



**VISOKA POSLOVNA ŠKOLA  
STRUKOVNIH STUDIJA  
ČAČAK**

**SEMINARSKI RAD**

**Predmet: ~~Kompt k-vxcplg'i gqo gvt l unqi 'igflk-vc~~**

**"~~Rt qtc wp'f kpc o k mqi 'vcmc~~**

Mentor: \_\_\_\_\_  
Profesor: \_\_\_\_\_

Student: \_\_\_\_\_  
Br.Indeksa: \_\_\_\_\_

## SADRŽAJ

1.	POPIS SLIKA I DIJAGRAMA .....	3
2.	UVOD .....	4
3.	ZEMLJOPIŠNI POLOŽAJ .....	5
3.1.	PREGLED ISTRAŽIVAČKIH RADOVA .....	7
3.2.	PRIKAZ GEOLOŠKE GRAĐE.....	7
3.3.	POVIJEST PROIZVODNJE BUŠOTINA NA LOKALITETU BLATO .....	9
3.4.	IZRAČUNATE REZERVE, NJIHOVA KATEGORIZACIJA I KLASIFIKACIJA.....	9
4.	OPREMANJE PROIZVODNIH BUŠOTINA.....	10
4.1.	DUBINSKA PROIZVODNA OPREMA.....	10
4.2.	NADZEMNA PROIZVODNA OPREMA.....	11
5.	PODRŽAVANJE LEŽIŠNOG TLAKA .....	12
6.	HIDRAULIČKI I TERMODINAMIČKI PRORAČUN UTISNOG SUSTAVA.....	12
7.	MJERNE BUŠOTINE .....	12
8.	TEHNIČKO-TEHNOLOŠKA SHEMA SRC BLATO .....	12
9.	PRORAČUN DINAMIČKOG TLAKA ZA BUŠOTINU KBNZ-1B.....	14
9.1.	ULAZNI PODACI:.....	14
10.	METODOLOGIJA DUNS-ROS-a .....	15
10.1.	ODABIR RAZLIKE TLAKOVA .....	15
10.2.	ODREĐIVANJE FAKTORA KOMPRESIBILNOSTI .....	15
10.3.	PRORAČUN KOLIČINE PLINA OTOPLJENOG U VODI .....	15
10.4.	ODREĐIVANJE VISKOZNOSTI SLOJNE VODE .....	17
10.5.	PRORAČUN VOLUMNOG FAKTORA VODE .....	17
10.6.	PRORAČUN GUSTOĆE PLINSKE FAZE .....	19
10.7.	POVRŠINA POPREČNOG PRESIJEKA CIJEVI.....	19
10.8.	BRZINA PROTJECANJA KAPLJEVINE I PLINA U PRSTENASTOM PROSTORU .....	19
10.9.	BEZRAZMJERNI BROJEVI .....	20
10.10.	VRIJEDNOST BRZINE KLIZANJA .....	21
10.11.	BEZRAZMJERNI FAKTOR ZAOSTAJANJA KAPLJEVINE ZA PLINOM .....	22
10.12.	FAKTOR TRENJA KOD PROTJECANJA PLINA I KAPLJEVINE.....	22
10.13.	GUSTOĆA SMJESE KAPLJEVINE I PLINA.....	23
10.14.	GRADIJENT DINAMIČKOG TLAKA .....	24
11.	ZAKLJUČAK .....	25

## 1. POPIS SLIKA I DIJAGRAMA

Slika 1: Situacija geotermalnog polja Zagreb .....	6
Slika 2: Pregled izbušenih bušotina na GPZ Zagreb .....	8
Slika 3: Proizvodni niz bušotine KBNZ-1B .....	10
Slika 4: Nadzemna bušotinska oprema za proizvodne i utisne bušotine.....	11
Slika 5: Tehničko-tehnološka shema ŠRC Blato .....	13
Slika 6: Dijagram (1) popravnog faktora z za ugljični dioksid .....	15
Slika 7: Dijagram (2) topivosti ugljičnog dioksida u vodi .....	16
Slika 8: Dijagram (3) topivosti plina u slanoj vodi .....	16
Slika 9: Dijagram (4) viskoznosti vode u ovisnosti o količini otopljenih soli .....	17
Slika 10: Dijagram (5) razlike između volumetrijskog koeficijenta čiste vode u kojoj je otopljen plin i volumetrijskog koeficijenta čiste vode .....	18
Slika 11: Dijagram (6) - krivulje za očitavanje vrijednosti faktora L1 i L2.....	21
Slika 12: Dijagram (7) - krivulje za očitavanje vrijednosti faktora F1, F2, F3 i F4.....	22
Slika 13: Dijagram (8) ovisnosti koeficijenta trenja o Reynolds-ovu broju i relativnoj hrapavosti .....	23
Slika 14: Dijagram (9) - krivulja za očitavanje vrijednosti koeficijenta f2.....	23

## 2. UVOD

Geotermalno polje Zagreb sastoji se od tri korisnička lokaliteta koji su definirani u Glavnom rudarskom projektu i Elaboratu o rezervama. Na GP-Zagreb izrađeno je ukupno 14 bušotina, a probna proizvodnja započela je 1981. bušotinom Mla-1. Glavnim rudarskim projektom i Elaboratom o rezervama na GPZ predviđeno je crpljenje, iskorištavanje i utiskivanje geotermalne vode u zatvorenom cirkulacijskom sustavu kod kojega nema štetnih utjecaja na okoliš. To potvrđuje i višegodišnja proizvodnja za potrebe ŠRC Mladost čije bušotine su namjenski izrađene za potrebe Univerzijade 1987. godine.

Lokalitet Blato (Klinička bolnica Novi Zagreb /KBNZ/) sastoji se od ukupno 7 bušotina i to:

- dvije proizvodne bušotine KBNZ-1A i KBNZ-1B
- dvije utisne bušotine KBNZ-2A i KBNZ-3α
- dvije mjerne bušotine KBNZ-2 i KBNZ-3B
- jedne likvidirane bušotine KBNZ-3

Za buduće korištenje u Rekreativskom centru Blato koristile bi se prema tome ukupno četiri bušotine, od kojih bi dvije bile proizvodne, a dvije utisne. Preostale dvije bušotine unutar ležišta koristile bi se kao mjerne. U rekreativskom centru manji dio geotermalne vode koristio bi se u balneološke svrhe pa u tom dijelu proizvodno utisni sustav ne bi bio zatvoren. Na to treba posebice obratiti pažnju pri utvrđivanju mjera zaštite okoliša glede zbrinjavanja krutoga otpada iz kompleksa bazena, a nakon tehnološke obrade prije utiskivanja geotermalne vode u ležište.

Lokalitet ŠRC Mladost i ŠRC Blato (KBNZ) su jedna hidrodinamička cjelina s mogućnošću maksimalne proizvodnje od 77 l/s. Pri realizaciji tehničko-tehnološkog rješenja treba uzeti u obzir potrebe Rekreativskoga centra Blato (65 l/s) i buduće tehnološke mogućnosti ŠRC Mladost (maksimalni protok od 12 l/s, a trenutni 9,0 l/s))

Prema geološko-geofizičkim analizama i istražnim bušenjima šupljikave i propusne stijene, nosioci geotermalne vode zaliježu na cijelokupnom području grada Zagreba od Resnika na istoku do Svete Nedelje na zapadu.

Geotermalnim ležištem smatra se samo onaj dio vodonosnika za koji je hidrodinamičkim ispitivanjima utvrđeno da predstavlja jednu hidrodinamičku cjelinu, uz dodatni uvjet da ona mora imati povoljna protočna svojstva. Tim uvjetima udovoljavaju dijelovi vodonosnika površine 54 km<sup>2</sup> na području od Cvjetnoga naselja, preko športskoga parka Mladost i Blato, do Stupnika i Lučkog.

Prema Elaboratu o rezervama, rezerve geotermalne vode u tako definiranom ležištu svrstane su u "B" kategoriju, a iznose ukupno 77 l/s, uz nužan uvjet umjetnoga napajanja ležišta koji bi se ostvario utiskivanjem pothlađene geotermalne vode nakon iskorištenja toplinske energije. Jedinična energija izražena u toplinskim jedinicama po 1 m<sup>3</sup> geotermalne vode iznosi ukupno  $280 \times 10^6$  J/m<sup>3</sup> pri temperaturnom padu od 80 °C do središnje godišnje temperature tla u Panonu od 11,6 °C (Jelić). Gornja granica temperature (80 °C) uzeta je kao temperatura diferencijalnoga mješanja obzirom na masene udjele proizvodnih bušotina i njihovih temperatura na ušću. Pri ovim rezervama konstantna temperatura bila bi tijekom narednih 37 godina pri optimalnom iskorištenju rezervi od 32 l/s.

Tehnološki sustav ŠRC Blato (2 proizvodne i 2 utisne bušotine) razrađen je primjenom godišnjeg stupnja iskorištenja kapaciteta od 50% s proizvodnjom geotermalne vode od 1 009 000 m<sup>3</sup>/god (32 l/s)-VARIJANTA (I)

Maksimalna teoretska mogućnost proizvodnje (VARIJANTA (II)) uz godišnji stupanj od 100% iznosi 2 050 000 m<sup>3</sup>/god (65 l/s). Ova varijanta predstavlja graničnu vrijednost proizvodnje ŠRC Blato koja bi se mogla iskoristiti za potrebe sustava dok iskorištenje

raspoloživih rezervi od oko 1 009 000 m<sup>3</sup>/god. predstavlja optimalnu varijantu. Maksimalna količina proizvodnje od 65 l/s iskoristit će se samo u zimskim mjesecima, dok će eksploatacija, u ostalim razdobljima godine, biti znatno manja, pa se može pretpostaviti, srednja ili prosječna količina proizvodnje od oko 32 l/s.

### 3. ZEMLJOPISNI POLOŽAJ

Geotermalno polje Zagreb nalazi se u području razmjerno najveće istraženosti vodonosnika, tj. području s najvećim brojem bušotina i ograničeno je koordinatama (Tablica 1-1):

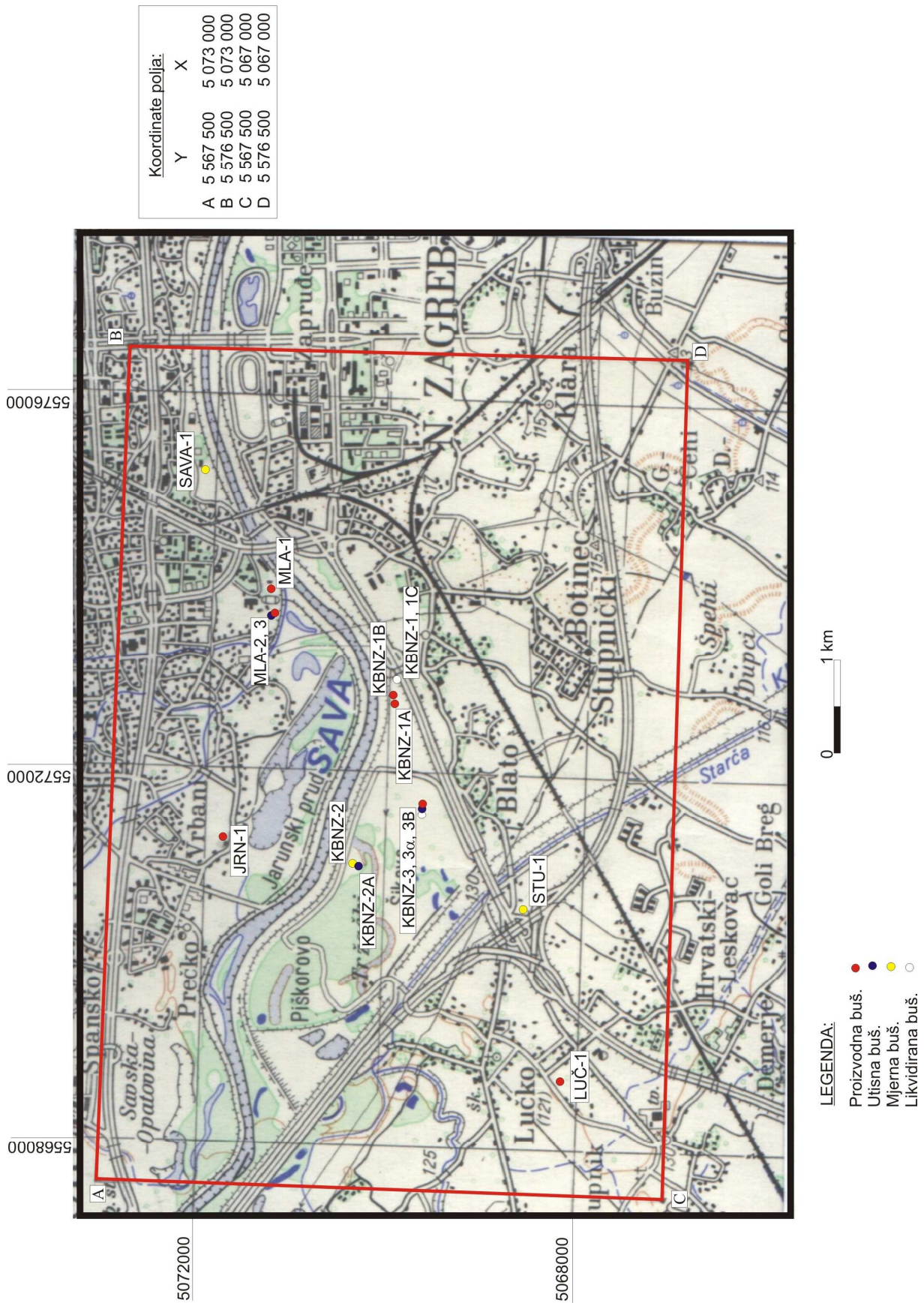
Tablica 1-1: Koordinate geotermalnoga polja Zagreb (GPZ), ŠRC Blato (KBNZ)

	<b>Y</b>	<b>X</b>
<b>A</b>	5 567 500	5 073 000
<b>B</b>	5 576 500	5 073 000
<b>C</b>	5 567 500	5 067 000
<b>D</b>	5 576 500	5 067 000

Topografija je ravničarska, nadmorska visina od oko 115 m, kojom dominira rijeka Sava. Zemljište je urbanizirano i manjim dijelom obradivo. Napravljeni su značajni građevinski zahvati na nasipu rijeke i jezeru Jarun.

Klima je kontinentalna s prosječnom minimalnom temperaturom u siječnju od 0,6 °C i maksimalnom u srpnju od 22,2 °C, odnosno prosječnom godišnjom 11,8 °C.

Glavne komunikacije su željeznički i cestovni pravci na ulazu/izlazu iz Zagreba prema Karlovcu i Sisku. Geotermalno polje Zagreb nalazi se unutar granica grada Zagreba, a prikazano je na situaciji područja na slici 1.



Slika 1: Situacija geotermalnog polja Zagreb

### 3.1. PREGLED ISTRAŽIVAČKIH RADOVA

Geotermalno polje Zagreb otkriveno je negativnom naftnom bušotinom Stupnik-1 1964. godine, a to je utvrđeno kasnijim hidrodinamičkim ispitivanjem 1977. godine. Interpretacijom testa za utvrđivanje granice ležišta (reservoir limit test) izračunat je obujam ležišta od  $1,157 \cdot 10^9 \text{ m}^3$  geotermalne vode prosječne temperature od  $57^\circ\text{C}$  na dubini od 733 – 815 m.

Polje obuhvaća površinu od oko  $54 \text{ km}^2$  a za njegovu interpretaciju bilo je nužno interpretirati šire područje površinskom geologijom i geofizičkim mjerenjima.

Provedeni su slijedeći istraživački radovi:

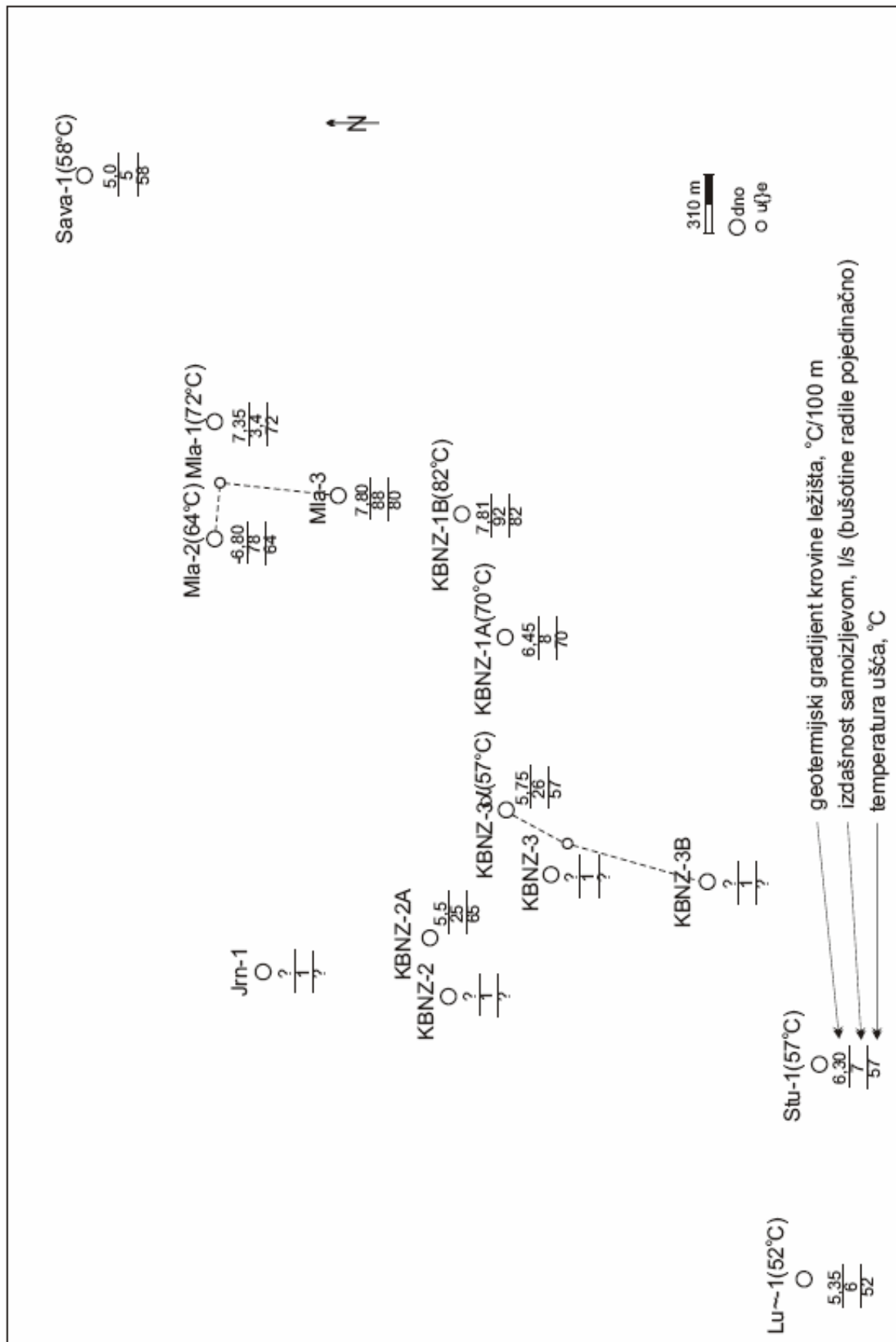
- geološkim kartiranjem zahvaćen je cijeli prostor;
- obavljeno je 589 gravimetrijskih mjerenja s prosječnom gustoćom od 11 točaka/ $\text{km}^2$  i 389 magnetometrijskih mjerenja prosječne gustoće promjera od 7 točaka/ $\text{km}^2$ ;
- snimljeno je 20 geoelektričkih sonde te 70 km sezmičkih profila od čega je za ovu interpretaciju iskorišteno 58 km, odnosno  $1,1 \text{ km profila}/\text{km}^2$ .

### 3.2. PRIKAZ GEOLOŠKE GRAĐE

Za definiranje geotermalnoga vodonosnika na GP Zagreb izvršena je interpretacija geoloških, geofizičkih i hidrogeoloških podataka. Najznačajniji vodonosnik je kompleks sedimentnih stijena pretežito karbonatnoga sastava uz neposrednu podlogu tercijara s pretežito litotamnijskim vapnencima tercijara u ispitanim bušotinama Mla-1, Mla-2, Mla-3, KBNZ-1A, KBNZ-1B, KBNZ-3a, Sava-1, Stu-1 i Luč-1.

U širem smislu pod pojmom Zagrebački geotermalni vodonosnik podrazumijevaju se propusne naslage, koje tvore litotamnijski vapnenci, dolomiti i brečokonglomerati koje se prostiru od Samobora na zapadu do Resnika na istoku i Dubranca na jugoistoku. Stupanj istraženosti tog područja vrlo je nizak. Geološka građa, a posebno raspored dobro propusnih zona vrlo je složen.

U Elaboratu o rezervama prikazane su strukturne karte po krovini i podini pojedinih litoloških članova vodonosnika, ali samo za eksploatacijsko polje gdje je dokazano da ti litološki članovi, tj. litotamnijski vapnenci i dolomiti tvore jedinstvenu hidrodinamičku cjelinu tj. geotermalno ležište. Problemi pri opisu geološke građe eksploatacijskog polja u znatnijoj mjeri proizlaze iz činjenice što su najizdašnije bušotine morale biti završene već nakon što je raskriven mali dio najpropusnijeg dijela ležišta (gubici cirkulacije i drugi tehnički problemi). U takvim uvjetima nije bilo moguće snimiti potreban niz karotažnih mjerenja, a jezgrovanje je bilo još manje moguće. Zbog svega toga, maksimalna pažnja posvećena je termodinamičkim i hidrodinamičkim ispitivanjima.



Slika 2: Pregled izbušenih bušotina na GPZ Zagreb



### **3.3. POVIJEST PROIZVODNJE BUŠOTINA NA LOKALITETU BLATO**

Bušotina KBNZ-1A, dovršena je 1984. god. i krajem iste godine počela se koristiti za grijanje montažnih zgrada pomoću izmjenjivača topline na gradilištu Sveučilišne bolnice i bila je u proizvodnji do kraja 2002. godine. Kako se geotermalna voda nakon izmjenjivača topline ispuštala u rijeku Savu, zbog ekoloških razloga, a i radi održavanja ležišnoga tlaka promijenjena je tehnologija proizvodnje, tako da je od početka 2003. godine proizvodna bušotina postala KBNZ-1B, a geotermalna voda se poslije izmjenjivača topline utiskuje u, do tada proizvodnu bušotinu, KBNZ-1A. Treba napomenuti da je ovo stanje privremeno, do uključivanja cijelog lokaliteta s četiri bušotine u punu proizvodnju.

### **3.4. IZRAČUNATE REZERVE, NJIHOVA KATEGORIZACIJA I KLASIFIKACIJA**

Ukupne rezerve mogu se svrstati u "B" kategoriju. Prema Pravilniku o prikupljanju podataka, načinu njihova evidentiranja, utvrđivanju rezervi i bilanciranju, kod ležišta s umjetnim napajanjem, odnosno obnovljivom ležištu, izračunate rezerve iskazuju se u (l/s). Glavnim rudarskim projektom razmotreni su tehnički i ekonomski aspekti za dvije dinamike iskorištavanja, a elaboratom o rezervama definirane su rezerve sukladno varijanti koja daje povoljnije ekonomske učinke, a pritom osigurava i optimalno vrijeme iskorištavanja uz konstantnu temperaturu. Prema toj procjeni, ukupne rezerve lokaliteta Mladost i Blato iznose ukupno 77 l/s. Količina topline akumulirana u vodi iznosi  $280 \times 10^6$  J/m<sup>3</sup> proizvedene geotermalne vode pri temperaturnom padu od 80 °C na ušću bušotine do srednje godišnje temperature tla u Panonu od 11,6 °C.

Tako na primjer, na lokalitetu Blato, temperatura geotermalne vode se neće promijenjati narednih 37 godina (varijanta I) uz nepromjenjivi kemizam vode tijekom optimalne proizvodnje.

Ukupne rezerve se mogu ujedno klasificirati kao bilančne i vanbilančne.

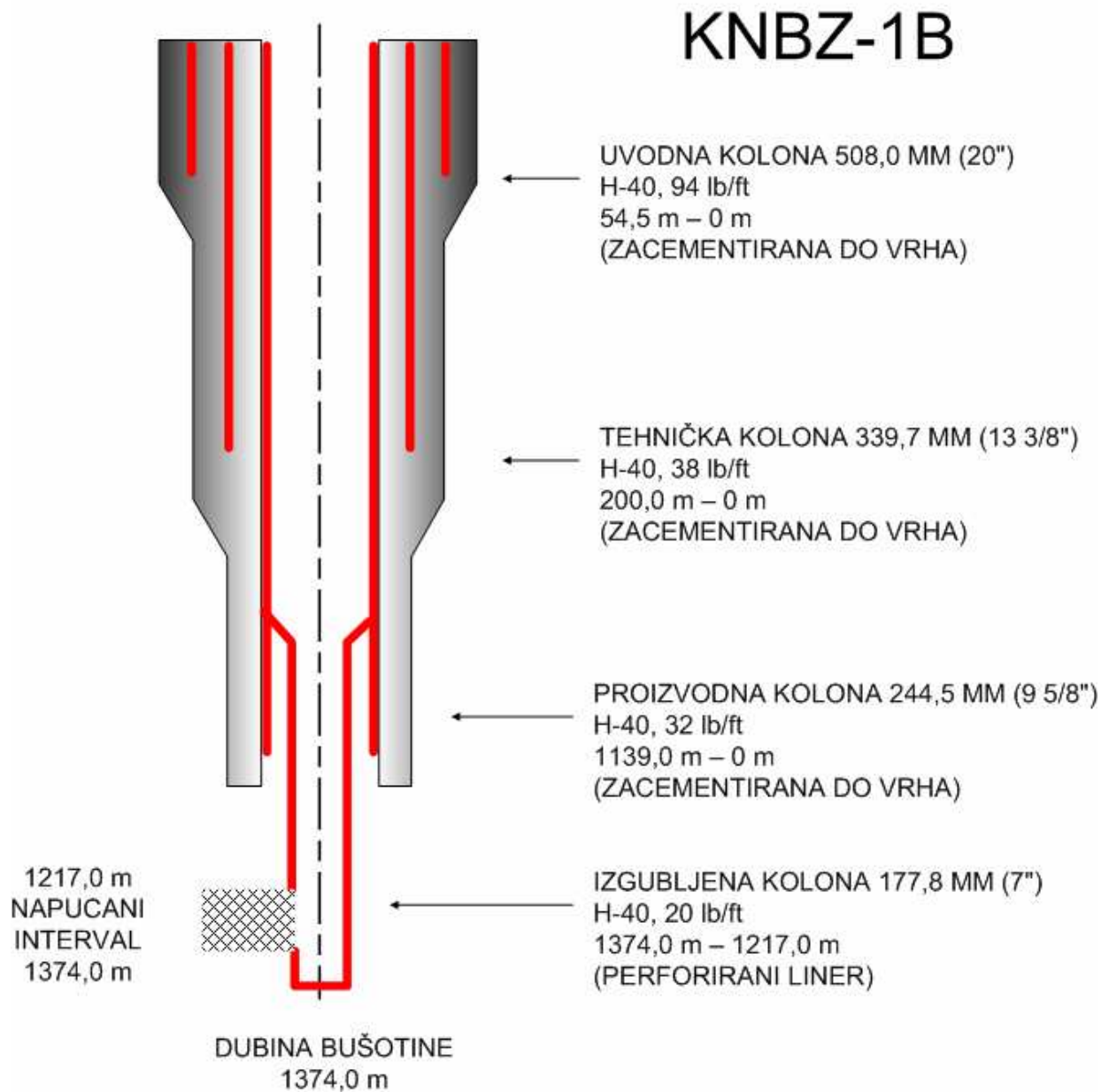
Bilančna kakvoća je dio količine topline akumulirane u vodi za projektirani temperaturni pad. U primarnom krugu tijekom sniženja temperature od 80 °C do 30 °C u izmjenjivaču topline, bilančna kakvoća (jedinična toplina) iznosi: 205,5 MJ/m<sup>3</sup> (približno 73,1 % od bilančne kakvoće).

Vanbilančna kakvoća je dio ukupne količine topline akumulirane u vodi, koja se za sada ne može rentabilno iskoristiti pa se vraća natrag u ležište utisnim bušotinama. Uz sniženje temperature od 30 °C do 11,6 °C vanbilančna kakvoća 75,6 MJ/m<sup>3</sup> (26,9 % od ukupne kakvoće).

## 4. OPREMANJE PROIZVODNIH BUŠOTINA

### 4.1. DUBINSKA PROIZVODNA OPREMA

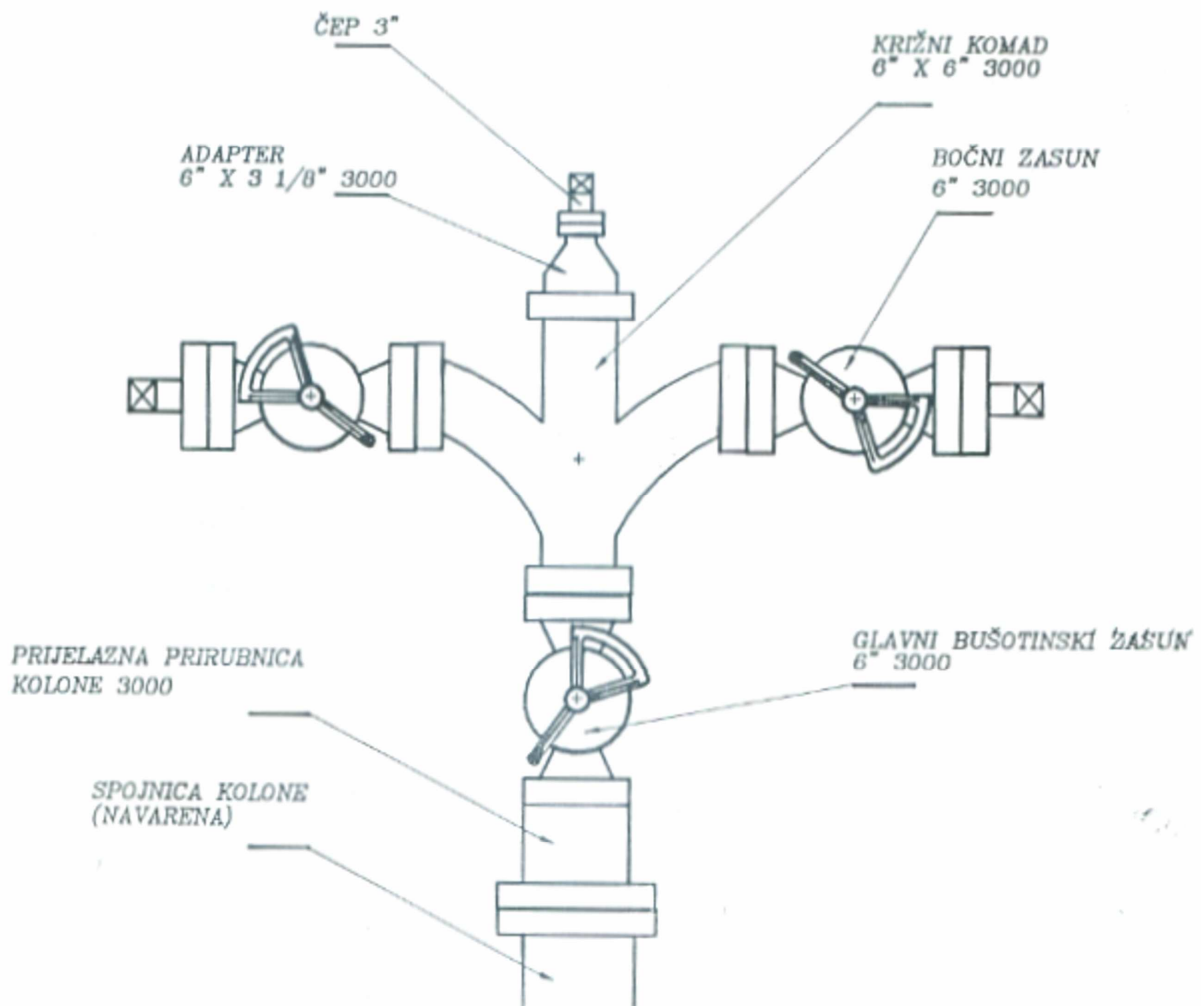
Podzemni proizvodni niz bušotine KBNZ-1B prikazan je na slici 3.



## 4.2. NADZEMNA PROIZVODNA OPREMA

Osnovni dijelovi nadzemne bušotinske opreme su tipska bušotinska glava i erupcijski uređaj za geotermalna ležišta i na svim proizvodnim i utisnim bušotinama su jednake. (slika 4).

Oprema je dimenzionirana s obzirom na temperaturu u ležištu i ležišnom tlaku s određenim koeficijentom sigurnosti. Na geotermalnim bušotinama GP Zagreb ugrađeni su erupcijski uređaji za radni tlak od 210 bara (3000 psi).



Slika 4: Nadzemna bušotinska oprema za proizvodne i utisne bušotine

## 5. PODRŽAVANJE LEŽIŠNOG TLAKA

Hidrodinamički i termodinamički proračuni protoka fluida pokazali su izravnu ovisnost stabilnosti eruptivnoga rada proizvodnih bušotina o održavanju ležišnoga tlaka. Utiskivanje vode u ležište ima dvostruku ulogu i to kao metoda za održavanje tlaka u ležištu uz istovremeno zbrinjavanje pothlađene geotermalne vode glede strogih ekoloških zahtjeva.

## 6. HIDRAULIČKI I TERMODINAMIČKI PRORAČUN UTISNOG SUSTAVA

Hidrodinamički proračuni nužan je za optimiranje sustava za utiskivanje i utvrđivanje uvjeta protjecanja kod kojih će gubitak tlaka biti minimalan glede manjega internog utroška energije postrojenja za utiskivanje. Na osnovi rezultata proračuna, projektira se dovodni površinski cjevovodni sustav, utisni niz i druga dubinska oprema, te stupanj raskrivanja. Budući da je u praksi to vrlo teško ostvariti, nužno je imati odgovarajuće rezerve u propusnoj moći ležišta i raspoloživom tlaku za utiskivanje u cjelokupnom utisnom nizu.

## 7. MJERNE BUŠOTINE

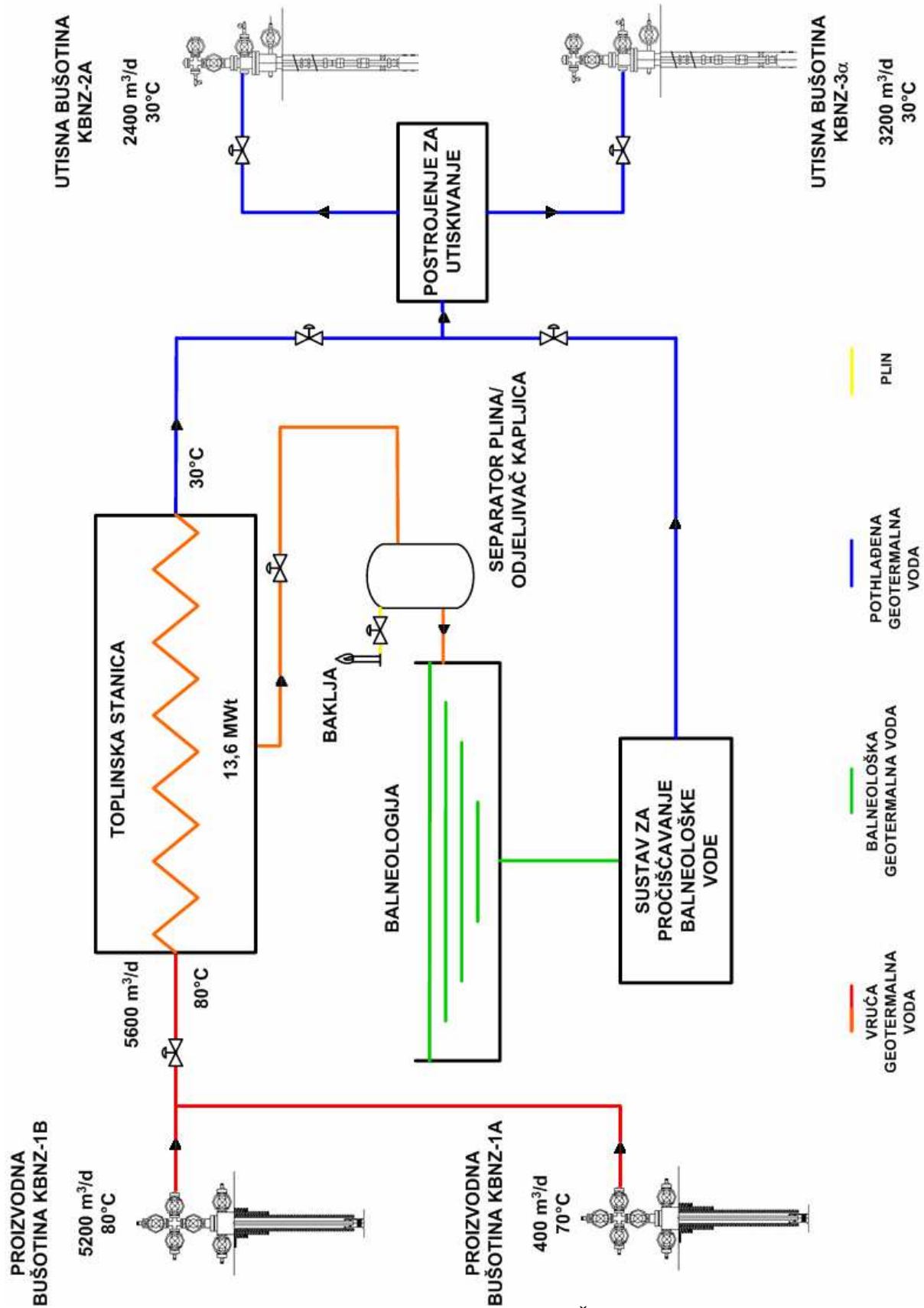
Na lokalitetu ŠRC Blato, osim proizvodnih i utisnih bušotina nalaze se još dvije mjerne bušotine. One služe za povremenu kontrolu ležišnih parametara tlaka i temperature. Označene su kao:

1. KBNZ-2,
2. KBNZ-3B

## 8. TEHNIČKO-TEHNOLOŠKA SHEMA SRC BLATO

Tehničko-tehnološka shema ŠRC Blato prikazuje primjenu geotermalne vode u zatvorenom cirkulacijskom krugu snage do  $13,5 \text{ MW}_t$  ali bez ukupnog stupnja djelovanja izmjenjivača topline. Sastavnice tehničko-tehnološkoga rješenja ŠRC Blato su (slika 1-5):

- dvije proizvodne bušotine (KBNZ-1B i KBNZ-1A, ukupna proizvodnja  $5600 \text{ m}^3/\text{d}$  temperature  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ )
- zatvoreni cirkulacijski krug koji se sastoji od:
  - izmjenjivača topline za toplinsku stanicu (kaskadno iskorištenje  $13,6 \text{ MW}_t$ , slika 5)
  - separatora plina na ulazu u krug za balneologiju
  - postrojenja za obradu balneološke vode s filtracijom i odlagalištem tehnološkog otpada
  - cirkulacijskih pumpi za utiskivanje pothlađene (iskorištene) geotermalne vode
- dvije utisne bušotine KBNZ-2A s količinom utiskivanja od  $2400 \text{ m}^3/\text{d}$  i KBNZ-3 $\alpha$  s količinom od  $3200 \text{ m}^3/\text{d}$  s temperaturom utiskivanja od  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Slika 5: Tehničko-tehnološka shema ŠRC Blato

## 9. PRORAČUN DINAMIČKOG TLAKA ZA BUŠOTINU KBNZ-1B

### 9.1. ULAZNI PODACI:

Dubina krovine proizvodnog intervala:	$H=1339$ m
Količina dobivene vode:	$Q=5200$ m <sup>3</sup> / dan
Statički tlak ležišta:	$p_s= 138$ bar
Tlak na ušću:	$p_{ušća} = 4$ bar
Gustoća geotermalne vode pri sc.:	$\rho_w = 1001,5$ kg/ m <sup>3</sup>
Omjer plina i kapljevine:	GWR=
Temperatura ležišta:	$T_{sl} = 82$ °C
Temperatura na ušću:	$T_{ušća} = 80$ °C
Površinska napetost sustava plin-voda:	$\sigma_{w/g} = 68$ dyn/cm
Unutarnji promjer zaštitnih cijevi:	$d_{zc} = 0,2266$ m
Unutarnji promjer lineru:	$d = 0,15478$ m
Površina poprečnog presjeka zaštitnih cijevi:	$A_{pp1} = 0,0403$ m <sup>2</sup>
Površina poprečnog presijeka lineru:	$A_{pp2} = 0,0188$ m <sup>2</sup>
Salinitet vode:	$s = 1,9846$ gNaCl/dm <sup>3</sup>
Hrapavost cijevi:	$K/D = 0,0002$
Korekcija za topivost CO <sub>2</sub> u slanoj vodi:	0,90

## 10. METODOLOGIJA DUNS-ROS-A

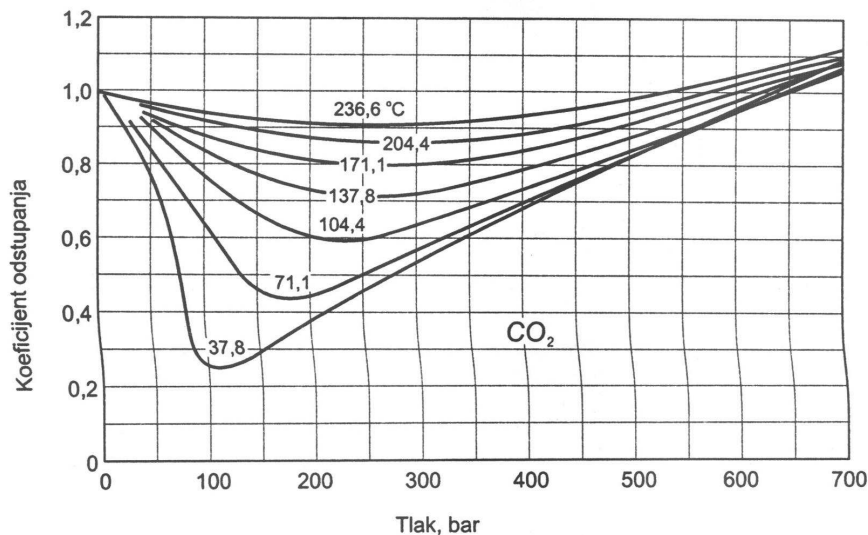
Metodologija Duns-Ros-a biti će prikazana na primjeru proračuna gradijenata tlaka za protok od 5200 m<sup>3</sup>/d i prvog odabranog tlaka (ušće, 4 bar), a sastoji se od slijedećih koraka:

### 10.1. ODABIR RAZLIKE TLAKOVA

Odabrali smo razlike tlakova počevši od poznatog tlaka na ušću, pa sve do vrijednosti statičkog tlaka. Također, za svaku vrijednost odabranog tlaka smo odredili temperaturu.

### 10.2. ODREĐIVANJE FAKTORA KOMPRESIBILNOSTI

Faktor stlačivosti plina z smo očitali sa dijagrama (1) popravnog faktora za ugljični dioksid. Vrijednosti su očitane za srednju vrijednost temperature od 81 °C.



Slika 6: Dijagram (1) popravnog faktora z za ugljični dioksid

### 10.3. PRORAČUN KOLIČINE PLINA OTOPLJENOG U VODI

Količina u vodi otopljenog plina, koja se korigira na uvjete temperature u bušotini po obrascu

$$R'_s = \frac{T}{T_{sl}} \cdot \frac{Z}{Z_{sl}} \cdot R_p \quad [\text{m}^3/\text{m}^3]$$

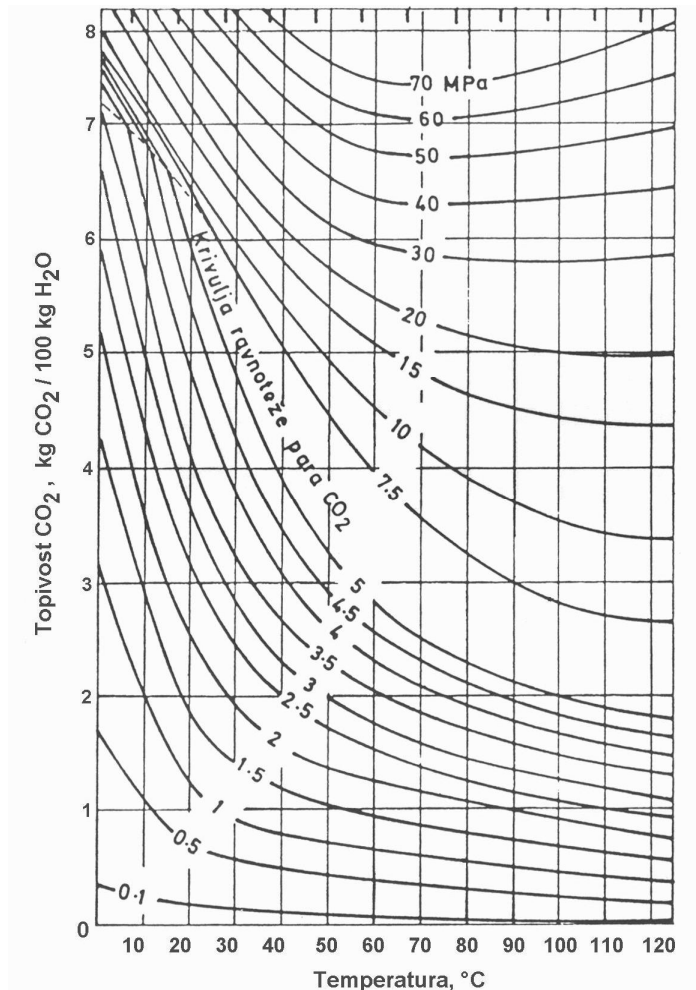
R<sub>p</sub> - trenutni plinski faktor pri PT uvjetima u bušotini, a dobije se očitanjem sa

dijagrama (2) topivosti CO<sub>2</sub> u vodi pri PT uvjetima, te korekcijom

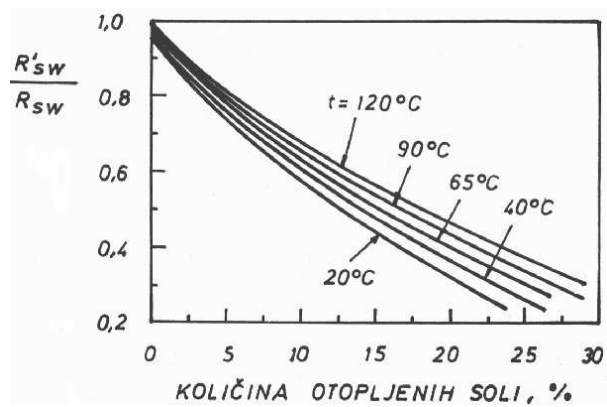
u dijagramu (3) za topivost plina u slanoj vodi koji iznosi 0,90 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>

T, T<sub>sl</sub> - temperatura pri uvjetima u bušotini i slojna temperatura, °K

Z, Z<sub>sl</sub> - popravni faktor za plin pri uvjetima u bušotini i slojnim uvjetima



Slika 7: Dijagram (2) topivosti ugljičnog dioksida u vodi

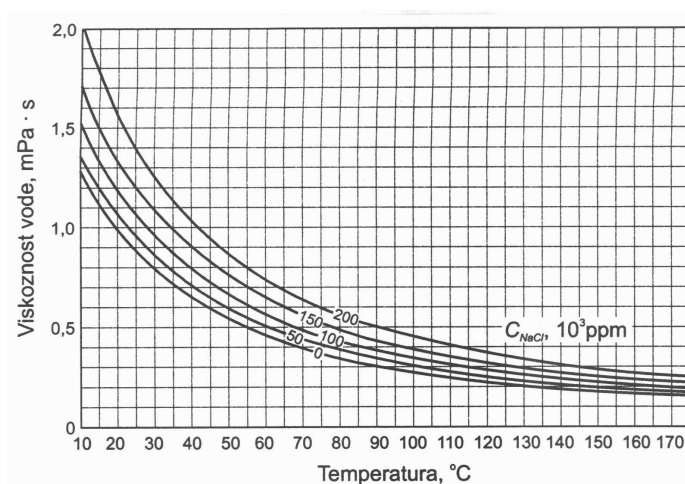


Slika 8: Dijagram (3) topivosti plina u slanoj vodi



#### 10.4. ODREĐIVANJE VISKOZNOSTI SLOJNE VODE

Viskoznost vode  $\mu_w$  zasićene solima u direktnoj je ovisnosti o temperaturi. Kao što je prije naznačeno, razlika između slojne i temperature ušća relativno je mala (4-10 °C ovisno o veličini protoka) te se za potrebe proračuna može uzeti da je ona jednaka pri svim uvjetima u bušotini, a očitanjem sa dijagrama (4) dobiva se vrijednost od 0,0004 Pas.



Slika 9: Dijagram (4) viskoznosti vode u ovisnosti o količini otopljenih soli

#### 10.5. PRORAČUN VOLUMNOG FAKTORA VODE

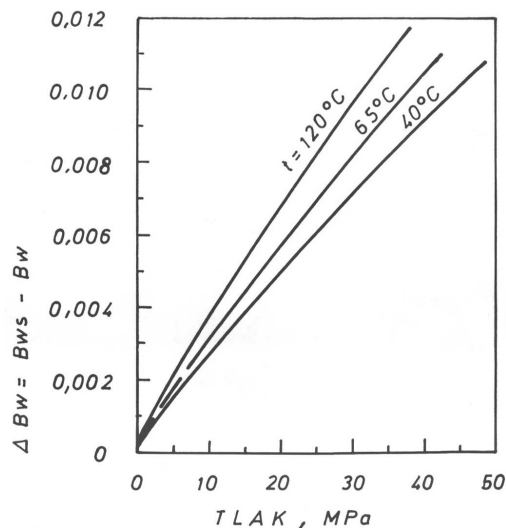
Volumni faktor se mijenja u ovisnosti o temperaturi i tlaku u bušotini, otopljenom plinu te salinitetu vode. Ukupni volumni faktor vode može se izraziti:

$$B_{wU} = B_w + \frac{R'_{sw}}{R_{sw}} \cdot \Delta B_w$$

$B_w$  – volumni faktor čiste vode,

$R'_{sw}/R_{sw}$  – omjer topivosti plina u vodi zasićenoj solima i čistoj vodi očitano sa dijagrama (3) utjecaja saliniteta na topivost plina

$\Delta B_w$  – razlika očitana sa dijagrama (5) između volumetrijskog koeficijenta čiste vode u kojoj je otopljen plin i volumetrijskog koeficijenta čiste vode



Slika 10: Dijagram (5) razlike između volumetrijskog koeficijenta čiste vode u kojoj je otopljen plin i volumetrijskog koeficijenta čiste vode

Prema McCain-u volumni faktor čiste vode izračunava se prema obrascu:

$$B_w = (1 + \Delta V_{WP}) \cdot (1 + \Delta V_{WT})$$

$\Delta V_{WP}$  - promjena obujma za vrijeme dok se tlak smanji do atmosferskog tlaka,  $m^3$

$\Delta V_{WT}$  - promjena obujma pri smanjenju temperature do  $15,6^\circ C$  pri atmosferskom tlaku,  $m^3$

$$\Delta V_{WP} = -1,95301 \times 10^{-9} \cdot 14,5 \cdot P \cdot (1,8 \cdot T - 460) - 1,72834 \times 10^{-13} \cdot (14,5 \cdot P)^2 \cdot (1,8 \cdot T - 460) - 3,58922 \times 10^{-7} \cdot 14,5 \cdot P - 2,25341 \times 10^{-10} \cdot (14,5 \cdot P)^2$$

$$\Delta V_{WT} = -1,00010 \times 10^{-2} + 1,33391 \times 10^{-4} \cdot (1,8 \cdot T - 460) + 5,50654 \times 10^{-7} \cdot (1,8 \cdot T - 460)^2$$

T – temperatura u razmatranom presjeku bušotine,  $^\circ K$

P – tlak u razmatranom presjeku bušotine, bar

## 10.6. PRORAČUN GUSTOĆE PLINSKE FAZE

$$\rho'_g = \rho_g \cdot \frac{P}{P_{SC}} \cdot \frac{T_{SC}}{T} \cdot \frac{1}{z} \quad [\text{kg/m}^3]$$

$\rho_g$  - gustoća plina pri standardnim uvjetima,  $\text{kg/m}^3$

$P$  - tlak na određenoj dubini bušotine, bar

$P_{SC}$  - tlak kod standardnih uvjeta = 1,01325 bar

$T_{SC}$  - temperatura kod standardnih uvjeta = 288,75 °K

$T$  - temperatura na određenoj dubini bušotine, °K

$z$  - faktor stlačivosti plina pri PT uvjetima na određenoj dubini bušotine

## 10.7. POVRŠINA POPREČNOG PRESIJEKA CIJEVI

Kako se u bušotini nalazi ugrađena kolona zaštitnih cijevi sa unutrašnjim promjerom od  $d_{zc} = 0,2266$  m, te liner unutarnjeg promjera  $d = 0,15478$  m, potrebno je izračunati obje površine poprečnog presjeka:

$$App_1 = \frac{d_{zc}^2 \cdot \pi}{4} [\text{m}^2], \quad \text{odnosno} \quad App_2 = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} [\text{m}^2]$$

## 10.8. BRZINA PROTJECANJA KAPLJEVINE I PLINA U PRSTENASTOM PROSTORU

Brzina protjecanja vode:  $v_w = \frac{q_w}{86400 \cdot A_{pp}} \cdot B_{wu} \quad [\text{m/s}]$

Brzina protjecanja plina:  $v_g = \frac{q_w \cdot (GWR - R'_s)}{86400 \cdot A_{pp}} \cdot \frac{P_{SC}}{P} \cdot \frac{T}{T_{SC}} \cdot z \quad [\text{m/s}]$

$q_w$  - količina dobivene vode,  $\text{m}^3/\text{d}$

$B_{wu}$  - ukupni volumni faktor vode

$A_{pp}$  - površina poprečnog presjeka (zaštitnih cijevi, odnosno linera),  $\text{m}^2$

$GWR$  - omjer plina i kapljevine,  $\text{m}^3/\text{m}^3$

$R'_s$  - korigirana količina u vodi otopljenog plina,  $\text{m}^3/\text{m}^3$

$T, T_{SC}$  - °K

$P, P_{SC}$  - bar

## 10.9. BEZRAZMJERNI BROJEVI

a) promjer prstenastog prostora:

$$N_D = D_e \cdot \left( \frac{\rho_w \cdot g}{\sigma} \right)^{0,5}$$

b) viskoznost kapljevine:

$$N_{\mu w} = \mu_w \cdot \left( \frac{g}{\sigma^3 \cdot \rho_w} \right)^{0,25}$$

c) brzina protjecanja kapljevine:

$$N_{v_w} = v_w \cdot \left( \frac{\rho_w}{g \cdot \sigma} \right)^{0,25}$$

d) brzina protjecanja plina:

$$N_{v_g} = v_g \cdot \left( \frac{\rho_w}{g \cdot \sigma} \right)^{0,25}$$

e) odnos brzina plina i kapljevine

$$R_v = \frac{v_g}{v_w}$$

pri čemu je:

$D_e$  - hidraulički promjer (ekvivalentan promjeru zaštitnih cijevi, odnosno linera)

$g$  - ubrzanje sile teže = 980,665 cm/s<sup>2</sup>

$\sigma$  - međupovršinska napetost vode i plina, dyn/cm

$\rho_w$  - g/cm<sup>3</sup>

$\mu_w$  - Pa s

$v_w, v_g$  - cm/s

## 10.10. VRIJEDNOST BRZINE KLIZANJA

Duns-Ros-ova metodologija koristi tri područja prema kojima se određuju vrste truktura protjecanja plina i kapljevine, ovisno o vrijednostima bezrazmjernih brojeva brzine protjecanja plina  $N_{vg}$  i brzine protjecanja kapljevine  $N_{vw}$ .

Naše područje dobiveno proračunom:

a) kapljiva faza je kontinuirana, s mjehuričastom strukturom protjecanja

Ovo područje je ograničeno odnosom:

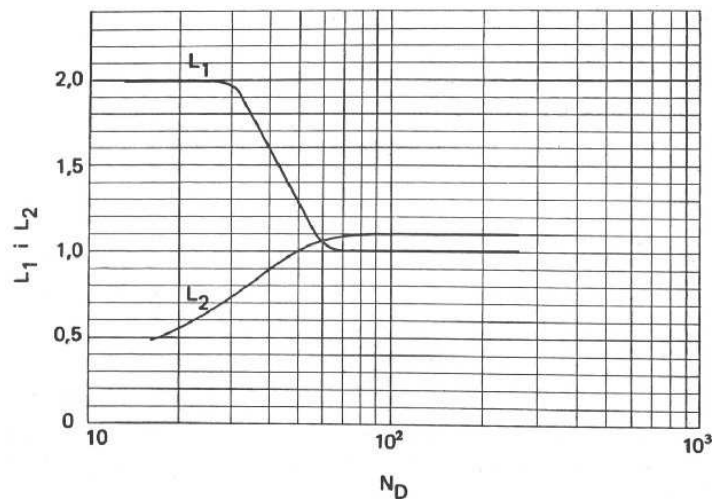
$$N_{vg} \leq L_1 + L_2 \cdot N_{vw}$$

Vrijednost brzine klizanja računa se:

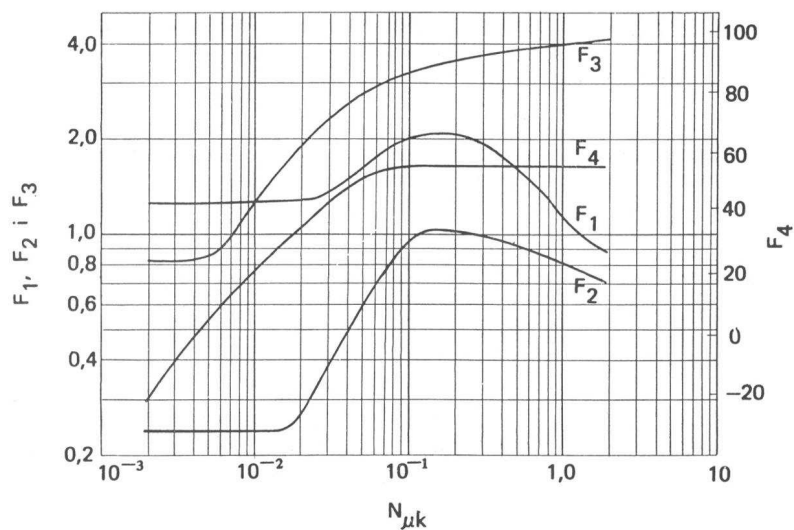
$$v_{kl} = F_1 + F_2 \cdot N_{vw} + F'_3 \cdot \left( \frac{N_{vg}}{1 + N_{vw}} \right)^2$$

$$F'_3 = F_3 - \frac{F_4}{N_D}$$

Brojevi  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  i  $F_4$  očitavaju se sa dijagrama (7) u ovisnosti o bezrazmjernom broju viskoznosti kapljevine  $N_{\mu w}$ , a faktori  $L_1$  i  $L_2$  s dijagrama (6) u ovisnosti o bezrazmjernom broju promjera prstenastog prostora  $N_D$



Slika 11: Dijagram (6) - krivulje za očitavanje vrijednosti faktora L1 i L2



Slika 12: Dijagram (7) - krivulje za očitavanje vrijednosti faktora F1, F2, F3 i F4

### 10.11. BEZRAZMJERNI FAKTOR ZAOSTAJANJA KAPLJEVINE ZA PLINOM

$$E_K = 0,5 \cdot \left[ 1 - (1 + R_V) \cdot \frac{N_{VW}}{v_{kl}} \right] + 0,5 \cdot \sqrt{\left[ 1 - (1 + R_V) \cdot \frac{N_{VW}}{v_{kl}} \right]^2 + 4 \cdot \frac{N_{VW}}{v_{kl}}}$$

### 10.12. FAKTOR TRENJA KOD PROTJECANJA PLINA I KAPLJEVINE

Za prvo i drugo područje računa se :

$$f_R = f_1 \cdot \frac{f_2}{f_3},$$

a za treće područje po obrascu:

$$f_R = f_1$$

$f_1$  - faktor trenja koji se javlja pri jednofaznom protjecanju. Za prvo i drugo područje očitava se iz dijagrama (8) u ovisnosti o veličini Reynoldsovog broja za kapljevine i relativnoj hrapavosti koja za bušotinu KBNZ-1B iznosi:  $K/D = 0,0002$ :

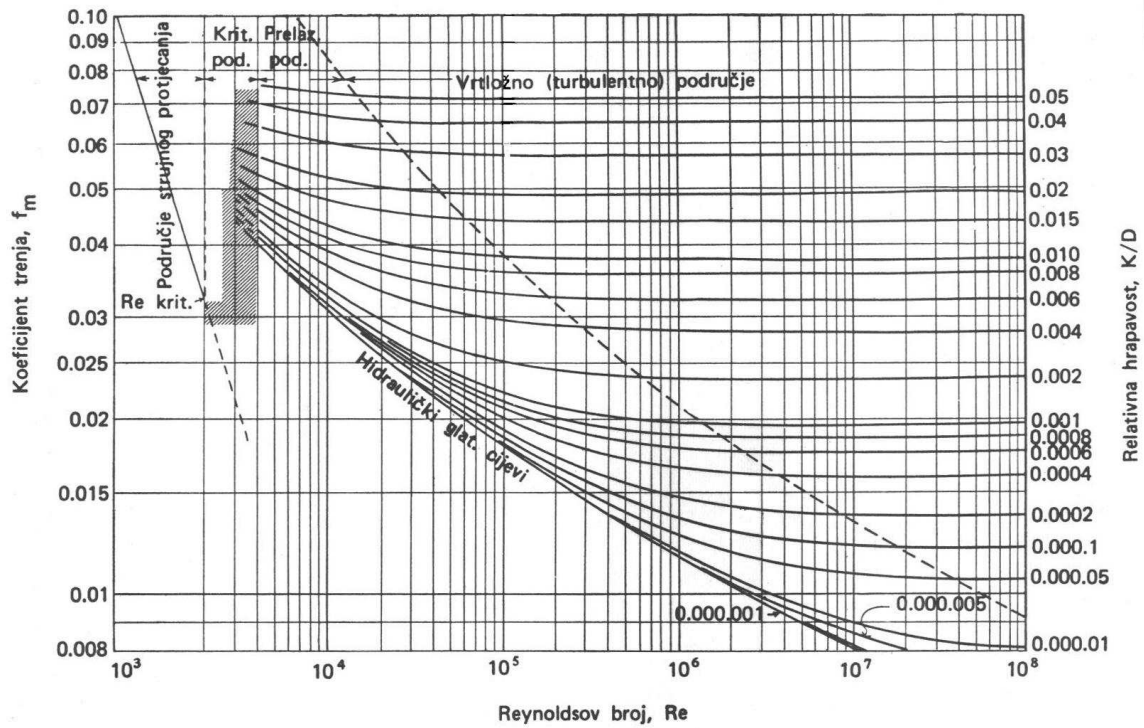
$$Re_w = \frac{\rho_w \cdot v_w \cdot D_e}{\mu_w},$$

$f_2$  - popravni faktor, koji se očitava iz dijagrama (9) u ovisnosti o vrijednosti

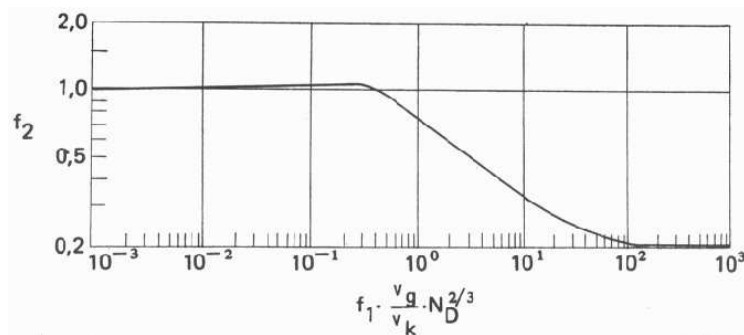
$$\text{umnoška } f_1 \cdot R_V \cdot N_D^{2/3}$$

$f_3$  - popravni faktor koji se računa po obrascu:

$$f_3 = 1 + f_1 \cdot \left( \frac{R_V}{50} \right)^{0,5}$$



Slika 13: Dijagram (8) ovisnosti koeficijenta trenja o Reynolds-ovu broju i relativnoj hrapavosti



Slika 14: Dijagram (9) - krivulja za očitavanje vrijednosti koeficijenta f2

### 10.13. GUSTOĆA SMJESE KAPLJEVINE I PLINA

$$\rho_s = \frac{\rho_w}{B_{wu}} \cdot E_k + \rho_g \cdot (1 - E_k) \quad [\text{kg/m}^3]$$

## 10.14. GRADIJENT DINAMIČKOG TLAKA

Kako jednadžba ravnoteže tlakova glasi:

$$\Delta P = \Delta P_H + \Delta P_T + \Delta P_A,$$

gdje se vrijednost pada tlaka uslijed akceleracije za prvo i drugo područje protjecanja zanemaruje, može se izvesti jednadžba za izračunavanje gradijenata dinamičkog tlaka:

$$\Delta P_H = [\rho_w \cdot E_K + \rho_g \cdot (1 - E_K)] \cdot \Delta H = \rho_S \cdot \Delta H$$

$$\Delta P_T = \left[ \frac{f_R \cdot v_w^2 \cdot \rho_w \cdot (1 + R_V)}{2 \cdot g \cdot D_e} \right] \cdot \Delta H$$

Za prvo i drugo područje protjecanja jednadžba gradijenata dinamičkog tlaka dakle glasi:

$$\frac{\Delta P}{\Delta H} = \left[ \rho_S + f_R \cdot \frac{v_w^2}{2 \cdot g \cdot D_e} \cdot \rho_w \cdot (1 + R_V) \right] \quad [\text{kp/m}^2/\text{m}],$$

a izraženo u [bar/m]: 
$$\frac{\Delta P}{\Delta H} = 0,980665 \cdot \left[ \rho_S + f_R \cdot \frac{v_w^2}{2 \cdot g \cdot D_e} \cdot \rho_w \cdot (1 + R_V) \right] / 10000$$

Proračun se nastavlja za novi odabrani interval tlaka. Pri površini se obično uzimaju manji intervali jer je veća mogućnost za promjenu strukture protjecanja. Intervali tlaka se računaju sve do ležišnog tlaka, u ovom slučaju do 138 bar. Zatim se za svaki interval tlaka uzima srednja vrijednost gradijenta dinamičkog tlaka kako bi se mogla odrediti duljina na kojoj djeluje taj određeni gradijent:

$$\Delta H = \Delta P / \Delta P / \Delta H_{\text{dSR}}$$

Zbrajajući intervale za svaki  $\Delta H$ , dinamički tlak se očitava pri dubini od 1339 m. Proračun je dan u slijedećim tablicama...



## **11. ZAKLJUČAK**

Poznata je dinamika proizvodnje geotermalne vode kako bi se zadovoljile potrebe ŠRC Blato i ŠRC Mladost . Iz poznate dinamike proizvodnje (poznatog protoka), izmjerene temperature geotermalne vode, izmjerenog statičkog tlaka na dnu bušotine i ostalih poznatih parametara, potrebno je odrediti dinamički tlak na dnu bušotine kako bi mogli uvidjeti stanje stvarnih zbivanja (kolebanja tlaka) u koloni uzlaznih cijevi (tubingu), te pristupiti optimalnom opremanju bušotine. U ovom radu, za određivanje dinamičkog tlaka, korištena je metoda Duns-Ros-a. Usporedbom izmjerenih vrijednosti i vrijednosti dobivenih proračunom dolazi se do zaključka da Duns-Ros-ova metoda u ovom slučaju daje vrlo dobar matematički model stvarnih zbivanja u koloni uzlaznih cijevi.

**Gotovi seminarski, maturski, maturalni i diplomski radovi iz raznih oblasti, lektire , puškice, tutorijali, referati** - specijalizovan tim za usluge visokokvalitetnog pisanja, istraživanja i obradu teksta za kompletan region Balkana.

Posetite nas na sajtovima ispod:

[WWW.MATURSKIRADOVI.NET](http://WWW.MATURSKIRADOVI.NET)

[WWW.SEMINARSKIRAD.ORG](http://WWW.SEMINARSKIRAD.ORG)

[WWW.MATURSKI.NET](http://WWW.MATURSKI.NET)

[WWW.MATURSKI.ORG](http://WWW.MATURSKI.ORG)

[WWW.SEMINARSKIRAD.INFO](http://WWW.SEMINARSKIRAD.INFO)

Dostupni smo Vam 24h 365 dana u godini.

Za gotove verzije rada obratiti se na mail:

[maturskiradovi.net@gmail.com](mailto:maturskiradovi.net@gmail.com)

**061/ 11-00-105**

Seminarski, diplomski, maturski radovi, prevodi na engleski i eseji...