



ID 15

OPTIMIZACIJA GEOMEHANSKO-STRUKTURNEGA VRTANJA Z DIAMANTNIMI KRONAMI

Jurij ŠPORIN¹, dr. Željko VUKELIČ²¹ IRGO, Slovenčeva 93, LJUBLJANA² UL, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geotehnologijo in rudarstvo,
Aškerčeva 12, LJUBLJANAjurij.sporin@irgo.sizeljko.vukelic@ntf.uni-lj.si

POVZETEK

Za uspešno projektiranje in izvajanje del pri vseh segmentih rudarskih, geotehnoških in gradbenih projektov, ki se nanašajo oz. so odvisni od pogojev hribine v kateri se izvajajo, je izjemnega pomena izvajanje kvalitetnega geomehansko-strukturnega vrtanja. V članku se bomo predvsem osredotočili na izvajanje raziskovalnega vrtanja z uporabo diamantnih kron, saj na ta način pridobimo najkvalitetnejše vzorce hribin, ki jih nato lahko detajlno preiščemo v laboratoriju. Prikazali bomo pomen optimalnega načina vrtanja pri izvedbi geomehansko-strukturnih vrtin.

Ključne besede: raziskovalno vrtanje, obremenitev na krono, krona, jedro.

UVOD

Za uspešno projektiranje in izvajanje del pri vseh segmentih rudarskih, geotehnoških in gradbenih projektov, ki so odvisni od pogojev hribine v kateri se izvajajo, je izjemnega pomena izvajanje kvalitetnega geomehansko-strukturnega vrtanja. V članku se bomo predvsem osredotočili na izvajanje raziskovalnega vrtanja z uporabo diamantnih kron, saj na ta način pridobimo najkvalitetnejše vzorce hribin, ki jih nato lahko detajlno preiščemo v laboratoriju. Prikazali bomo pomen optimalnega načina vrtanja pri izvedbi geomehansko-strukturnih vrtin.

JEDROVANJE

Jedrovanje je proces vrtanja z vrtnimi napravami, ki imajo napredovalno orodje konstrukcijsko oblikovano tako, da omogoča odvzem vzorca zemljin in kamnin skozi katere napreduje. Vzorec – jedro, se koplje v posebni cevi, jedrniku, s pomočjo katere ga prinesemo na površino. Cilj jedrovanja je pridobiti kvalitetno, intaktno, jedro primerno za nadaljnje preiskave v laboratoriju. Način vrtanja in uporabljena oprema imata največji vpliv na kvaliteto jedra. Manjši del, ki vpliva na kvaliteto jedra je kasnejša manipulacija z jedrom v toku preiskav.

V Sloveniji se v splošnem uporabljajo t.i. jedrniki, ki so izdelani po Švedskem (Craelius) metričnem standardu. Premeri jedrnikov se gibljejo od 36 mm do 146 mm.

V uporabi so naslednji tipi jedrnikov:

- enostenski jedrniki
- dvostenski jedrniki:
 - o togi dvostenski jedrniki
 - o dvojni jedrniki z ležajem
- trostenski jedrniki
- jedrovanje po sistemu "wire line"

JEDROVANJE Z JEDRNIMI KRONAMI IN JEDRNIMI

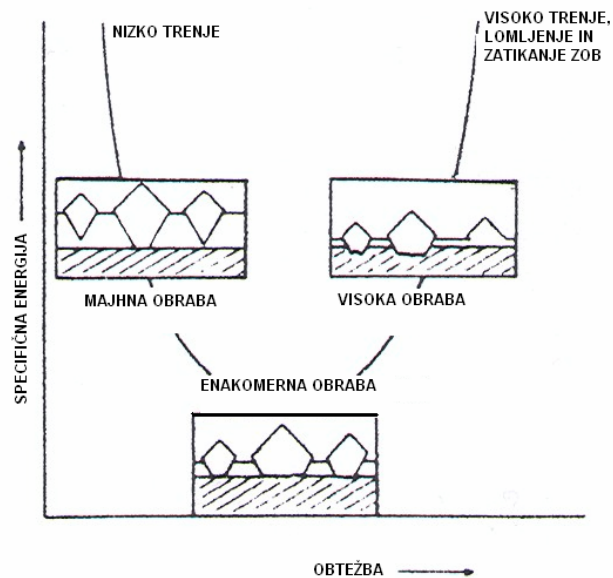
Pri jedrovanju, iščemo optimum med naslednjimi parametri vrtnja:

- hitrost rotacije vrtnega pribora in orodja
- velikost sile na krono
- način izpiranja vrtnice (količina, tlak, kvaliteta in tip izplake)

Glede na lastnosti zemljin in hribin, lahko ugotovimo naslednje:

1. Zaradi velike raznolikosti v kvaliteti zemljin in hribin, je verjetnost, kljub majhnemu številu parametrov vrtnja, za pravilno določitev hitrosti napredovanja, majhna. Hribine so kompleksne in heterogene. Čeprav je mikrostruktura in sestava (minerali, velikost zrn, vezi med zrni ipd.) enaka, lahko makrostruktura (razpakanost, frekvenca ipd.) varira zaradi različnih dejavnikov, kot na primer obremenitve na površini, ter tako vpliva na hitrost napredovanja.
2. Delovanje krone na hribino pod vplivom različnih parametrov vrtnja je medsebojno odvisno in kompleksno. Neodvisne spremenljivke med vrtnjem so:
 - karakteristike vrtnega orodja – krone (število, oblika in velikost, uporabljena matrica in geometrija krone) tip hribine (trdota, trdnost, abrazivnost, mineraloška sestava, razpakanost ...);
 - način vrtnja (moment, osna sila, število obratov ..).Odvisne spremenljivke, ki vplivajo na hitrost napredovanja so:
 - iztrošenost zob
 - način rušenja hribine;
 - velikost in oblika navrtanine;
 - vložene specifične energije med vrtnjem.
3. Karakteristične obrabe zob določa način vrtnja:
 - Napredek vrtnja (m/h) neustrezen;

- Obremenitev na posamezen zob je premajhna, tako da zobje nimajo potrebnega stika s hribino. Penetriranje zob je ovirano zaradi povečevanja ploskev, ki nastajajo s poliranjem in otopitvijo zob. Trenje med zobmi in hribino je nizko;
 - Vrtanje s preveliko obremenitvijo na krono, ki ima za posledico lomljenje zob, visoko trenje, neustrezno izpiranje vrtine, neustrezno hlajenje krone in čiščenje dna vrtine. Hitrost penetracije ne narašča, ter privede do t.i. zažiga vrtalne krone.
- Optimalen napredek vrtanja (m/h):
- Rušenje hribine in nastajanje delcev navrtanine je enakomerno in konstantno. Zobje in matrica krone se izrabljajo enakomerno, napredek, število obratov in obremenitev na krono so prav tako enakomerni.



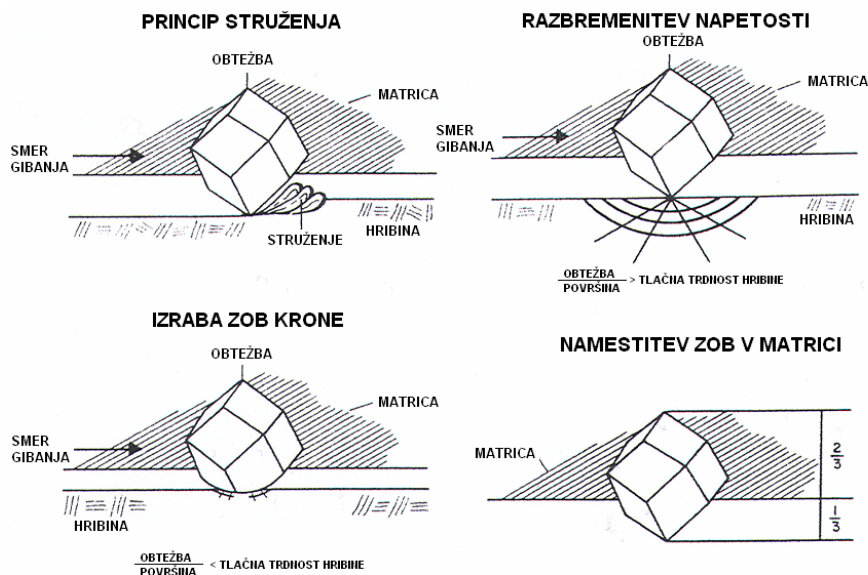
Slika 1.: Prikaz obrabe zob vrtalne krone v odvisnosti od obtežbe

Glede na zgoraj naštetá dejstva lahko zaključimo:

- Obremenitev na krono je pri optimalnem vrtanju odvisna od trdnosti in trdote hribine ter od stanja zob in krone;
- Ravnesje med obrabo zob in krone nastane pri maksimalnem napredku pri optimalni obremenitvi, ki je malenkost nad minimalno potrebno specifično energijo pri posameznem načinu vrtanja in tipu hribine;
- Izraba zob je najboljši pokazatelj načina vrtanja;
- Zobje manjših dimenzij zahtevajo višje obremenitve za učinkovito vrtanje, dosegajo boljše napredke ter proizvajajo finejše delce navrtanine;
- Testi in raziskave so pokazale, da se večji del vložene energije ne porablja za rušenje hribine temveč za sekundarno drobljenje in mletje navrtanih delcev. Zaradi tega je kvalitetno izpiranje dna vrtine in iznos navrtanine izrednega pomena;
- Delo, ki je opravljeno zaradi obremenitve krone je precej manjše, kot delo vloženo v premagovanje navora.

Za boljše razumevanje delovanja celotnega načina vrtnja, je potrebno prikazati princip rezanja zoba krone. Način vrtnja je opisan v naslednjih fazah:

- Struženje; v zelo mehkih formacijah zobje lahko penetrirajo v hribino in povzročijo lokalne premagovanje strižne trdnosti, kot je prikazano na Sliki 2. Med obračanjem krone okoli osi in delujočo obremenitvijo nanjo, zobje razijo površino dna vrtnice podobno kot plug pri oranju njive. Osne obremenitve so višje kot strižne, tako da večino dela opravimo z osno obremenitvijo. V kolikor so zobje postavljeni v matrici tako, da ena brazda prekriva naslednjo, potem naslednji zob odriva nekaj drobcev prejšnjega zoba in je globina brazde enaka kot pri prejšnjemu. V tem primeru krona napreduje v hribino. Zelo pomembno je izpiranje sorazmerno velikih delcev navrtanine.
- Sprostitev napetosti; do sprostitve napetosti pride, ko je tlačna trdnost hribine visoka in statična obremenitev na vsak zob prenizka za takojšnjo penetracijo v hribino. Frakturiranje je sproženo z razbremenitvijo napetosti v brazdi zoba, ko je le ta prešel in povzročil serijo karakterističnih razpok in širjenje le teh, kot je prikazano na Sliki 2. V splošnem zob med rezanjem nikoli ne prodre v hribino v kolikor le ta ni bila že prej poškodovana.
- Mletje, abrazija; v končni fazi je mletje in abrazija prisotna in uporabljena pri vrtnju v zelo trdih hribinah in pri zelo velikih hitrost rotacije. V principu je ta mehanizem zelo podoben mehanizmu sproščanja napetosti, le da so pri tem prisotne veliko plitvejše razpoke.



Slika 2.: Delovanje zob vrtalne krone v odvisnosti od obtežbe

Za razrušenje hribine mora zob krone delovati po naslednjem principu:

1. Pod vplivom osne obremenitve se posamezen zob krone vtisne v hribino;
2. Moment obrata krone ustvarja strižno silo, katera razruši hribino.

Oсна obremenitev na posamezen zob je podana z izrazom:

$$F_0 = \frac{F}{m} \quad [1]$$

kjer je:

F_0 – osna obremenitev na posamezen zob [N]

F – osna obremenitev na celotno krono, ki jo ustvarjamo z vrtalno napravo [N]

m – število zob krone

Napredovanje v hribino je mogoče le ob pogoju:

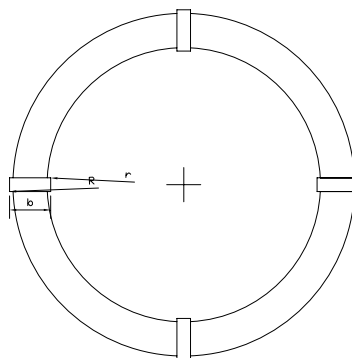
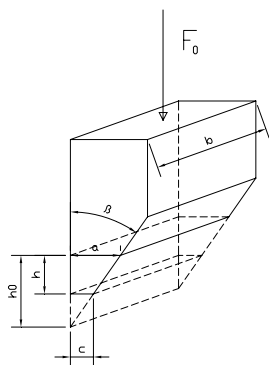
$$F_0 > S \cdot \sigma_p \quad [2]$$

kjer je:

F_0 – osna obremenitev na posamezen zob [N]

S – dotikalna površina zoba [m^2]

σ_p – enosna tlačna trdnost hribine $\left[\frac{N}{m^2} \right]$



Slika 3.: Zob krone s tehničnimi elementi

Slika 4.: Shema krone z zobmi

$$S = b \cdot c \quad [3]$$

kjer je:

b – širina zoba [m]

c – debelina zoba [m]

Širina zoba je torej podana z izrazom:

$$b = R - r \quad [4]$$

kjer je:

R – zunanji polmer krone [m]

r – notranji polmer krone [m]

V primeru novega neizrabljenega zoba je površina le tega podana z izrazom:

$$S = a \cdot b = h_0 \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot (R - r) \quad [5]$$

kjer je:

β - kot zaostritve zoba [$^{\circ}$]

h_0 – globina napredovanja (penetracije) zoba v hribino [m]

Oсна obremenitev na en zob je enaka izrazu:

$$F_0 = S \cdot \sigma_p = h_0 \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot (R - r) \cdot \sigma_p \Rightarrow h_0 = \frac{F_0}{\operatorname{tg} \beta \cdot (R - r) \cdot \sigma_p} \quad [6]$$

V tem primeru, pri m številu zobcev v kroni in n številu obratov krone, znaša napredek v enoti časa:

$$L_{0-t} = h_0 \cdot m \cdot n \cdot t = \frac{F_0 \cdot m \cdot n \cdot t}{\operatorname{tg} \beta \cdot (R - r) \cdot \sigma_p} = \frac{F \cdot n \cdot t}{\operatorname{tg} \beta \cdot (R - r) \cdot \sigma_p} \quad [7]$$

kjer je:

b – širina zoba [m]

c – debelina zoba [m]

β - kot zaostritve zoba [$^{\circ}$]

h_0 – globina napredovanja (penetracije) zoba v hribino [m]

R – zunanji polmer krone [m]

r – notranji polmer krone [m]

t – čas delovanja krone do obrabe zobcev

Zdi se, da je med vrtanjem, ko zob prečka zelo razpokana območja, globina reza zelo majhna v primerjavi z velikostjo razpoke. To kaže na bolj kompleksen sistem popuščanja hribine in odstranjevanja navrtanine, kot se lahko predvideva iz naštetih načinov vrtanja.

Po vsej verjetnosti je v praksi mehanizem struženja in sprostitve napetosti uporabljen v vseh mehkejših hribinskih formacijah. Vsakokrat, ko zob potuje po določeni brazdi, pod površjem povzroči spremembe po enakem principu načina vrtanja.

Učinek delovanja vsakega načina vrtanja je odvisna od trdote in napetosti hribine in relacije med trdoto zob, velikosti zrn hribine in nehomogenosti v hribini.

Načini vrtanja, ki so omenjeni, ne upoštevajo izpiranja in odstranjevanja drobcev navrtane hribine, iz območja delovanja krone. Vendar je iz izkušenj jasno, kako velik vpliv imajo izpiranje, hlajenje orodja, način vodenja izplačnega medija, količina izplačnega medija in podobno, na kvaliteto pridobljenega jedra, hitrost napredovanja in obrabo vrtalnega orodja in pribora.

VPLIVNI DEJAVNIKI NA KVALITETO JEDROVANJA

Iz teorije vrtnja sledi, da imajo na hitrost napredovanja največji vpliv naslednji dejavniki:

- Hitrost rotacije;
- Globina penetriranja posameznega zoba v hribino;
- Fizikalno mehanske lastnosti hribine;
- Obremenitev na vrtilno orodje;
- Oblika in stanje zob v orodju;
- Količina, pretok in vrsta izplačnega medija.

Hitrost rezanja hribine

Hitrost rotacije vrtilnega orodja ima velik vpliv na hitrost rezanja hribine. Za hitrejši in lažji izračun hitrosti rezanja, lahko privzamemo, da je le ta enaka:

$$v = \pi \cdot D \cdot n \quad [8]$$

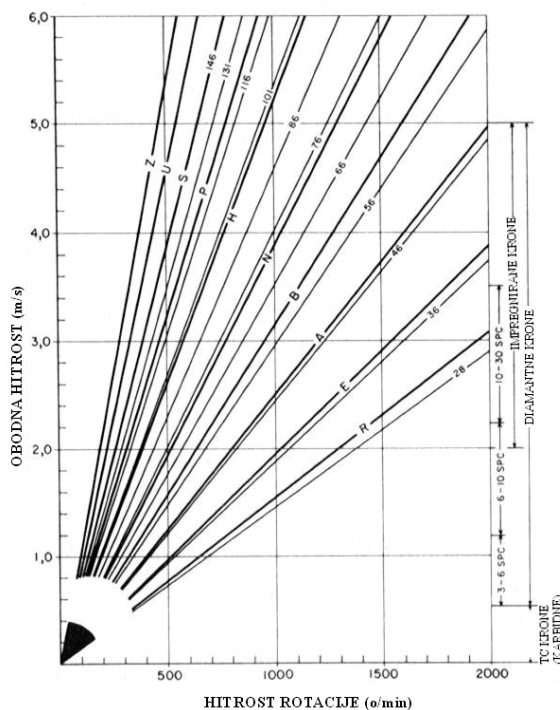
kjer je:

v – hitrost rezanja hribine (m/min)

D – premer vrtilnega orodja (m)

n – število obratov orodja (o/min)

Na sliki 3., je prikazan graf za hitro določitev hitrosti rezanja, glede na hitrost rotacije in premera orodja.



Slika 5.: Graf za določitev hitrosti rezanja

Nižja ali višja hitrost rotacija ima vpliv na hitrost napredovanja, vendar je odvisna od lastnosti hribinskih formacij. Končna hitrost rotacije je določena v toku vrtnja in je odvisna predvsem od lastnosti hribine in uporabljene tehnike vrtnja.

Obremenitev na krono

Pravilna obremenitev na vrtalno orodje – krono, je prav tako pomembna, kot pravilna hitrost rotacije. V toku vrtnja je najlažje določiti obremenitev na krono tako, da število zob pomnožimo z silo, ki jo lahko posamezen zob prenese. Ta sila je odvisna od kvalitete materiala posameznega zoba.

Kot že zgoraj prikazano je osna obremenitev na en zob je enaka izrazu:

$$F_0 = S \cdot \sigma_p = h_0 \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot (R - r) \cdot \sigma_p \Rightarrow h_0 = \frac{F_0}{\operatorname{tg} \beta \cdot (R - r) \cdot \sigma_p} \quad [6]$$

V tem primeru, pri m številu zobov v kroni in n številu obratov krone, znaša časovni napredek:

$$L_{0-t} = h_0 \cdot m \cdot n \cdot t = \frac{F_0 \cdot m \cdot n \cdot t}{\operatorname{tg} \beta \cdot (R - r) \cdot \sigma_p} = \frac{F \cdot n \cdot t}{\operatorname{tg} \beta \cdot (R - r) \cdot \sigma_p} \quad [7]$$

V določenem času t , se zobje krone obrabijo za vrednost y . Zaradi tega je višina zoba pod učinkom osne sile F_0 enaka:

$$h = h_0 - y \quad [9]$$

kjer je:

h_0 – višina novega neizrabljenega zoba [m]

y – obraba zoba [m]

Obseg izrabe zoba v času t lahko izrazimo z enačbo:

$$v = \frac{y^2 \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot (R - r)}{2} \quad [10]$$

Obseg izrabe legure materiala zoba lahko izrazimo kot:

$$v = \omega \cdot A \quad [11]$$

kjer je:

ω - koeficient volumske izrabe zobca na Nm trenja $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{Nm}} \right]$

A – delo trenja zobca v hribinskem materialu [Nm]

Delo trenja za tankostensko krono v času t lahko prikažemo z izrazom:

$$A = F_0 \cdot f \cdot \pi \cdot (R + r) \cdot n \cdot t \quad [12]$$

kjer je:

f – koeficient trenja med hribino in zobom

Zadnji izraz vstavimo v enačbo za obseg izrabe materiala zoba in dobimo:

$$v = \omega \cdot F_0 \cdot f \cdot \pi \cdot (R + r) \cdot n \cdot t$$

$$v = \frac{y^2 \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot (R - r)}{2} \quad [13]$$

Z izenačenjem enačb dobimo:

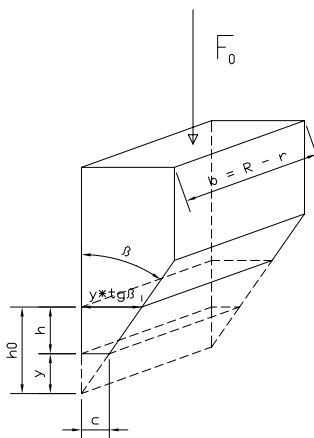
$$\frac{y^2 \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot (R - r)}{2} = \omega \cdot F_0 \cdot f \cdot \pi \cdot (R + r) \cdot n \cdot t \quad [14]$$

Z ureditvijo enačbe lahko izrazimo velikost izrabe zoba:

$$y = \sqrt{\frac{2 \cdot \omega \cdot F_0 \cdot f \cdot \pi \cdot (R + r) \cdot n \cdot t}{\operatorname{tg} \beta \cdot (R - r)}} \quad [15]$$

V kolikor so poznane vrednosti ω in f , lahko določimo izgubo ostrine (otopelost) zobca v času t , ter globino penetracije zobca v hribinski material pod vplivom osne sile F_0 v tem enakem času t .

Dejansko pa je $h = h_0 - y$, kot je prikazano na sliki 6.



Slika 6.: Zob krone s tehničnimi elementi ob upoštevanju geometrijskih zakonitosti

Z upoštevanjem obrabe zoba sledi:

$$h = \frac{F_0}{\sigma_p \cdot (R-r) \operatorname{tg} \beta} - \sqrt{\frac{2 \cdot \omega \cdot F_0 \cdot f \cdot \pi \cdot (R+r) \cdot n \cdot t}{\operatorname{tg} \beta \cdot (R-r)}} \quad [16]$$

Produktivno delo krone bo prenehalo, ko bo $h = h_0 - y$. V tem primeru, bo penetracija potekala samo z brušenjem, kjer so napredki zelo nizki.

V tem primeru je $h_0 = y$

Torej je:

$$\frac{F_0}{\sigma_p \cdot (R-r) \operatorname{tg} \beta} = \sqrt{\frac{2 \cdot \omega \cdot F_0 \cdot f \cdot \pi \cdot (R+r) \cdot n \cdot t}{\operatorname{tg} \beta \cdot (R-r)}} \quad [17]$$

Z razrešenjem enačbe po času t in za osno silo F_0 uporabimo zvezo $F \cdot m$, dobimo čas dela krone do zatopitve zobov.

$$t_{\max} = \frac{F_0^2 \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot (R-r)}{\sigma_p^2 \cdot (R-r)^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \beta \cdot \omega \cdot 2 \cdot F_0 \cdot f \cdot \pi \cdot (R+r) \cdot n} = \frac{F}{2 \cdot \sigma_p^2 \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot \omega \cdot f \cdot \pi \cdot (R+r) \cdot (R-r) \cdot n \cdot m} \quad [18]$$

Iz zgornjega obrazca sledi, da lahko čas dela krone t_{\max} povečamo s postopnim večanjem osne sile F , sorazmerno z otopitvijo zobcev na kroni.

Glede na zgornji obrazec lahko zaključimo:

- Čas dela krone do zatopitve zobcev (t_{\max}) hitro pada s povečevanjem enosne tlačne trdnosti hribine (σ_p);
- povečevanje števila zobcev v kroni (m) skrajšuje čas dela krone do zatopitve zob (t_{\max})

Podatek, koliko lahko obremenimo posamezen zob, posreduje proizvajalec krone. V praksi velja, da je obremenitev na zob 2/3 njegove maksimalne dovoljene obremenitve.

Hitrost napredovanja

Najpomembnejši parameter v vrtalni praksi je prav hitrost napredovanja, ob upoštevanju, da so ostali stroški (npr. orodje in oprema), pri doseganju najhitrejšega napredka, sprejemljivi oziroma čim nižji.

V toku vrtnja moramo poiskati optimalno hitrost rotacije, obremenitve na orodje in izpiranje za vsako hribinsko formacijo posebej.

Čas napredovanja krone do popolne izrabe zob, lahko izrazimo, v kolikor v zgornjem izrazu času t dodamo pomen t_{\max} iz zgornjih enačb. Dobimo:

$$\begin{aligned}
 L_{0-t} &= n \cdot t_{\max} \cdot \left(\frac{F}{\sigma_p \cdot (R-r) \cdot \operatorname{tg} \beta} - \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2 \cdot \omega \cdot F \cdot f \cdot \pi \cdot (R+r) \cdot n \cdot m \cdot t_{\max}}{(R-r) \cdot \operatorname{tg} \beta}} \right) = \\
 &= \frac{F \cdot n \cdot F}{\sigma_p \cdot (R-r) \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot 2 \cdot \sigma_p^2 \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot \omega \cdot f \cdot \pi \cdot (R+r)(R-r) \cdot m \cdot n} - \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2 \cdot \omega \cdot F \cdot f \cdot \pi \cdot (R+r) \cdot n^3 \cdot m \cdot F^3}{(R-r) \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot 8 \cdot \sigma_p^6 \cdot \operatorname{tg}^3 \beta \cdot \omega^3 \cdot f^3 \cdot \pi^3 \cdot (R+r)^3 \cdot (R-r)^3 \cdot m^3 \cdot n^3}} = \\
 &= \frac{F^2}{6 \cdot \sigma_p^3 \cdot \operatorname{tg}^2 \beta \cdot m \cdot \omega \cdot f \cdot \pi \cdot (R-r)^2 (R+r)} \quad [19]
 \end{aligned}$$

Srednjo hitrost vrtnanja v času t_{\max} izračunamo z deljenjem enačbe za napredek L_{0-t} z enačbo za čas napredovanja krone do popolne izrabe zobcev t_{\max} :

$$v_{sr} = \frac{L_{0-t_{\max}}}{t_{\max}} = \frac{1}{3} \frac{F \cdot n}{\sigma_p \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot (R-r)} \quad [20]$$

Iz enačbe za srednjo hitrost vrtnanja lahko zaključimo, da je hitrost napredovanja sorazmerna osni sili krone na hribino.

Raziskave so pokazale, da se hitrost napredovanja ne spreminja proporcionalno z večanjem osne sile, temveč bolj intenzivno, ter da je povezanost zgoraj naštetih dejavnikov mnogo bolj kompleksna.

Vrsta in karakteristika izplake

Vsa dosedanja izvajanja za hitrost napredovanja in obremenitev na orodje, so temeljila na dejstvu, da je odstranjevanje delcev navrtanine, izpiranje in hlajenje orodja vedno dobro.

Iz prakse izhaja, da je efekt izpranja vrtine redkokdaj idealne. Odvisen je od:

- Oblike in premera krone;
- Premera drogovja;
- Pogojev v vrtini;
- Vrsta uporabljenega izplačnega medija;
- Razmerja med premerom jedrnika in premerom vrtalnega drogovja

Izplaka ima v fazi jedrovanja naslednje pomembne funkcije:

- Iznos delcev navrtanine iz vrtine;
- Čiščenje dna vrtine in odstranjevanje delcev z območja delovanja zobcev krone;
- Hlajenje krone;
- Mazanje in izboljšanje rezalnega procesa;
- Zaščita ostenja vrtine, kjer je to potrebno;
- Zmanjševanje trenja med rotiranjem vrtalnega drogovja;
- Zmanjšuje vibracije.

Vsekakor so najpomembnejši funkciji izplake hlajenje vrtnega orodja in odstranjevanje delcev navrtanine. Na osnovi teh funkcij, izračunamo potrebno količino izplake.

Izplako črpamo skozi vrtno drogovje in prostora med zunanjo in notranjo cevjo jedrnika do krone, kjer prehaja na dno vrtine in skupaj z navrtanino v vmesnem prostoru med jedrnikom in ostenjem vrtine na površino.

Paziti je potrebno, da je hitrost dvigovanja izplake in navrtanine v vmesnem prostoru vrtine višja, kot je hitrost tonjenja največjih delcev navrtanine. Količina potrebne izplake pa mora biti tolikšna, da zagotavlja primerno hlajenje vrtnega orodja, trša, kot je hribina, več izplake je potrebno za hlajenje orodja.

Običajno, se hitrosti izplake v vmesnem prostoru gibljejo od 0,3 do 0,5 m/s. Hitrost izplake je v vmesnem prostoru vrtine odvisna predvsem od gostote hribine in velikosti zrn navrtanine, ter od gostote in viskoznosti izplake.

IZBIRA VRTALNEGA ORODJA - KRONE

Primarni cilj jedrovanja je pridobitev kvalitetnega jedra iz katerekoli globine v vsakeršni hribinski formaciji. Kvaliteta pridobljenega jedra je funkcija uporabljene tehnike vrtanja (konvencionalno jedrovanje, wire line), izbira pravnega vrtnega orodja za formacije skozi katere vrtamo ter izbira in oprema jedrnika. Izbira prave krone za jedrovanje v posameznih hribinah, zahteva izkušenega operaterja. Še posebej je to pomembno pri uporabi diamantnih kron. V splošnem veljajo enaki principi izbire vrtnih kron za oba prevladujoča tipa kron in sicer za krone iz karbidnih materialov in diamantne krone.

Krone iz karbidnih materialov

V splošnem se tovrstne krone uporabljajo le v nekoherentnih in mehkejših materialih, saj se karbidni vložki kron hitro obrabijo. Njihova uporaba se v svetu počasi opušča. Izbira posamezne krone je omejena le na velikost ter razporeditev zob in debelino stene krone.

Diamantne krone













Izbira diamantne krone, ki bo uporabljena v posamezni hribinski formaciji, zahteva izkušenega operaterja. Poleg tega, da so diamantne krone drag potrošni material, pravilna izbira pripomore hitrejšemu napredku ter k pridobivanju kvalitetnejšega jedra. Diamantne krone so okarakterizirane z naslednjim:

- Geometrijski in rezalni profil;
- Število, razpored in velikost diamantov v kroni;
- Karakteristike matrice v katero so vloženi diamanti.

Geometrijski in rezalni profil krone

Krona mora biti oblikovana tako, da zagotavlja enakomeren in efektiven rez hribine. Zobje krone, morajo biti dobro hlajeni, prav tako mora biti navrtanina nemudoma odstranjena.

Idealna širina reza krone, je čim ožja. Zaradi svojih karakteristik pa posamezni hribinski materiali do neke mere narekujejo širino in višino rezalnega profila. Rezalni profili so prikazani na sliki 7.

Krona s površinsko vloženi zobmi	
Ploščat, krožni profil Standardni profil z dobrim učinkom	
Polkrožni profil Odporen profil za uporabo v razpokanih formacijah	
Stopničasti profil Visoki napredki v krhkih in razpokanih formacijah	
Konični profil Dobri napredki, odpornejši kot stopničasti profil	
Pilotni profil Dobra stabilizacija vrtine, uporaben v srednje trdih formacijah	
Bikonični profil Za tankostenske krone, uporaben v mehkih in nerazpokanih formacijah	
Impregnirane krone	
Ploščat profil Standardni profil za tankostenske krone, uporaben v zelo trdih in razpokanih formacijah	
Polkrožni profil Standarden profil za debelostenske krone, uporaben v trdih in razpokanih formacijah	
Stopničasti profil Profil za debelostenske krone, uporaben v zelo trdih formacijah	
Konični profil Dobri napredki	
Dvojni stopničasti profil Profil uporaben samo za debelostenske krone	
Žagast profil Uporaben v zelo trdih nerazpokanih formacijah	

Slika 7.: Tipični rezalni profili diamantnih kron

Dovajanje izplačnega medija na krono, se izvaja preko t.i. izplačnih kanalov oziroma poti, ki so v sami kroni. Število teh kanalov v kroni je odvisno od hribine skozi katero vrtamo. Krone za mehkejšie materiale imajo več izplačnih kanalov, kot krone za trše materiale. Število in oblika izplačnih poti ima velik vpliv na geometrijo krone.

Število, razpored in velikost zob v kroni

Velikost, število in razpored zob v kroni je odvisno predvsem od hribinske formacije skozi katero bomo vrtali.

Velikost zob v kroni je v neposredni odvisnosti od trdote hribinskega materiala. Trši kot je material, manjša zrna in večje število diamantov je v kroni.

Zobje so v krono vloženi po vzorcih. Pri kronah, kjer so zobje površinsko vloženi, mora biti zagotovljeno prekrivanje brazd, ki jih razijo posamezni zobje. Zaradi tega je posamezen vzorec vstavljanja zob odvisen od velikosti le teh.

Karakteristike matrice v katero so vloženi zobje

Namen matrice, v katero so vloženi zobje, je da jih drži tako dolgo, dokler le ti učinkovito režejo kamnino, ter jih stabilno povezuje s telesom krone.

Krone s površinsko vloženiimi zobmi morajo imeti matrico, ki je odporna proti abraziji, ki jo ustvarjajo delci navrtane hribine. Te matrice so izdelane iz delcev volframovega karbida, ki jih povezuje bakrena zlitina.

Sestava matric mora biti prilagojena hribinskemu materialu in velikosti zob v kroni. V splošnem se pojavljajo problemi izrabe matric v mehkejšem materialu, kjer je abrazija, ki jo ustvarjajo delci navrtanine, velika. V tem primeru pride do izpadanja zob še preden se le ti obrabijo. Nepravilna obraba matrice je tudi eden izmed pokazateljev kvalitete izpiranja vrtine.

Pri impregniranih kronah, morajo biti zobje enakomerno porazdeljeni v telesu matrice. Material matrice se mora enakomerno izrabljati skupaj z obrabo zob ter tako omogočiti, da se odpirajo površine z neizrabljenimi zobmi.

PREGLED VRTALNIH PARAMETROV PRI RAZISKOVALNEM VRTANJU ZA PROJEKT IZDELAVE VELIKEGA PODZEMNEGA PROSTORA

Za ugotovitev hribinske sestave v kateri je bil predvidena izvedba velikega jamskega prostora je bilo izvedeno geomehansko – strukturno vrtanje. Na območju raziskav so se menjali apnenci, dolomiti in breče, s tankimi lapornatimi vložki. Po podatkih kartiranj in geofizikalnih meritev se različne plasti hitro menjujejo med seboj, z geomehanskega stališča pa ni bistvenih razlik med njimi. Vrednosti RMR uvrščajo ta del v srednji razred po kvaliteti hribine. Vrtanje

se je izvajalo z uporabo diamantnih kron in dvojnega jedrnika. Vrtina je bila izdelana do globine 246 m. Za naše analize ustreznosti in določitve optimalnih parametrov vrtnja z diamantnimi kronami je bilo pomembno, da smo poleg natančne spremljave vrtnja preko vrtnih poročil imeli na razpolago veliko podatkov iz laboratorijskih preiskav vzorcev jedra. Popis vzorcev, ki so bili preiskovani v laboratoriju je podan v Tabeli 1.

Globina (m)	Opis	Enosna tlačna trdnost valj σ_c (MPa)
30.5 - 30.8	apnenec	35,2
64.2 - 64.6	laporna breča	17,2
71.4 - 71.6	breča z laporjem	24,6
98.0 - 98.6	laporni dolomit	31,6
118,2 - 118,5	apnena breča	37,7
124.3 - 124.6	dolomitno laporna breča	31,9
130,1 - 130,5	dolomitna breča	30,4
134.0 - 134.3	dolomitna breča	40.1
142.0 - 142.4	dolomit	16,1
152.4 - 152.6	dolomitna breča	32,7
153.5 - 153.7	dolomitna breča	61,7
155.7 - 156.0	dolomitna breča	27,1
171.0 - 171.2	dolomitna breča	73,7
177,7 - 178,0	dolomitiziran apnenec	65,3
179,7 - 180,0	brečast dolomit	89,5
183,8 - 184,0	brečast dolomit	94,3
184,0 - 184,3	dolomitiziran apnenec	56,4
187,7 - 188,0	dolomitna breča	96,0
192.4 - 192.6	dolomitna breča	102,9
193,5 - 193,7	brečast dolomitiziran apnenec	29,9
203,0 - 203,2	apnenec s polami glinavca	27,8
214,0 - 214,2	apnenec	59,4
236.7 - 236.9	apnenec	91,7
246,0 - 246,2	apnenec	65,8

Tabela 1.: Popis vzorcev jedra za laboratorijske preiskave in rezultati enosne tlačne trdnosti

Med vrtnja, smo spremljali vrtnalne parametre, in sicer:

- Moment;
- Obremenitev krone;
- Hitrost napredovanja.

Število obratov vrtnega pribora pa je bilo med 300 do 400 obr./min.

Po izračunu in optimizaciji vrtnih parametrov smo v območju vzeti vzorcev za laboratorijske preiskave delovali na krono z naslednjimi obremenitvami podanimi v Tabeli 2.:

Globina	Hribina	Uporabljeni obremenitvi na krono	
		kN	T
30.5 - 30.8	apnenec	14	1,4
64.2 - 64.6	laporna breča	7	0,7
71.4 - 71.6	breča z laporjem	10	1,0
98.0 - 98.6	laporni dolomit	13	1,3
118,2 - 118,5	apnena breča	15	1,5
124.3 - 124.6	dolomitna laporna breča	13	1,3
130,1 - 130,5	dolomitna breča	12	1,2
134.0 - 134.3	dolomitna breča	16	1,6
142.0 - 142.4	dolomit	6	0,6
152.4 - 152.6	dolomitna breča	13	1,3
153.5 - 153.7	dolomitna breča	25	2,5
155.7 - 156.0	dolomitna breča	11	1,1
171.0 - 171.2	dolomitna breča	30	3,0
177,7 - 178,0	dolomitiziran apnenec	26	2,6
179,7 - 180,0	brečast dolomit	36	3,6
183,8 - 184,0	brečast dolomit	38	3,8
184,0 - 184,3	dolomitiziran apnenec	22	2,2
187,7 - 188,0	dolomitna breča	38	3,8
192.4 - 192.6	dolomitna breča	41	4,1
193,5 - 193,7	brečast dolomitiziran apnenec	12	1,2
203,0 - 203,2	apnenec s polami glinavca	11	1,1
214,0 - 214,2	apnenec	24	2,4
236.7 - 236.9	apnenec	37	3,7
246,0 - 246,2	apnenec	26	2,6

Tabela 2.: Obremenitve na vrtno krono

V preizkusu je bila uporabljena diamantna krona Ø 96/63,5 mm, dvojni jedrnik Ø 93 mm, vrtno drogovje Ø 2 3/8" in vrtni stroj Fraste ML.

Kljub dejstvu, da geološki popis jedra na posameznih odsekih prikazuje enake hribine, pa je za doseganje optimalnega napredka bilo potrebno obremenitev na krono prilagajati. Vzrok temu je nehomogenost hribinskih gmot oziroma nehomogenosti v posamezni hribini, kot je na primer razpokanost in podobno.

Iz ugotovljenih obremenitev lahko za posamezne hribinske sklope podamo priporočeno – optimalne obremenitve kot sledi:

Hribina	Obremenitev	
	kN	t
dolomit	6	0,6

Hribina	Obremenitev	
	kN	t
laporna breča	7	0,7
breča z laporjem	10	1
apnenec s polami glinavca	11	1,1
brečast dolomitiziran apnenec	12	1,2
dolomitna breča	12 – 41	1,2 – 4,1
laporni dolomit	13	1,3
dolomitno laporna breča	14	1,4
apnenec	14,0 – 24,0	1,4 – 2,4
apnena breča	15	1,5
dolomitiziran apnenec	23 - 26	2,3 – 2,6
brečast dolomit	36 – 38	3,6 – 3,8

ZAKLJUČEK

Metode optimiranja geomehansko – strukturnega vrtanja je kompleksen postopek, ki nima univerzalne uniformne rešitve. Zaradi geomehanskih in strukturnih značilnosti hribinskih masivov, je težko natančno napovedati oziroma predpisati parametre vrtanja, ki so potrebni za pridobitev kvalitetnega jedra. Veliko vlogo pri optimiranju vrtalnih parametrov ima izkušnost in znanje operaterja vrtalne naprave. Nedvomno, pa je mogoče podati priporočila za optimalen način vrtanja kjer dobro poznamo predvideno geološko strukturo hribin, ki jih bomo raziskovali. Nekvalitetno opravljena vrtalna dela, in varčevanje pri le-teh, pa v praksi pomeni neustrezno projektiranje zahtevnih površinskih in podzemnih objektov in mnogokrat veliko povečanje stroškov investicije.

LITERATURA

1. W.F. Heinz, Diamond drilling handbook, Third edition 1994, Republic of South Africa.
2. Boart Longyear, Diamond products field manual, 1997, USA.
3. Tetsuji OHNO, Hirokazu KARASAWA and Hideo KOBAYASHI, Durability improvement and manufacturing cost reduction of polycrystalline diamond compact bits for geothermal well drilling, National Institute for Resources and Environment, Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kyushu - Tohoku, Japan, May 28 - June 10, 2000.
4. INA Naftaplin, Priručnik za duboko bušenje i pridobivanje nafte i plina, Zagreb 1976.
5. ZAG Ljubljana, Poročilo o presiometričnih meritvah za skladišče plinov Senovo – Zakov, Ljubljana junij 2006.