijene iz dijagrama $k = f$ (% šljunka) možemo smatrati dobrim podacima, iako su i oni još uvijek samo orijentacione vrijednosti.

Koeficijenti propusnosti, dobijeni pomoću dijagrama C r e g e r a & dr. mogu nam barem poslužiti u Drmnu kao približni relativni pokazatelji propusnosti onih sedimenata za koje se ne mogu odrediti vrijednosti iz spomenutog dijagrama (H. Weiland).

Tako je, na primjer, nađeno da na nekim mjestima glinoviti pokrivač pokazuje veću propusnost nego što se smatralo nakon kategoričkih procjena H. M a j š a j d e r a. Na jednoj bušotini srednji koeficijent propusnosti čitavog glinovitog sloja iznosi $1,8 \cdot 10^{-7}$ m/s što pak nije pokazatelj praktički nepropusnog materijala. Da ima takvih propusnijih predjela uvjerali smo se za vrijeme izvođenja pokusnih bunara u 1960. godini. Primjećeno je da se iz bazena, u kojem se akumulira velika količina vode potrebne kod bušenja dubokih bunara širokog promjera reverznim ispiranjem, gubila velika količina vode. Do 1,5 m duboki bazeni iskopani su u tom glinovitom materijalu bez impregnacije bokova ili dna bazena kakvom nepropusnom materijom. U jednom bazenu s površinom 241 m², gubitak je iznosio 290—312 l/min. tj. $1,21-1,29$ l min⁻¹ m⁻². Pri tome je nivo vode u bazenu bio oko 1,2 m iznad dna.

Propusna moć naslaga

Za ocjenu stvarne propusnosti kod ovakvih hidrogeoloških uvjeta, kakvi postoje u području Drmna, umjesto samog koeficijenta propusnosti bolje je upotrebiti umnožak srednjeg koeficijenta

propusnosti čitavog vodonosnog sloja i njegove debljine. Taj umnožak nazovimo propusnom moći.¹

U tabeli br. 2 dani su podaci za sve strane površinskog kopa o debljini šljunka i debljini vodonosnih naslaga. Kvocijent ovih vrijednosti izražen u postocima predstavlja udio šljunka. U slijedećoj koloni dan je koeficijent propusnosti koji je određen iz Weilandovog diagrama $k = f$ (% šljunka). Granice sektora dane su prema oznakama koje su ucrtane na karti izopahita vodonosnih naslaga (prilog br. 3).

Tabela 2

Rub površinskog kopa	Sektor	Debljina šljunka	Debljina vodonosnih naslaga	Udio šljunka	Srednji koeficijent propusnosti	Propusna moć
		[m]	[m]	[%]	[m/s]	[m ² /s]
sjeverozapadni	A—D	7,0	32,6	21,5	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$8,5 \cdot 10^{-3}$
	A—B	8,7	31,9	27,3	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$9,0 \cdot 10^{-3}$
	B—C	6,7	34,3	19,5	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$7,9 \cdot 10^{-3}$
	C—D	5,6	31,6	17,7	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$6,5 \cdot 10^{-3}$
sjeveroistočni	D—E	4,4	19,9	22,1	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$5,4 \cdot 10^{-3}$
jugoistočni	E—H	5,1	8,9	57,3	$7,4 \cdot 10^{-4}$	$6,6 \cdot 10^{-3}$
	E—F	5,0	9,7	51,6	$6,6 \cdot 10^{-4}$	$6,4 \cdot 10^{-3}$
	F—G	5,1	5,3	96,2	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$5,8 \cdot 10^{-3}$
	G—H	5,3	11,6	45,7	$5,8 \cdot 10^{-4}$	$6,7 \cdot 10^{-3}$
jugozapadni	A—H	8,2	18,2	47,7	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-2}$

Analizirajući podatke iz tabele, vidimo da se jugoistočni i jugozapadni rub kopa odlikuju 2—3 puta većim koeficijentom propusnosti od ostala dva ruba. No ove strane površinskog kopa ne mogu propuštati i veće količine podzemne vode od drugih strana, što je vidljivo iz veličina propusne moći. Zapadni rubovi kopa imaju veću stvarnu propusnost od istočnih.

Specifična izdašnost

Ova veličina, koja predstavlja udio slobodne podzemne vode u odnosu na obujam vodonosne stijene, baza je za određivanje statičkih (stalnih) zaliha podzemne vode u nekom području.

¹ U američkoj terminologiji propusnoj moći odgovara izraz transmissibility.

H. Weiland (1957) je kod svojih proračuna uzeo da je specifična izdašnost (μ) šljunka 0,33, a pijeska 0,28. Nije nam poznato na čemu se temelji ili iz koje su literature uzeti ovi podaci.

Mnogi autori hidrogeoloških studija ili rasprava tretirali su i izdašnosti stijena. Većina od njih, dali su podatke o specifičnoj izdašnosti ne za egzaktno definirani sediment nego globalno (npr. za sitni pijesak, srednji pijesak itd.). Takve je podatke teško koristiti, jer ima klastičnih materijala koji se sastoje iz samo jedne frakcije, a i onih u kojima je podjednako zastupljeno nekoliko frakcija. Prema tome, prvi sedimenti imaju vrlo malen postotak sitnih frakcija, što pak nije slučaj s drugima; a znamo da upravo najsitnije frakcije u nekoj stijeni, zajedno s poroznošću, predstavljaju bitan faktor o kojemu ovisi veličina izdašnosti te stijene.

Zato su upotrebljiviji oni podaci koji prikazuju izdašnost nekog sedimenta u ovisnosti o efektivnom promjeru zrna (d_e). Kod specifične izdašnosti općenito je prihvaćeno da je $d_e = d_{10}$.

Obradili smo rezultate istih granulometrijskih analiza koje smo upotrebili i kod obrade koeficijenta propusnosti. Prema F. H. Kingu preko jednog autora (Plotnikov, 1959, p. 85) holocenski šljunak s prosječnim $d_{10} = 0,17$ mm ima $\mu = 0,21$, a preko drugih (Schneider, Truelsen & Thiele, 1952, p. 15) još manje, svega 0,13. Prema R. Eckisu bio bi $\mu = 0,16$ (Todd, 1959, p. 23). A. M. Agadžanov (1959) daje najvišu vrijednost: 0,30. Holocenski ili gornje pontski srednje krupni pijesak s prosječnim $d_{10} = 0,030$ imao po Kingu $\mu = 0,08$, odnosno 0,04, dok je po Agadžanovu $\mu = 0,12$. Gornje pontski sitnozrni pijesak s prosječnim $d_{10} = 0,0052$ ima po Agadžanovu $\mu =$ oko 0,01, dok po Kingu ovaj materijal ne bi uopće imao slobodne podzemne vode.

Kao što vidimo, kod šljunka ne postoje velike razlike između podataka koje daje Weiland i podataka dobivenih prema Agadžanovu, dok su vrijednosti po Kingu znatno manje. No kod pijeska su razlike neprihvatljivo velike. Krupnozrniji pijesak, prema podacima iz literature, pokazuje još kakvu-takvu izdašnost; dok sitnozrniji — a koji predstavlja glavni dio pijeska u Drmnu — pak nikakvu.

Da razmotrimo ipak kakve podatke daju oni autori, koji nisu tretirali specifičnu izdašnost u ovisnosti o efektivnom promjeru zrna nego o dominirajućoj frakciji. Po J. F. Polandu, G. H. Davisu, F. H. Omlstedu i F. Kunkelu kostolački bi šljunak mogao imati oko 0,25, a sitnozrni pijesak cca 0,10 (Todd, 1959, p. 25). Ovo su vrlo autoritativni podaci, jer su temeljeni na proračunima stvarnog crpenja oko 3.000 bunara izbušenih u Sacramento Valleyu, u Kaliforniji. Prema S. V. Trojanskom, A. S. Belickom i A. I. Čekinu (1956, p. 55) ovakav bi šljunak imao oko 0,30, a sitnozrni pijesak 0,15.

Prema tome, smijerno pretpostaviti da u Drmnu šljunak može imati specifičnu izdašnost 0,25—0,30, a pijesak 0,10—0,15.

HIDROGEOLOŠKI ODNOSI KOD PRIRODNIH UVJETA

Kao što smo vidjeli iz dosadašnjeg izlaganja, vodonosna krovina predstavlja odličnu komunikaciju za prirodno protjecanje podzemne vode iz ravnice Stig prema njenoj gravitacionoj bazi: u rijeke Mlavu i Dunavac, odnosno u Dunav. Ove se rijeke napajaju podzemnom vodom u području kopa i njegovoj okolini za vrijeme svojih niskih i srednjih vodostaja. One ujedno predstavljaju jedinu prirodnu drenažu ovog područja, pošto nema drugih površinskih vodnih tokova.

Takva je situacija vidljiva i na karti hidroizopijeza. Podzemna voda u širokom i uglavnom pravilnom frontu protječe od istok-jugoistoka preko površinskog kopa prema zapadu i sjeveru.

Osim podzemnog dotoka iz istok-jugoistoka, moramo računati i na dio vode, iako mnogo manji, koji pristiže u podzemlje poniranjem oborina na području samog kopa.

U ranijem izlaganju, kod opisa propusnosti naslaga, vidjeli smo da je glinoviti pokrivač sastavljen, osim od relativno čistih glinovitih sedimenata, još i od glinovito pjeskovitih materijala koji pokazuju stanovitu propusnost, barem u vertikalnom pravcu. Debljina ovog pokrivača varira od 0 m na zapadu do 30 m na istoku, dok u prosjeku iznosi oko 18 m. Na području, koje on prekriva, i kod najnižih vodostaja rijeke Mlave i Dunavca nivo se podzemne vode u bušotinama ne spušta ispod njegove donje granice. Zato voda, koja se nalazi u krovinskom vodonosnom sloju, za najveći dio kopa predstavlja subartešku vodu.

U zapadnom dijelu kopa, u blizini Mlave nivo podzemne vode — ovdje još slobodan — nalazi se 1—2 m pod površinom terena. Pošto je teren strmije nagnut od pijezometarskog nivoa, u središnjim dijelovima kopa nivo je oko 10 m pod površinom terena, a 5—10 m iznad nepropusne krovine vodonosnih naslaga. Na istočnom dijelu kopa nivo je već i do 20 m pod površinom terena, a 10 do 12 m iznad nepropusne krovine. Ovo su odnosi koji odgovaraju stanju nivoa kakvi su prikazani na karti hidroizopijeza, tj. za razdoblje od 5 do 10. III 1954. godine. Nema bitnijih promjena visine nivoa u vezi s godišnjim dobima. Tokom godine nivoi variraju maksimalno do 2 m, a prosječno za oko 1 m.

Prema podacima opažanja pijezometarskih nivoa u kontrolnim bušotinama i vodostaju Dunava, Dunavca i Mlave u 1953. godini, u području Drmna zapažaju se dva izrazita režima podzemne vode.

Na čitavom području površinskog kopa, sve do oko 1 km u blizini Mlave, te u predjelu na istoku i jugoistoku od kopa vlada režim kod kojeg na stanje nivoa najveći utjecaj vrši prirodno protjecanje podzemne vode iz istok-jugoistoka, iz ravnice Stig. Pijezometarski nivoi odražavaju generalne karakteristike pluviometrijskog režima ovog kraja. Oni imaju blage i vrlo široke maksimume tokom ljeta i početkom jeseni, bez ikakvih reakcija na kratkotrajne visoke vode susjednih površinskih vodenih tokova.

Na pojasu uz Mlavu i, nešto širem, uz Dunavac zbog visoke propusnosti vodonosnih naslaga nivoi podzemne vode, bilo da su slobodni bilo pod pritiskom, odmah reagiraju na sve promjene vodostaja najbližeg površinskog toka.

Kod obrade propusne moći vodonosnih naslaga vidjeli smo da se predjel, koji se nalazi na jugoistoku od kopa, odlikuje manjom propusnošću. Pregledamo li kartu hidroizopijeza naći ćemo potvrdu tom mišljenju. Ovaj predjel ima primjetno gušće izolinije pijezometarskog nivoa nego samo područje kopa i područje između kopa i Mlave. Veću gustoću hidroizopijeza kod ovakvih hidrogeoloških uvjeta mogla je uzrokovati samo manja propusna moć vodonosnih naslaga.

Zato je u čitavom ovom predjelu protjecanje stabilnije. Naime, pijezometarski nivo nije podložan utjecajima naglih promjena vodostaja susjednih rijeka nego samo pravilnim i dugotrajnim sezonskim utjecajima količina oborina u ravnici Stig i predjelima koji hidrogeološki gravitiraju ovoj ravnici. U ovom području pijezometarski nivoi osciliraju najviše za oko 0,8 m.

HIDROGEOLOŠKI ODNOSI KOD IZMIJENJENIH UVJETA (ZA VRIJEME ODVODNJAVANJA POVRŠINSKOG KOPA)

Nivo podzemne vode u krovinskim vodonosnim naslagama, koji se sada nalazi (kao pijezometarski nivo) približno od 22 do 67 m ili prosječno oko 50 m iznad podine ugljena, potrebno je za realizaciju projekta kopa spustiti prosječno za oko 33 m.

Nad ugljenom se nalazi, uključivši glinoviti pokrov, prosječno 37,7 m krovinskih naslaga. Da bi se mogao otkriti ugljen, krovinske naslage je potrebno skidati u više etaža, a i sam se ugljen ne može pridobivati samo s jednom etažom. Na tim će se etažama nalaziti vrlo teška postrojenja za otkopavanje, sakupljanje i transport bilo jalovine bilo rudne supstance. Zbog sigurnosti rada i postrojenja poželjno je potpuno odvodniti krovinske naslage.

Odvodnjavanjem će se nadalje omogućiti izrada strmijih pokosa i užih etaža na kopu, a time i velike uštede zbog otkopavanja manjih količina jalovine.

Prema tome, zbog mnogih razloga treba što poptunije odvodniti vodonosne krovinske sedimente. Nivo podzemne vode treba spustiti — po mogućnosti — do same gornje granice sloja ugljena.

Kod dubokog spuštavanja nivoa na toliko velikoj površini, kao što je otvor kopa i područje njegove bliže okoline, podzemna voda će dotjecati u kop iz pet, nazovimo ih, izvora. To su: (1) postojeći prirodni podzemni dotok iz istok-jugoistoka; (2) infiltracija iz Mlave; (3) infiltracija iz Dunavca, odnosno Dunava; (4) dio oborinske vode koji će pasti unutar kopa, a koji se neće ispariti; (5)

dio oborinske vode koja će pasti na području što će ga zahvatiti depresija.

Spuštanjem nivoa podzemne vode zakrenut će se prema kopu smjer prirodnog podzemnog protjecanja na širokom sektoru, koji se sada uglavnom frontalno i pravilno odvija prema Mlavi i Dunavcu. Zakretanjem širokog fronta toka u kop, te spuštanjem gravitacione baze protjecanja povećat će se sadašnja protjecajna količina. Ovo povećanje neće biti odviše veliko, pošto krovinske vodonosne naslage na istoku i jugoistoku kopa tj. uzvodno, obzirom na smjer protjecanja — imaju manju propusnost.

Najveći dotok u površinski kop dolazit će sa strane rijeke Mlave. Najveća apsolutna visina gornje granice sloja ugljena iznosi 60,57 m. Najniži pak registrirani vodostaj Mlave je na apsolutnoj visini 64,03 m. Dakle, kod eksploatiranja bilo kojeg dijela površinskog kopa dotjecat će podzemna voda koja se procjeđuje u vodonosne naslage iz rijeke Mlave. Ovaj nepovoljni odnos visina potenciran je činjenicom da je korito Mlave u blizini kopa uspješno u-propusnim materijalima. Zbog tih okolnosti Mlava predstavlja granicu širenja depresije nivoa prema zapadu. Ovome treba dodati i sličnu situaciju kod Dunavca.

U kolikoj će mjeri utjecati Dunavac, odnosno Dunav, na dotok podzemne vode u kop nije sasvim jasno. I minimalni registrirani vodostaj Dunavca viši je od sloja ugljena na bilo kojem sektoru kopa. Uz Dunavac i Dunav postoji samo nekoliko bušotina. One pokazuju da se glinoviti pokrivač od kopa prema sjeveru stanjuje, a na jednoj bušotini uopće nije nabušen. Pretpostavimo li da je neposredno ispod ova dva površinska toka ista situacija — tj. tog pokrivača ili uopće nema ili je tanak a mjestimice i propustan zbog uobičajenog sadržaja pijeska — tada ćemo na potezu uz Dunavac, odnosno Dunav, imati slično stanje kao i uz Mlavu. Naime, depresija se neće širiti dalje prema sjeveru, nego će sva potrebna voda pristizati iz rijeke.

Na oborine koje će pasti u otvor kopa a koje se neće ispariti, u projektu odvodnjavanja računato je da otpada godišnje oko 150—300.000 m³ vode, ili prosječno samo oko 5—10 l/s.

Na kraju, naveli smo da će dio vode dotjecati u kop zbog poniranja oborina na području depresije kroz mjestimično propustan glinoviti pokrivač. Iako je propusnost ovog pokrivača vrlo malena, depresija će zahvatiti ogromnu površinu (nekoliko desetaka km²) pa će time ponirati ipak znatne količine vode; premda će one još uvijek biti najmanje među ostalim navedenim »izvorima«.

Takvo stanje postojat će samo u početku eksploatacije kopa dok se ne izvrši premještanje sadašnjeg korita Mlave. Novo korito prelazi preko istočnog dijela kopa. Ono će biti izrađeno tek kada se pod tim mjestima izvadi ugljen i ponovno konsolidira preložena jalovina, tj. oko desetak godina nakon početka eksploatacije. Prema rezultatima bušenja, novo korito bit će izgrađeno u nepropu-

snom terenu i ne očekuje se infiltracija rječne vode u podzemlje (Vladisaavljević & dr., 1960).

Pokušajmo razmotriti položaj podzemne vode nakon premještanja korita rijeke Mlave. Procjedna voda iz novog korita možda će ipak nešto malo deformirati depresionu plohu nivoa na jugu i istoku od kopa (kuda će tada novo korito prolaziti) zbog vjerojatno ne sasvim nepropusne podloge. Radius utjecaja depresije u tom području vremenom će se povećavati zbog intenzivnog i tada već dugotrajnog crpenja u kopu i dubokog sniženja nivoa u središtu depresije. Širenje utjecaja depresije bit će prigušeno manjom propusnošću vodonosnih naslaga okoline kopa u smjeru prirodnog dotoka podzemne vode.

Na liniji, koju predstavlja korito Dunavca, hidraulički se uvjeti ni nakon višegodišnjeg crpenja neće promijeniti, ako će se kroz korito procjeđivati dovoljna količina vode, što pretpostavljamo.

Bitna će promjena nastati na zapadu. Staro korito Mlave više neće predstavljati granicu širenja radiusa utjecaja crpenja. Depresija će se širiti dalje prema zapadu do kuda god se kontinuirano prostiru vodonosne naslage. Sudeći po podacima postojećih bušotina, ove naslage djelomično isklinjuju; pod Leštavskim grebenom nema šljunka, a pijesak dolazi samo u obliku prostranih leća vezanih uz dolinu Mlave. Ovakve leće davat će daleko manje količine vode od onih što su pristizale u podzemlje procjeđivanjem iz Mlave, a brzo će se i iscrpsti.

Još se jednom bitno mijenjaju hidrogeološki uvjeti u ovom području. To će nastati onda kada će se početi eksploatirati dublji dijelovi III sloja ugljena u području koje graniči sa zapadnim rubom površinskog kopa Drmno. Eksploatacija će se vršiti jamskim radovima (jama Čirikovac). Ta jama će moći također raditi tek ako se odvodni krovinski pijesak. Pijesak je, kao što je gore navedeno, taložen u obliku prostranih leća koje imaju vezu sa vodonosnim naslagama površinskog kopa. Duboko i dugotrajno spuštanje nivoa podzemne vode iznad jamskih otkopa izazvat će širenje depresije prema istoku, prema površinskom kopu Drmno. U ovu depresiju će dotjecati dio vode iz Dunavca. Ona bi, da nema odvodnjavanja jame, dotjecala u površinski kop.

Ova depresija će povući i manji dio prirodnog podzemnog protjecanja iz juga, koji bi se inače slijevao u depresiju nad kopom. To naročito vrijedi za vrijeme kada će se vaditi ugljen iz krajnjeg jugozapadnog dijela površinskog kopa.

ZAKLJUČAK

Površinski kop Drmno rudnika lignita Kostolac u stadiju pune eksploatacije spadat će u red najvećih rudarskih objekata u našoj zemlji. Da bi se ugljen mogao pridobivati, potrebno je odvodniti vodonosne naslage u krovini sloja ugljena. Poduzeće »Geoistraži-

vanja« iz Zagreba dobilo je zadatak izraditi idejni projekt odvodnjavanja kopa na temelju starijih i dopunskih istražnih radova. Autori ovog prikaza surađivali su kod izrade projekta obrađujući hidrogeološke odnose u području površinskog kopa.

U uvodnim poglavljima ovog rada, a mjestimice i kasnije, izvršena je sinteza podataka potrebnih za rješavanje hidrogeologije, a od kojih se mnogi nalaze raspršeni u različitim elaboratima, izvještajima i kraćoj stručnoj dokumentaciji, često rađenoj zbog drugih svrha.

Na temelju nekoliko dopunskih strukturnih bušotina i detaljnom analizom podataka ranijeg bušenja nesumnjivo je utvrđeno da se nad III slojem ugljena pontske starosti, koji će se u Drmnu eksploatirati, nalazi pontski, pretežno sitnozrni pijesak. Nad pontskim sedimentima taložen je 20—40 m debeli holocenski rječni nanos, koji u svojoj bazi ima prosječno 5—10 m šljunkovitih sedimentata, dok mu se preostali dio sastoji iz glinovitih naslaga.

Pomoću iskustvenih podataka američkih autora, koji su uspješno primjenjeni na nekim radovima i u našoj zemlji, analizirana je vrijednost veličina koeficijenata propusnosti kostolačkih vodonosnih naslaga, koje je ranije odredio H. Weiland (1957).

Nađeno je da kod hidrogeoloških uvjeta, kakvi postoje u području površinskog kopa Drmno, koeficijent propusnosti ne odražava najbolje stvarnu količinu vode koja se procjeđuje kroz propustne naslage. Točniju sliku daje propusna moć, tj. umnožak koeficijenta propusnosti i vertikalne debljine vodonosnog sloja. Tako je utvrđeno da se kroz sjeverozapadni i jugozapadni rub kopa stvarno procjeđuje oko dva puta veća količina vode nego kroz sjeveroistočni i jugoistočni, što se ne bi moglo ocijeniti samo na temelju srednjih koeficijenata propusnosti vodonosnih naslaga na tim sektorima.

Iz brojnih granulometrijskih analiza utvrđeno je da se vodonosne naslage ne odlikuju odviše dobrom sortiranošću. Hazenov koeficijent jednolikosti $\frac{d_{60}}{d_{10}}$ varira im između 20 i 30.

Specifična izdašnost vodonosnih naslaga nije mjerena. Prema podacima iz literature, i na temelju više od 300 granulometrijskih analiza, kostolački šljunkoviti sedimenti mogli bi imati specifičnu izdašnost 0,25—0,30, a sitnozrni pijesak 0,10—0,15.

Nivo podzemne vode se u sklopu ranijih istražnih radova dvije godine stalno opazao na 42 pijezometarske bušotine, a istovremeno su mjereni i vodostaji površinskih tokova. Na karti hidroizopijeza (prilog br. 1) primjećuje se da su izolije gušće na jugoistoku i istoku kopa. Tome je razlog spomenuta manja propusna moć vodonosnog sloja u tim dijelovima kopa.

Pijezometarski nivoi u području kopa variraju prosječno za oko 1 m godišnje, dok jugoistočno od kopa za oko 0,8 m.

Kod prognozne analize hidrogeoloških odnosa koji će postojati kasnije, za vrijeme odvodnjavanja površinskog kopa, izvedeni su slijedeći zaključci:

U prostranu depresiju, koja će nastati kod masovnog odvodnjavanja i spuštanja nivoa podzemne vode za oko 35 m, slijevat će se sva podzemna voda koja dotječe iz istok-jugoistoka. Slabije propusne naslage neće dozvoliti da uslijed depresije dotječu mnogo veće količine podzemne vode, nego što protječu sada, kod prirodnog stanja.

Znatne količine podzemne vode procjeđivat će se iz Mlave pošto je njeno korito usječeno u propusnim naslagama, a vjerojatno i iz Dunavca, kojemu propusnost podloge nije još sasvim tačno utvrđena. Nakon desete godine rada kopa, kada će se izvršiti skretanje postojećeg korita Mlave prema istoku, potpuno će se eliminirati dotok iz Mlave. Približavanjem kopa Mlavi procjedne količine iz Mlave bi se znatno povećale, kada ne bi bila izvršena devijacija korita.

Pod kraj eksploatacije kopa dotok s jugoistoka i iz Dunavca će se smanjiti zbog nove depresije na zapadu od Drmna. Tada će naime drenažni uređaji i otkopi jame Cirikovac, koja eksploatira isti sloj ugljena i graniči s Drmnom, doprijeti do sličnih dubina kao i u Drmnu.

»Geoistraživanja«
Zagreb, Kupuska 2

Primljeno 20. 3. 1961.

LITERATURA

- Agadžanov, A. M., 1954, Hidrogeologija i gidravlika podzemnih vod, Moskva.
- Creager, W. P., Justin, J. D. & Hinds, J., 1950, Engineering for Dams, New York.
- Dolovski, Lj., 1959—1960, Izvještaj o geološkom bušenju, Arhiv »Elektrosonda«, Zagreb.
- Majsajder, H., 1953, Geomehanički izvještaj, Arhiv Projektantskog za voda metalurgije, Beograd.
- Milaković, B., 1957, Izvještaj o geološkom kartiranju šire oblasti kostolačkog ugljenog bazena, Arhiv Zavoda za geološka i geofizička istraživanja NR Srbije, Beograd.
- Perišić, M., 1959, Teze o razvoju rudnika lignita Kostolac, Arhiv Industrijskog energetskog kombinata Kostolac, Kostolac.
- Plotnikov, N. A., 1959, Ocenka zapasov podzemnih vod, Moskva.
- Prebeg, L., 1959, Izvještaji o rezultatima geomehaničkih laboratorijskih analiza, Arhiv »Elektrosonda«, Zagreb.
- Schneider, H., Truelsen, C. & Thiele, H., 1952, Die Wassererschliessung, Essen.
- Švel, B. & suradnici, 1961, Idejni projekt odvodnjavanja površinskog kopa Drmno — I. E. K. Kostolac, Arhiv »Geoistraživanja«, Zagreb.

- Todd, D. K., 1959. Ground water hydrology, New York.
- Trojanski, S. V., Belickij, A. S. & Ćekin, A. I., 1956, Hidrogeologija i osušenie poleznih iskopaemih, Moskva.
- Vladisavljević, Z. & suradnici; 1960, Devijacija donjeg toka reke Mlave — investicioni elaborat, Arhiv instituta za vodoprivredu »Jaroslav Ćerni«, Beograd.
- Zorić, L., 1961, Investicioni program otvaranja i eksploatacije površinskog kopa Drmno — I. E. K. Kostolac, Arhiv Projektnog zavoda metalurgije, Beograd.
- Weiland, H., 1957, Hidrološko stručno mišljenje o mogućnostima odvodnjavanja polja površinskog otkopa Drmno Rudnika i elektrane Kostolac, Arhiv Industrijsko energetskog kominata Kostolac, Dürren.

A. ŠARIN and P. MILETIĆ

ABOUT THE HYDROGEOLOGICAL RELATIONS OF THE
OPPEN PIT OF DRMNO (BASIN OF LIGNITE KOSTOLAC,
SERBIA, YUGOSLAVIA)

The mine of Kostolac, situated about 70 km east of Beograd, once completely developed, will be one of the largest and probably most profitable lignite mines in Yugoslavia. 75% of its output will come from the open pit Drmno.

At Drmno a lignite layer underlies the 5—40 m. thick gravel and sand layers, which are saturated with ground-water and are in direct connection with the large rivers of this area. The coal will not be accessible for exploitation before these water-bearing layers are dewatered.

The dewatering project for the open pit was elaborated by experts of the »Geoistraživanja« Company, Zagreb, Yugoslavia, at the beginning of 1961. The competent designing engineer was B. Švel. The authors of this paper collaborated in the elaboration of the design, treating of the hydrogeology within the mentioned area. They received the necessary data for this elaboration not only from their own works but also from various reports on hydrology, soil mechanics and on mining; the most available were those by H. Weiland.

General

The lignite seam is of Pontic age. Pontic sand overlies the coal seam. The dip of the layers varies from 8° to 15° in a north-western direction. There are no remarkable tectonic features in the area except for a large fault trending in an east-western direction below the Danube river. The north wing of this fault is below.

The sequence of the lithological members of the fluvial drift that has been deposited directly over the Pontic sediments consists of gravel in its lower part, and of clay in the upper part of the drift. Its thickness is 20—40 m.

At present, the Mlava River is still flowing over the western part of the projected open pit, its average flow amounting to more than 10 cu. m. per sec. In order to remove this water, for it keeps replenishing the water-bearing layers during the exploitation of the open pit, the bed of the Mlava River will be deviated upstream of the open pit. The new river course will be situated east of the open pit.

Water-bearing layers

Over the lignite seam there is a continued water-bearing layer composed of gravel and underlain by sand. The average thickness of the gravel is 5–10 m, and of the sand about 15 m. No sand was noticed in the south-east, but in the north-west its thickness amounts sometimes to more than 30 m.

Some of the boreholes were drilled through the sand underlying the lignite seam. It was not established whether this sand is a part of the large waterbearing layer, or, maybe, whether they are only some bigger sand lenses. The further interpretation relates only to the water-bearing horizon of the roof wall.

The gravel is predominantly fine-grained. Its average permeability coefficient is 1.2×10^{-3} m. per sec. The sand, underlying the gravel, consists of equal parts of a medium-grained sand, fine-grained sand and coarse silt. The coefficient of permeability of this sand is 8×10^{-6} m. per sec. The mean coefficient of permeability of the entire water-bearing layer varies from 2×10^{-4} to 8×10^{-4} m. per sec.

Under the present hydrogeological conditions at Drmno the coefficient of permeability does not reflect clearly the permeability of the water-bearing layers. A better illustration is received by the transmissibility. By such computations we proved that the north-western and south-western borders of the open pit are nearly twice as permeable as those of the north-east and south-east.

The specific yield of the water-bearing horizons was not measured. According to data from the literature, on the basis of more than 300 sieving analyses, the specific yield of such gravel layers might amount to 0.25–0.30, while in the case of fine-grained sand it amounts to 0.10–0.15.

Hydrogeological relations under normal conditions

Through the thick water-bearing layers of the hanging wall all over the area of the open pit ground-water is percolating from east-south-east on its way from the large plain Stig into the Mlava River and the Dunavac (a back-water of the Dunav river). The water of the Mlava River and of the Dunavac, at the time of high water, starts to seep into the water-bearing layers of the hanging wall. Nevertheless, a small amount of water penetrates after rainfall through the clayey cover, which in some places is slightly permeable.

This clayey cover, which is practically impermeable as compared with the water-bearing layers, is — within the open pit area — situated more deeply than the lowest level of the neighbouring rivers. Thus the ground-water is confined within the aquifer.

The ground-water table and pressure surface of the ground water were studied in 42 boreholes during a period of two years. On the map of the pressure surface contours it may be noticed that the contours are denser to the south-east and east of the open pit. This happens owing to the above-mentioned reduced transmissibility of the water-bearing horizon in this area.

In the course of one year the pressure surface within the open pit area varies by 1 m. approximately, while in the south-east only by 0.8 m.

Hydrogeological relations under changed conditions (in the course of the dewatering of the open pit)

In order to make possible the exploitations of lignite, the water-bearing layers of the hanging wall should be entirely dewatered if possible, i. e. in places where the works are being carried out (an area of approximately 1500×500 m) the ground-water level is to be lowered by some 35 m on the average.

All ground-water, moving from east-south-east, will percolate into a depression of the mentioned extensiveness and depth, presumably soon to be further enlarged. The layers of reduced permeability will not allow any inflow of considerably larger quantities of ground-water on account of the depression than it was happening so far under normal conditions.

Large quantities of ground-water will penetrate by seepage from the Mlava, as its bed is cut into gravel and sand, and also from the Dunavac. The permeability of the bed of the Dunavac has not yet been exactly determined. After 10 years of works on the open pit, once the bed of the Mlava has been deviated, the whole inflow of the ground-water will be reduced.

It will also be necessary to drain off the rainfall water that will possibly penetrate through the openings of the open pit without being lost by evaporation and thereby also the small amount of water that possibly penetrates the clayey cover all over the area of the ground-water level depression.

Towards the end of the open pit exploitation, when sunk to a greater depth, the pit to the west of the open pit Drmno — exploiting the same coal seam and bordering the Danube slightly to the west of the present Mlava River bed — will draw on one part of the ground-water coming from the south-east as well as the water penetrating from the Dunavac.

»Geoistraživanja«
Zagreb, Kupska ul. 2

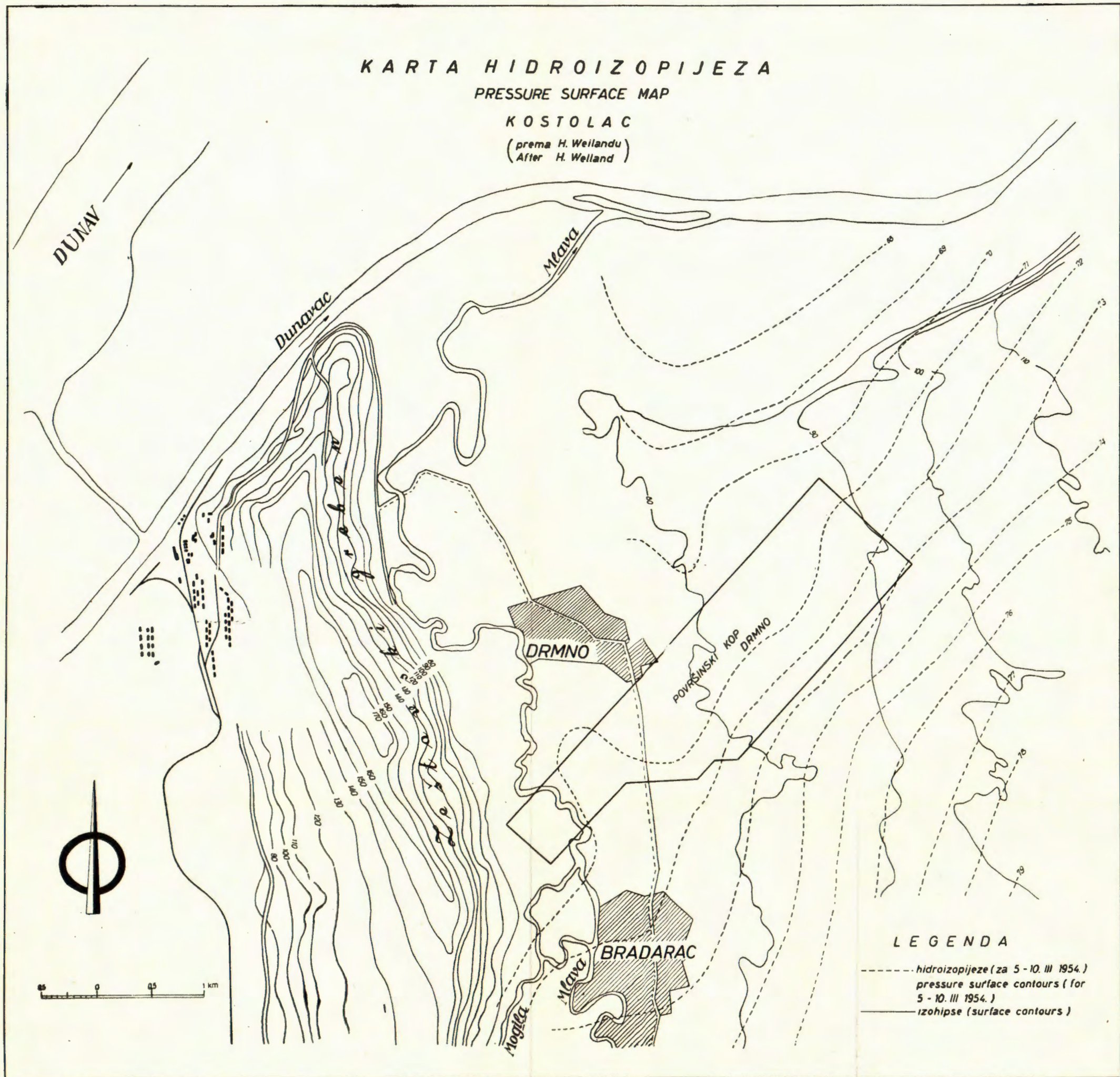
Received 20th March, 1961.

KARTA HIDROIZOPIJEZA

PRESSURE SURFACE MAP

KOSTOLAC

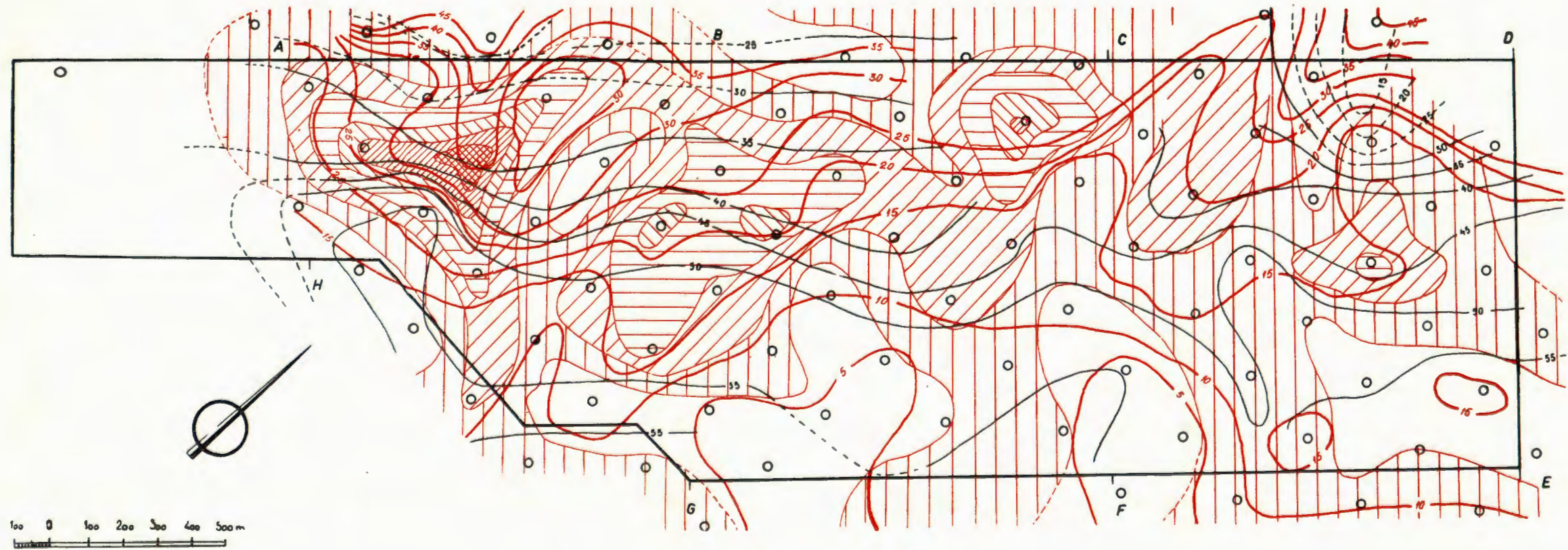
(prema H. Wellandu
After H. Welland)



LEGENDA

- hidroizopijske (za 5 - 10. III 1954.)
pressure surface contours (for
5 - 10. III 1954.)
- izohipse (surface contours)

KARTA IZOPAHITA VODONOSNIH NASLAGA
 ISOPACHYTIC MAP OF AQUIFER
 Površinski kop Drmno-Kostolac
 Open pit Drmno-Kostolac

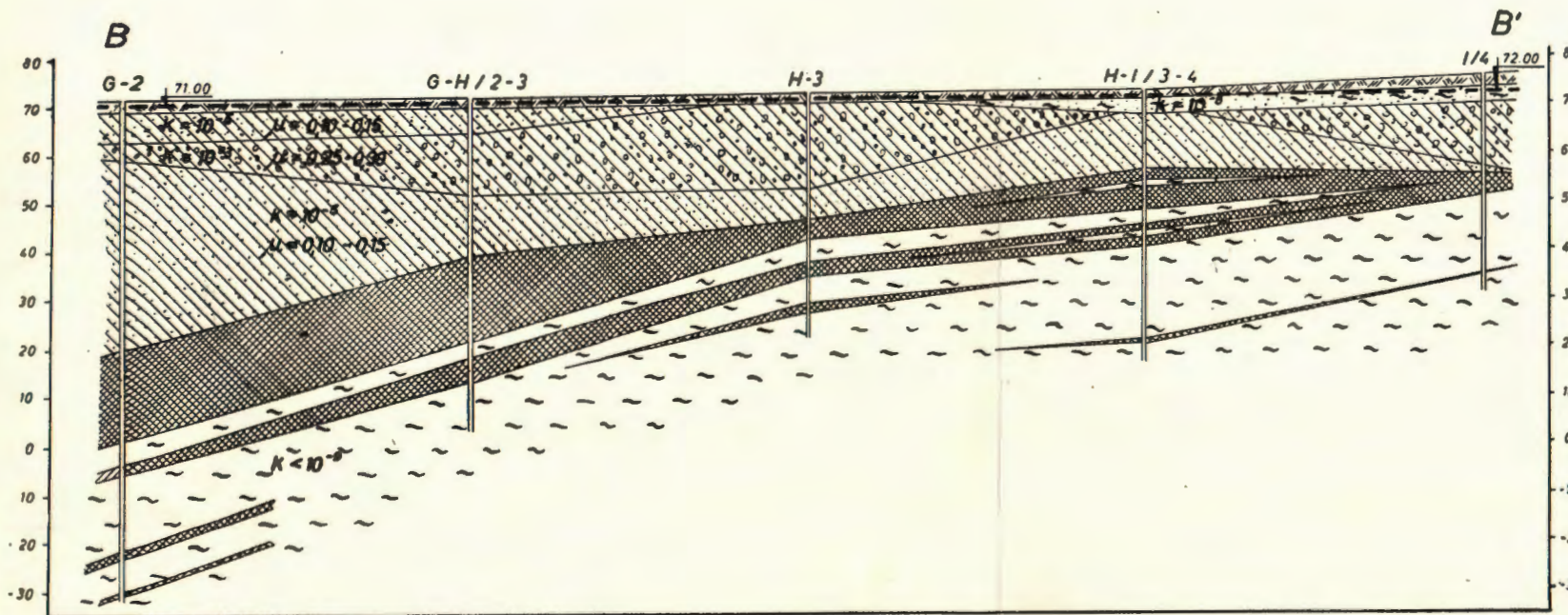
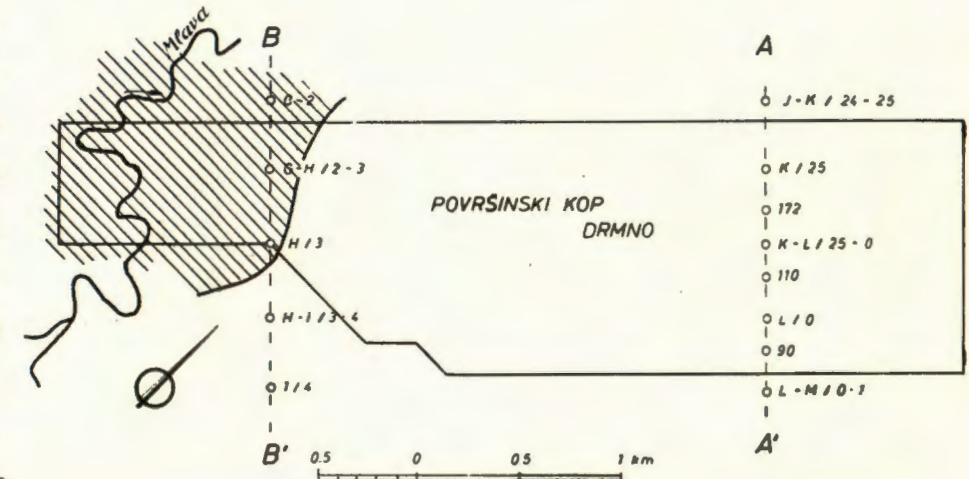
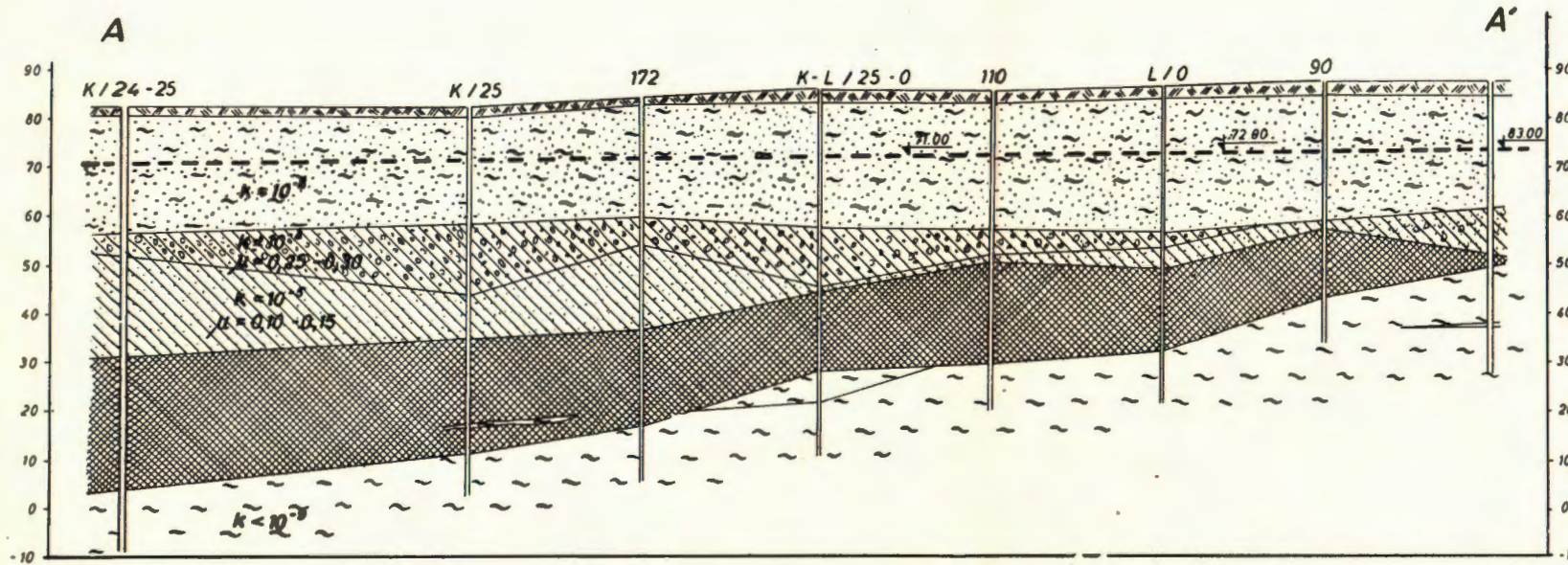


L E G E N D A

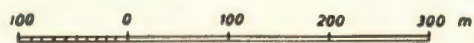
- izohipse krovine III. sloja ugljena
contours of roofwall (of 3rd coal seam)
- izopahite krovinskih vodonosnih naslaga
isopachytes of roofwall aquifer
- izopahite šljunka
isopachytes of gravel
- bušotina i bunar
borehole and well.

Debljina šljunka Thickness of gravel		0-5 m	5-10 m	10-15 m	15-20 m
20-25 m	25-30 m	30-35 m			

HIDROGEOLOŠKI PROFILI
HYDROGEOLOGICAL CROSS-SECTIONS
POVRŠINSKI KOP DRMNO-KOSTOLAC
Open Pit Drmno-Kostolac



Horizontalno mjerilo
Horizontal scale



LEGENDA

- humus (soil)
- glina (clay)
- šljunak (gravel)
- pijesak (sand)
- ugljen - III sloj (coal-3rd seam)
- krovinske vodonosne naslage (roof-wall aquifer)
- pijeziometriarski i slobodni nivo podzemne vode (pressure surface and ground-water table)
- k koeficijent propusnosti (coefficient of permeability) [m/s]
- μ specifična izdašnost naslaga (specific yield (of aquifer))