

**9. PROJEKTIRANJE (KONSTRUKCIJA)  
RADNE I ZAVRŠNE KONTURE  
POVRŠINSKOG KOPA**

# 9.1. TEORIJSKE POSTAVKE GEOMETRIJSKE ANALIZE KONTURE (RADNE I ZAVRŠNE) POVRŠINSKOG KOPA

## 9.1.1. Struktura podataka za konstrukciju kontura površinskog kopa

Usvajanje (odabir) projektnih parametara površinskog kopa izvodi se temeljem:

- tehničko-tehnoloških uvjeta eksploatacije (zahtjeva tehnološkog procesa)
- sigurnosnih uvjeta (zahtjev stabilnosti kopa)

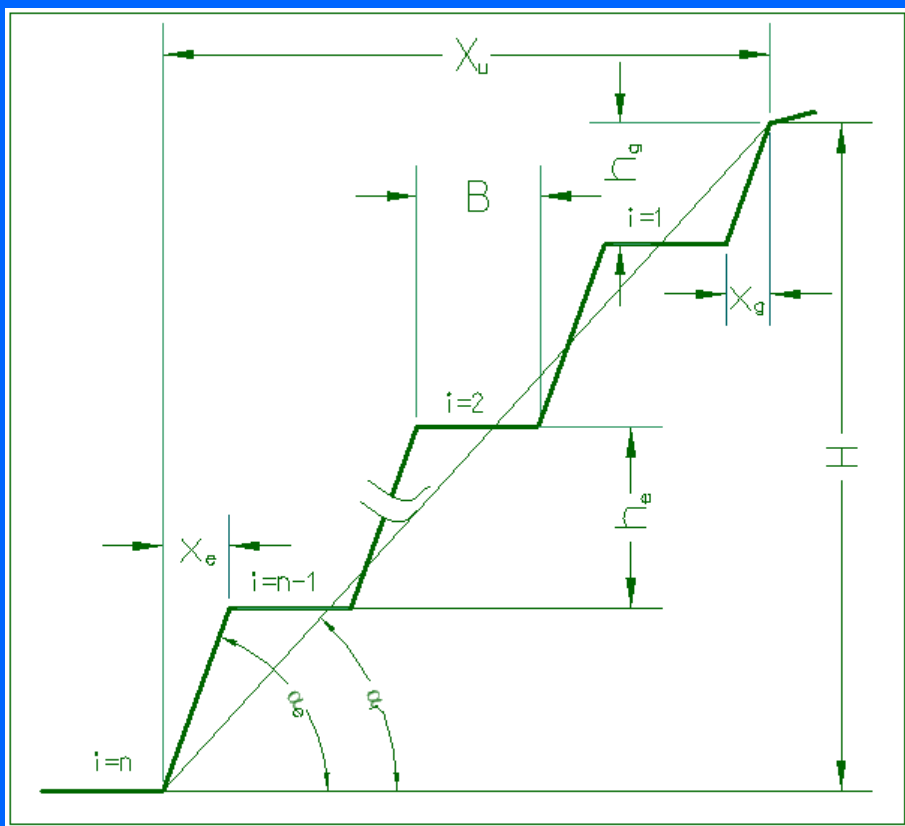
**Tablica 9.1. Ulazni podaci za geometrizaciju (konstrukciju) površinskog kopa**

Značajke stijena (m.s.) u ležištu		Oznaka	Jedinica
obujamska masa stijene	određuju se ispitivanjem u laboratoriju	$\gamma_s$	kg/m <sup>3</sup>
čvrstoća (u suhom, vodozasićenom i smrznutom stanju)		$\sigma$	Pa
kut unutarnjeg trenja		$\varphi$	°
kohezija		c	MPa
koeficijent seizmičnosti, K (od 0,1 do 0,4)	proračun	K	

**Tablica 9.2. Projektni (geometrijski) parametri površinskog kopa**

Parametar			Oznaka	Jedinica
1	visina radne kosine	utvrđeno EoR-om	$H_r$	m
	visina završne kosine		$H_z$	m
2	visina etaže	proračun prema zadanim uvjetima	$h$	m
	kut nagiba etažne kosine		$\alpha_e$	°
	kut nagiba radne kosine kopa (najstrmiji)		$\alpha_r$	°
	kut nagiba završne kosine kopa (najstrmiji)		$\alpha_z$	°
3	broj etaža	proračun prema 1,2,3	$n$	-
	širina etaže-minimalna		$B$	m

## 9.1.2. Konstrukcija parametara površinskog kopa



$H$  – visina završne kosine (površinskog kopa), m

$h_e$  – konstantna visina etaže, m

$h_g$  – promjenjiva visina najviše (gornje) etaže, m

$X_z$  – širina (projekcija) završne kosine, m

$n$  – ukupan broj etaža

$i$  – redni broj etaže,  $i = 1 \dots n$

$B_{\min}$  – minimalna širina etaže, m

$X_e$  – konstantna širina (projekcija) etažne kosine, m

$X_g$  – promjenjiva širina (projekcija) najviše (gornje) etažne kosine, m

$\alpha_e$  – kut nagiba etažne kosine, °

$\alpha_z$  – kut nagiba završne kosine, ° (ili radne ako se prikazuje međufaza)

Slika 9.1. Presjek konture površinskog kopa, s općim parametrima

## Izrazi za izračun parametara površinskog kopa

Određivanje minimalne širine etaže ( $B_{min}$ ) izvodi se iz izraza za širinu (projekciju) završne (ili radne) kosine:

$$X_z = (n - 1) \cdot B_{min} + (n - 1) \cdot x_e + x_g \quad (1)$$

te je minimalna širina etaže ( $B_{min}$ ):

$$B_{min} = \frac{X_z - (n - 1) \cdot x_e - x_g}{n - 1} \quad (2)$$

Drugi oblik izraza za projekciju završne kosine (koji se uvrštava u (2)) je:

$$X_z = \frac{H}{tg\alpha_z} \quad (3)$$

Broj etaža dobije se iz izraza:

$$n = \frac{H}{h} \quad (4)$$

Broj etaža zaokružuje se na cijeli broj.

Kada je  $h_g < 0,3h_e$  tada se usvaja (formira) visina  $h_g$  do  $1,3h_e$ . Shodno tome, kada je  $h_g > 0,3h_e$  tada se formira visina  $h_g$  do maksimalne visine  $h_e$ . Ovo pravilo je ovisno o nominalnom iznosu visine i izraženije je kod većih iznosa, npr. kada je  $h > 10$  m.

Kada je  $X_e = X_g$ , izrazi (1) i (2) poprimaju oblik:

$$X_z = (n - 1) \cdot B_{min} + n \cdot x_e \quad (5)$$

$$B_{min} = \frac{X_z - n \cdot x_e}{n - 1} \quad (6)$$

Konstantna širina (projekcija) etažne kosine dobije se iz izraza:

$$x_e = \frac{h_e}{tg\alpha_e} \quad (7)$$

Promjenjiva širina (projekcija) etažne kosine dobije se iz izraza:

$$x_g = \frac{h_g}{tg\alpha_g} \quad (7)$$

Dužina etažne kosine (računa se kod tehnologije iskopa) dobije se iz izraza:

$$L_e = \frac{h_e}{sin\alpha_e} \quad (8)$$

## 9.2. MODEL PRORAČUNA PROJEKTNIH PARAMETARA KONTURE POVRŠINSKOG KOPA

### 9.2.1. Analiza stabilnosti kosina-primjer proračuna koeficijenata (faktora) sigurnosti

**Tablica 9.3. Propisani koeficijenti (faktori) sigurnosti  
površinskog kopa**

<b>Kosina</b>	<b>Etažna</b>	<b>Radna</b>	<b>Završna</b>
<b>Ks</b>	<b><math>\geq 1,2</math></b>	<b><math>\geq 1,2</math></b>	<b><math>\geq 1,5</math></b>



## Tablica 9.4. Primjer proračuna koeficijenata (faktora) sigurnosti

Red. Br.	Značajke	Jedinica	Etažna kosina (<90°)	Etažna kosina (≈90°)	Radna kosina površinskog kopa	Završna kosina površinskog kopa
1.	Visina kosine, H	m	20	9	110	110
2.	Jedinični tlak stijene (srednji), $\sigma_s$	Pa	26 978	26 978	26 978	26 978
3.	Kut unutarnjeg trenja, $\varphi$	°	35	35	35	35
4.	Kohezija, c	Pa	300 000	500 000	300 000	300 000
5.	Koeficijent seizmičnosti, K (od 0,1 do 0,4)		0,4	0,1	0,4	0,2
6.	Kut nagiba kosine, $\alpha$	°	70	89,50	50	51
7.	Nagib kritične klizne plohe, $\alpha_k$ $\alpha_k = \frac{1}{2}(\alpha + \varphi)$	°	52,50	62,25	42,50	43,00
8.	Dubina vlačne pukotine, Z $Z = H(1 - \sqrt{\text{ctg}\alpha \cdot \text{tg}\alpha_k})$	m	6,2	7,8	13,5	14,4
9.	Dužina klizne ravnine, A $A = \frac{(H - Z)}{\sin \alpha_k}$	m	17,4	1,3	142,8	140,2
10.	Projekcija klizne plohe, b $b = A \cdot \cos \alpha_k$	m	10,6	0,6	105,3	102,5
11.	Kohezija-reducirana, $c_r$ $c_r = \frac{c}{1 + K \cdot \ln H/b}$	Pa	239 024	393 956	294 809	295 825
12.	Sila uzgona u plohi, U $U = \frac{1}{2} \sigma_w \cdot Z \cdot A$	N	530 184	50 373	9 485 357	9 907 701
13.	Sila hidrostatskog tlaka u vlačnoj pukotini, V $V = \frac{1}{2} \sigma_w \cdot Z^2$	N	190 108	301 557	899 878	1 018 739
14.	Sila potencijalno nestabilne stijene, $W_s$ $W = 0,5 \cdot \sigma_s \cdot H^2 \left[ \left( 1 - \left( \frac{Z}{H} \right)^2 \right) \text{ctg}\alpha_k - \text{ctg}\alpha \right]$	N	1 775 154	128 998	38 463 364	39 853 187
15.	Koeficijent sigurnosti, $K_s$ $K_s = \frac{c_r \cdot A \cdot L_j + [W(\cos \alpha_k - K \sin \alpha_k) - U - V \sin \alpha_k] \cdot \text{tg}\varphi}{W(\sin \alpha_k + K \cos \alpha_k) + V \cos \alpha_k}$		2,1	1,3	1,3	1,5

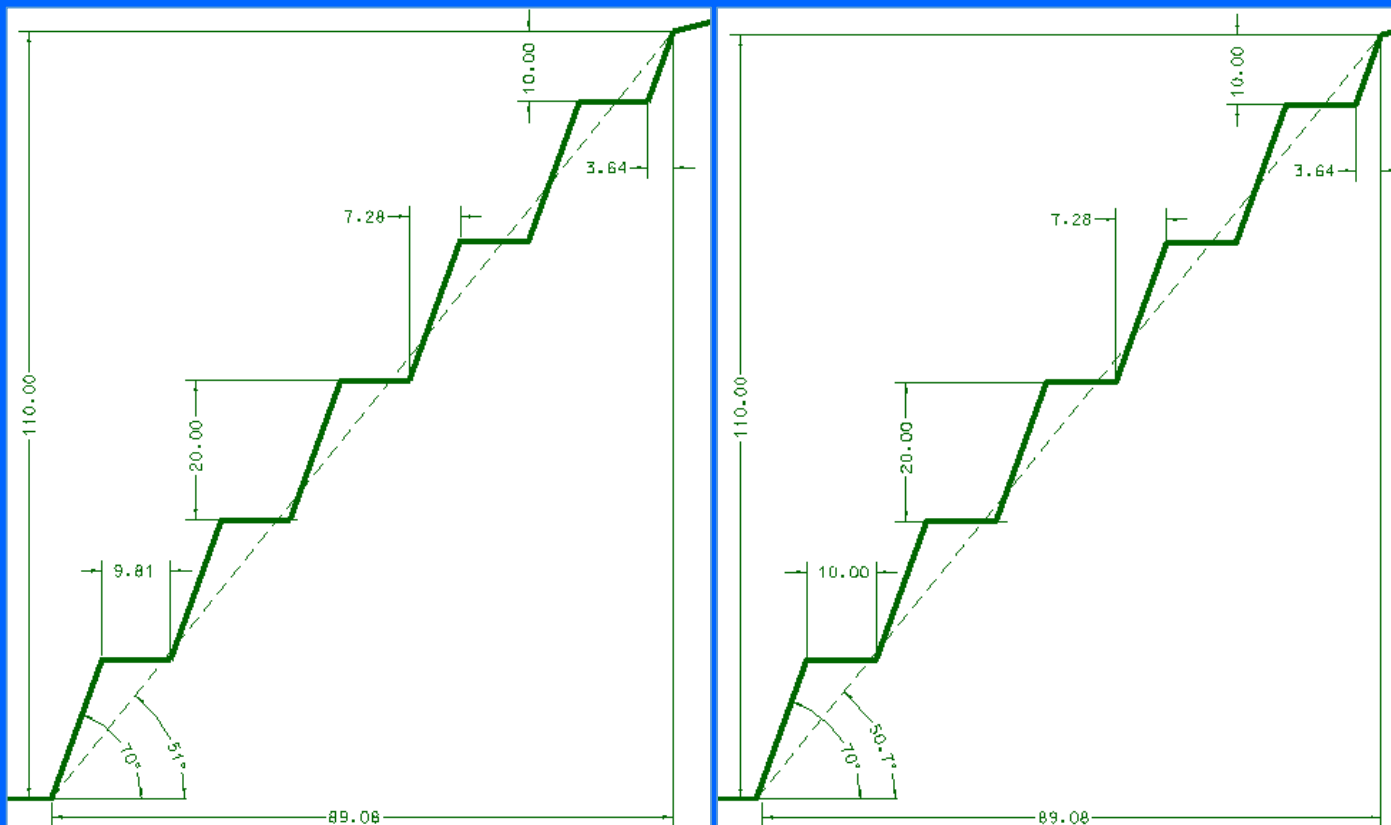
## 9.2.2. Proračun projektnih parametara konture površinskog kopa

Tablica 9.5 Primjer zadanih (usvojenih) parametara površinskog kopa

visina kopa	etažna kosina	završna kosina	visina etaže, konst.	visina etaže, gornje	broj etaža
H, m	$\alpha_e, ^\circ$	$\alpha_z, ^\circ$	h, m	h, m	n
110	70	51	20	10	6

**Tablica 9.6 Proračun i usvajanje širine etaža u konturi površinskog kopa**

minimalna širina etaže	Projekcija konst. etažne kosine	Projekcija gornje etažne kosine	Projekcija završne kosine	Tangens etažne kosine	Tangens završne kosine	usvojena širina etaže
B <sub>min</sub> , m	X <sub>e</sub> , m	X <sub>g</sub> , m	X <sub>z</sub> , m	tgα <sub>e</sub> , °	tgα <sub>z</sub> , °	B, m
9,81	7,28	3,64	89,08	2,747	1,235	10,00



a) proračunani parametri

b) usvojeni parametri

Slika 9.2 Presjek konture površinskog kopa, s proračunanim i usvojenim parametrima

# 9.3. KONSTRUIRANJE (DIZAJNIRANJE, KREIRANJE) ZAVRŠNE KOSINE I KONTURE POVRŠINSKOG KOPA (DIGITALNI KOLOKVIJ)

## 9.3.1. Konstruiranje završne kosine

Tablica 9.7 Zadani projektni parametri

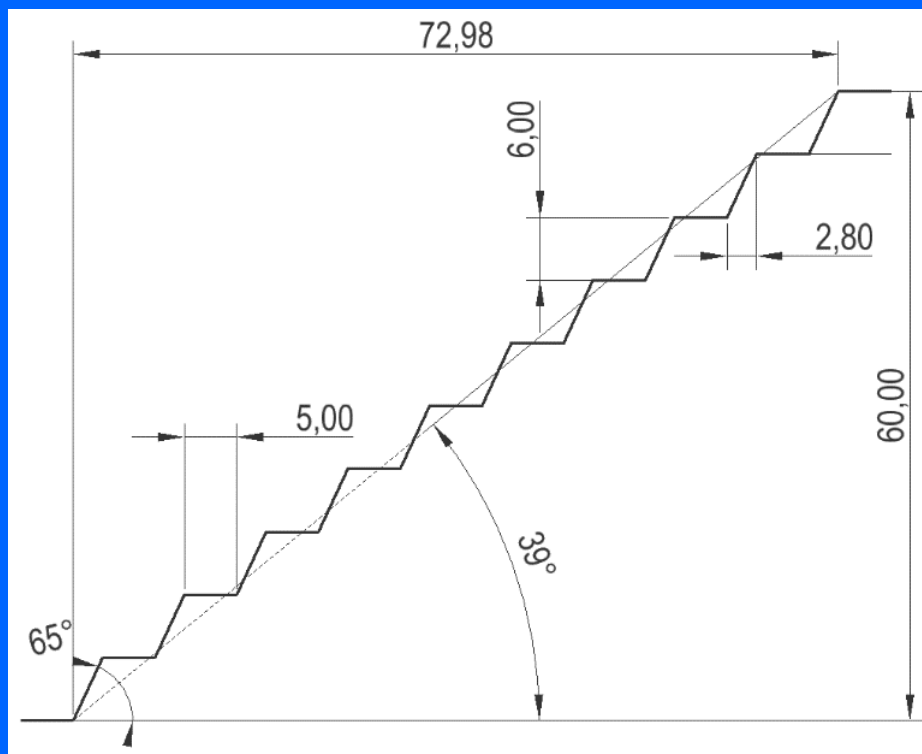
broj etaža	visina etaže	etažna kosina	završna kosina
n	h, m	$\alpha_e, ^\circ$	$\alpha_z, ^\circ$
10	6	65	37

**Tablica 9.8**

**a) Proračun završne širine etaže (B) prema zadanim projektnim parametrima**

širina etaže	Projekcij a etažne kosine	Projekcija završne kosine	Tangens etažne kosine	Tangens završne kosine
B, m	$X_{e'}$ , m	$X_{z'}$ , m	$\text{tg}\alpha_{e'}$ , °	$\text{tg}\alpha_{z'}$ , °
5,74	2,79	79,6	2,14	0,75

**b) Grafička konstrukcija presjeka završne kosine površinskog kopa (u MS-u, ORD-u) prema zadanim i proračunanim projektnim parametrima**



**Slika 9.3 Znakoviti presjek završne kosine**

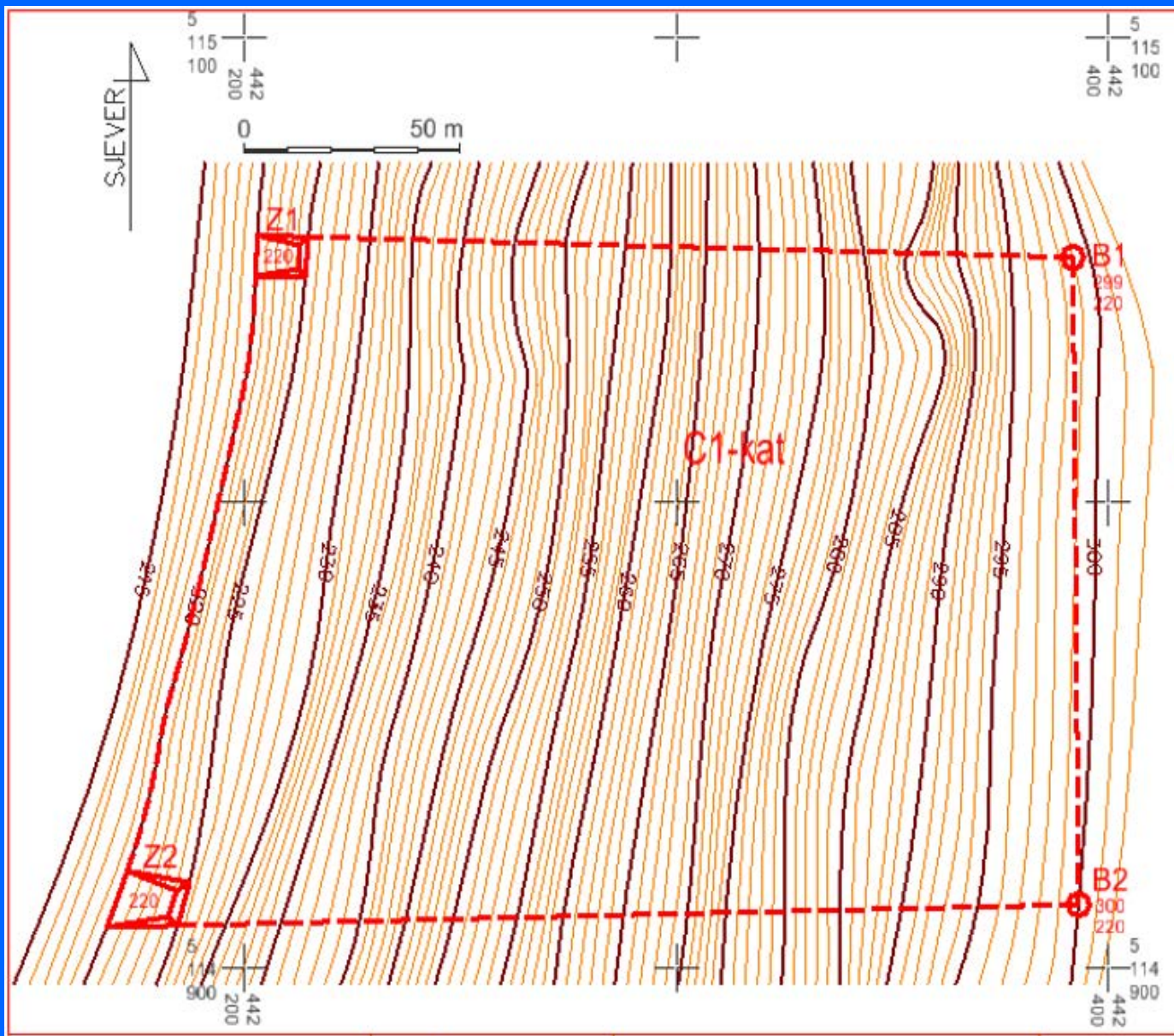
## 9.3.2. Konstruiranje završne konture površinskog kopa

Zadana je situacijska karta i granica eksploatacijskih rezervi (1-Situacija i karta rezervi.dgn) u dgn formatu te slijedeći projektni parametri

Tablica 9.9

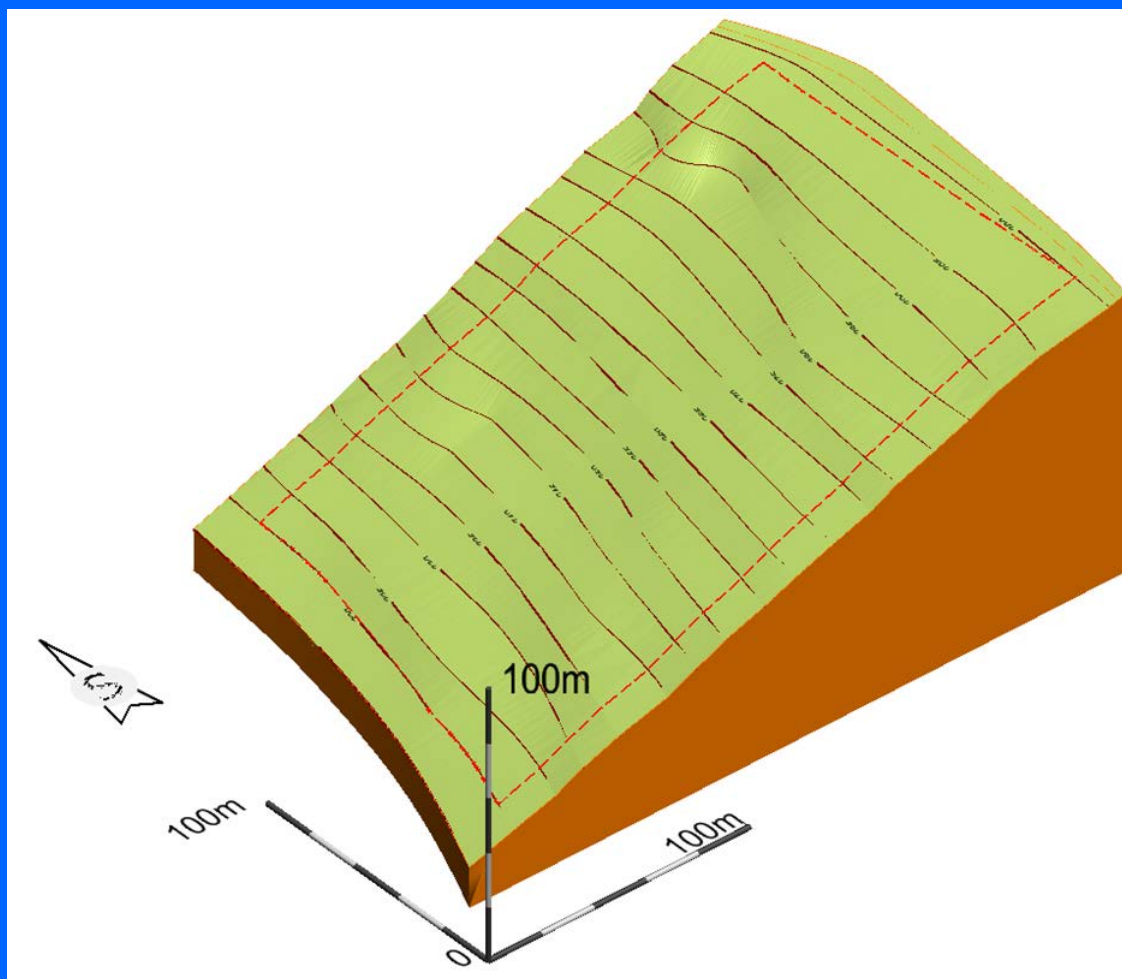
Osnovna razina rezervi	Maksimalna visina kopa	Nagib etažne kosine	Najveći završni kut kosine kopa
H, m n.m.	Hk, m	$\alpha_e, ^\circ$	$\alpha_z, ^\circ$
220	80	70	63





Slika 9.4 Situacijska karta ležišta s granicama rezervi

a) Konverzija (pretvorba) situacijske karte iz 2D u 3D okruženje. Izrada 3D modela površine terena. Označavanje smjera sjevera i kreiranje 3D grafičkog mjerila. Triangulacija i renderiranje modela.



Slika 9.5 Model postojećeg stanja ležišta (3D)

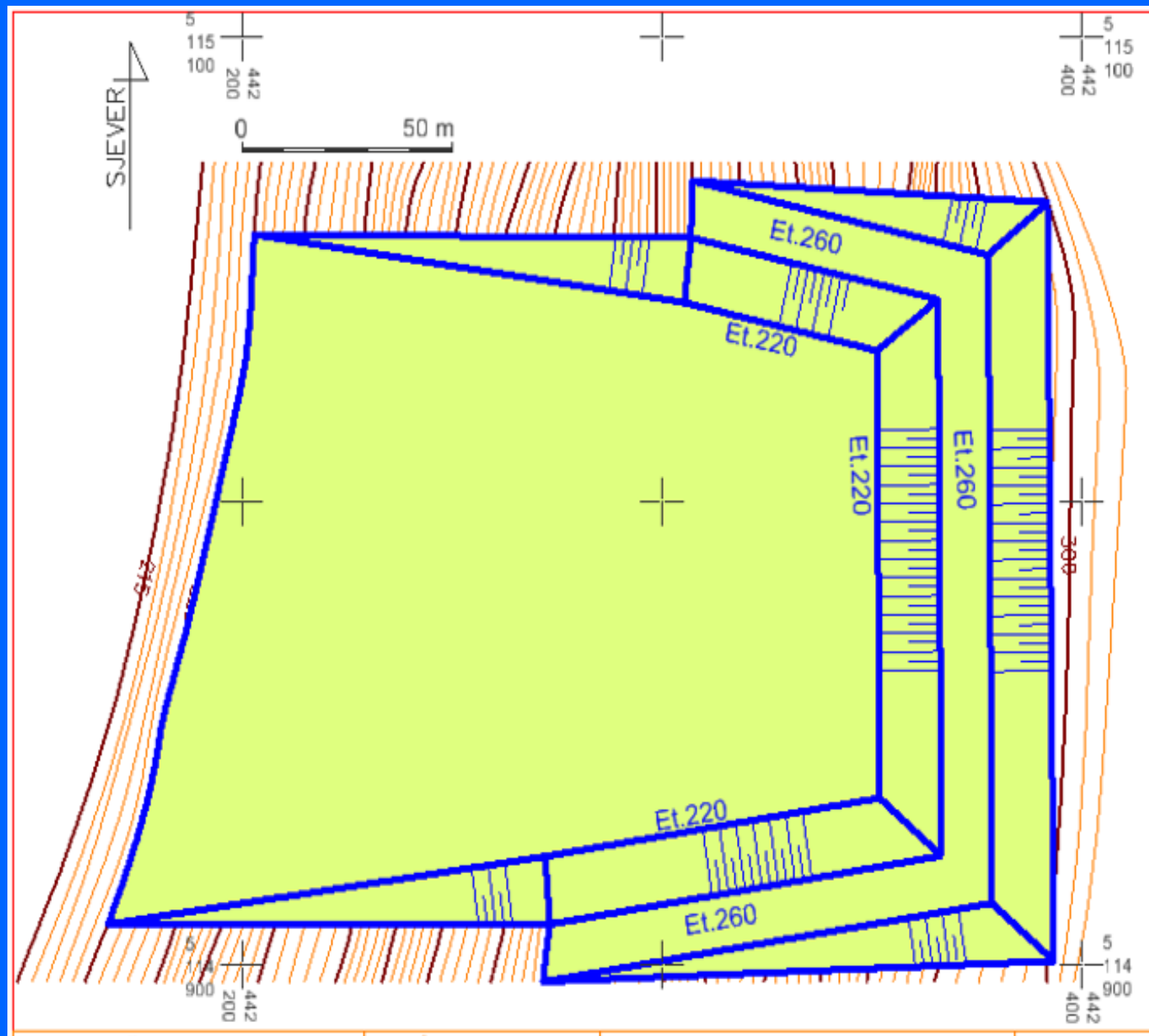
a) Projektiranje završnog stanja površinskog kopa u ravnini (2D), prema zadanim parametrima.

Treba izračunati (odrediti):

- Visinu etaže,  $h$  (za  $n=2$ ), m
- Projekciju etažne kosine, m
- Projekciju završne kosine, m
- Minimalnu širinu etaže,  $B_{\min}$ , m
- Ukupni obujam otkopanih etaža (MRM),  $O_u$ , m<sup>3</sup>

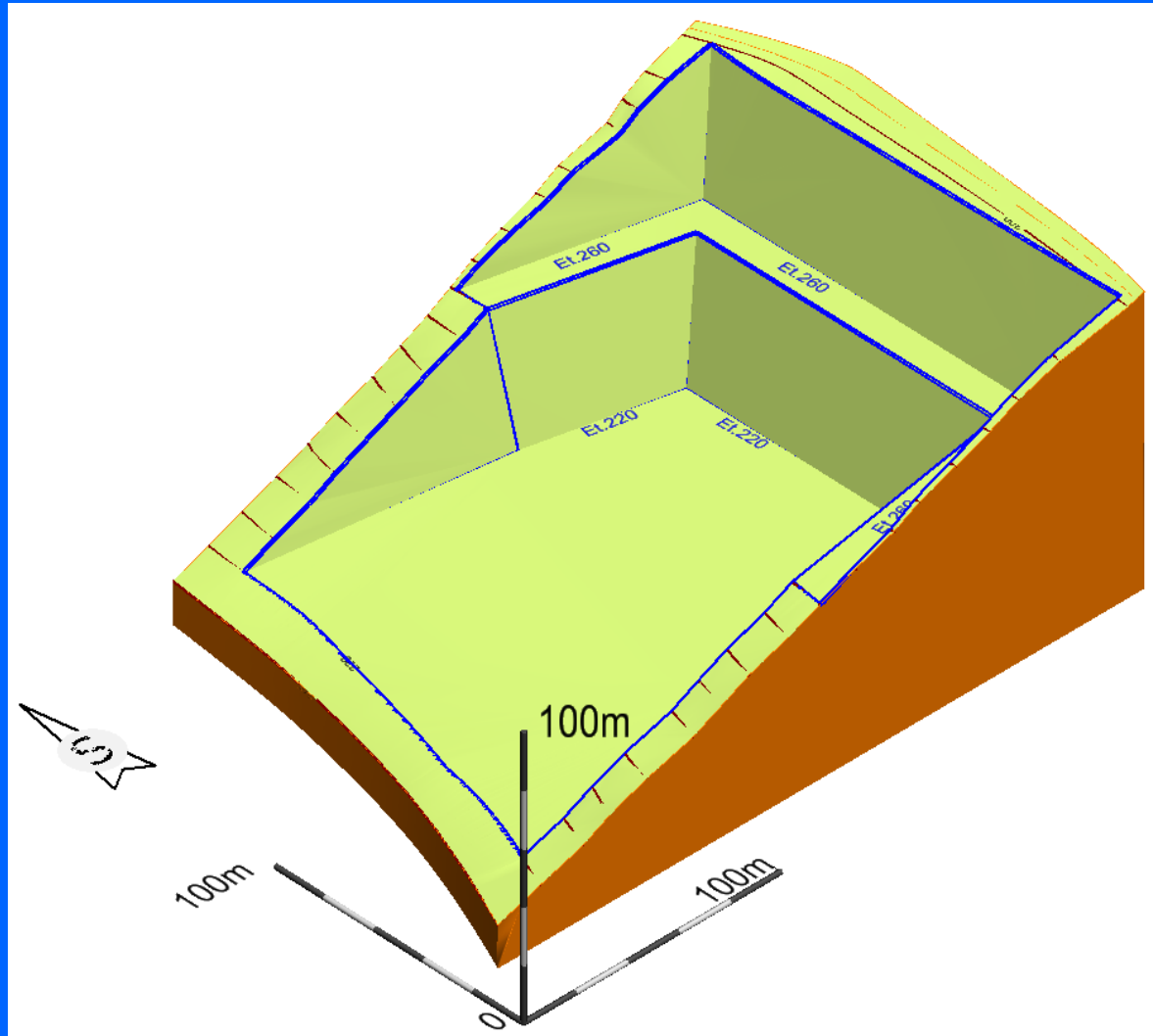
Tablica 9.10 Rezultati proračuna parameta završne konture kopa

Visina etaže	Projekcija etažne kosine	Projekcija završne kosine	Minimalna širina etaže
$h, \text{ m}$	$x_e, \text{ m}$	$x_e, \text{ m}$	$B_{\min}, \text{ m}$
40	14,56	40,76	12



Slika 9.6 Karta završnog stanja površinskog kopa (2D)

a) Izrada 3D modela završnog stanja. Označavanje smjera sjevera i kreiranje 3D grafičkog mjerila. Triangulacija i renderiranje modela.



Slika 9.7 Model završnog stanja površinskog kopa (3D)

## f) Proračun obujma:

- Obujam otkopanih etaža,  $O_u$ , primjenom metode računalnog modeliranja.
- Obujam stijene koja ostaje u završnoj kosini, primjenom metode srednje aritmetičke sredine (MSAV)

- Ulazni podaci za proračun obujma ispod završne konture (kosine), MSAV-om:

$$P_{(izv)} = 12\,136 \text{ m}^2 \quad (\text{planimetriranje})$$

$$d_{sr} = Hk/3 = 27 \text{ m} \quad (\text{proračun})$$

**Tablica 9.11 Proračun obujma otkopavanja,  
MRM-om**

Triangle Volume Report	
Report Created: 5/28/2019 Time: 1:26pm	
Mode: Entire Surface	
Input Grid Factor: 1.000000	
<b>Original Surface: sit</b>	
Description:	
Preference: Default	
Type: Existing	
<b>Design Surface: kraj</b>	
Description:	
Preference: Default	
Type: Existing	
Cut Factor: 1,0000	
Fill Factor: 1,0000	
Cut: 920348,88 cu m	
Fill: 17,75 cu m	
Net: 920331,14 cu m	

**Tablica 9.12 Izlazni (završni) rezultati proračuna obujma  
u konturi i ispod konture kopa**

Obujam otkopanih etaža (bilančno) (MRM)	Obujam stijene koja ostaje u završnoj kosini (izvan bilančno) (MSAV)	Ukupni Obujam stijene u ležištu (bilančno + izvan bilančno)
$O_{bil} = \text{Triangle vol. rep.}, \text{ m}^3$	$O_{izv} = P_b \times d_{sr}, \text{ m}^3$	$O_{uk} = O_{bil} + O_{izv}, \text{ m}^3$
<b>920 331</b>	<b>12 136 x 27 = 328 401</b>	<b>1 248 732</b>