

8.3. PROJEKTIRANJE PODZEMNIH KOPOVA

8.3.1. TEMELJNI ZAHTJEVI (PITANJA) PRI PROJEKTIRANJU PODZEMNE EKSPLOATACIJE (OKVIRNI SADRŽAJ)

- Izrada geometrijskog modela (kreacija) rudnika (podzemnih prostorija)
- Postupanje s otkopanim prostorom (analiza stabilnosti rudnog tijela i pratećih stijena)
- Izrada podzemnih prostorija (tehnologija)
- Otkopavanje ležišta (metoda)
- Transport (vrsta i položaj podzemnih rudarskih prostorija; konfiguracija terena)
- Provjetravanje podzemnih prostorija (dužina i složenost oblika vjetrenih putova; konfiguracija terena; dubina rudnika)
- Odvodnja podzemnih prostorija (hidrogeološki uvjeti u ležištu; konfiguracija terena; dubina rudnika)
- Organizacija rada (struktura i kvalifikacija radnika; dinamika i vremenski plan radova)
- Sigurnost na radu (mjere zaštite; upute za rad; higijensko-tehnička zaštita)
- Utjecaj na okoliš (mjere zaštite; sanacija terena)
- Tehno-ekonomska ocjena isplativosti (normativi; bilance, likvidnost-tok, prag korisnosti-uspjeha)

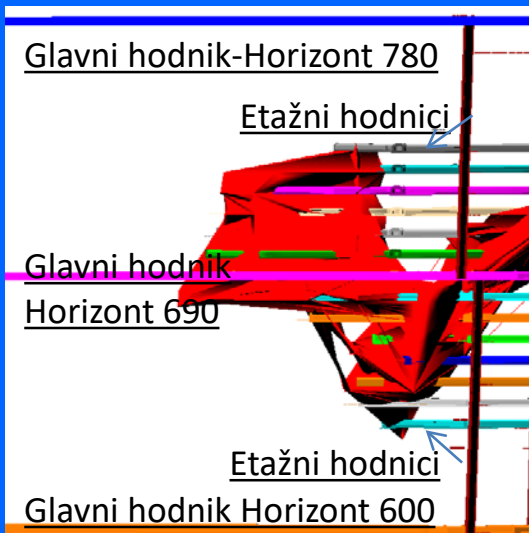
8.3.2. RAZVRSTAVANJE I IZRADA RUDARSKIH PODZEMNIH PROSTORIJA

- prema zalijeganju u prostoru,
- prema položaju u odnosu na povezanost s površinom terena i ležištem,
- prema značaju-ulози u transportu i provjetravanju.

8.3.2.1. Podjela rudarskih podzemnih prostora prema zalijeganju u prostoru

- Horizontalne: hodnici, galerije-komore,
- Kose: niskopi i uskopi,
- Vertikalne: okna
- Spiralne (zakrivljene): niskopi i uskopi

8.3.2.1.1. Horizontalne i subhorizontalne prostorije



Hodnici (boksitna ležišta)



Široka čela (ugljen)



Galerije (agk)

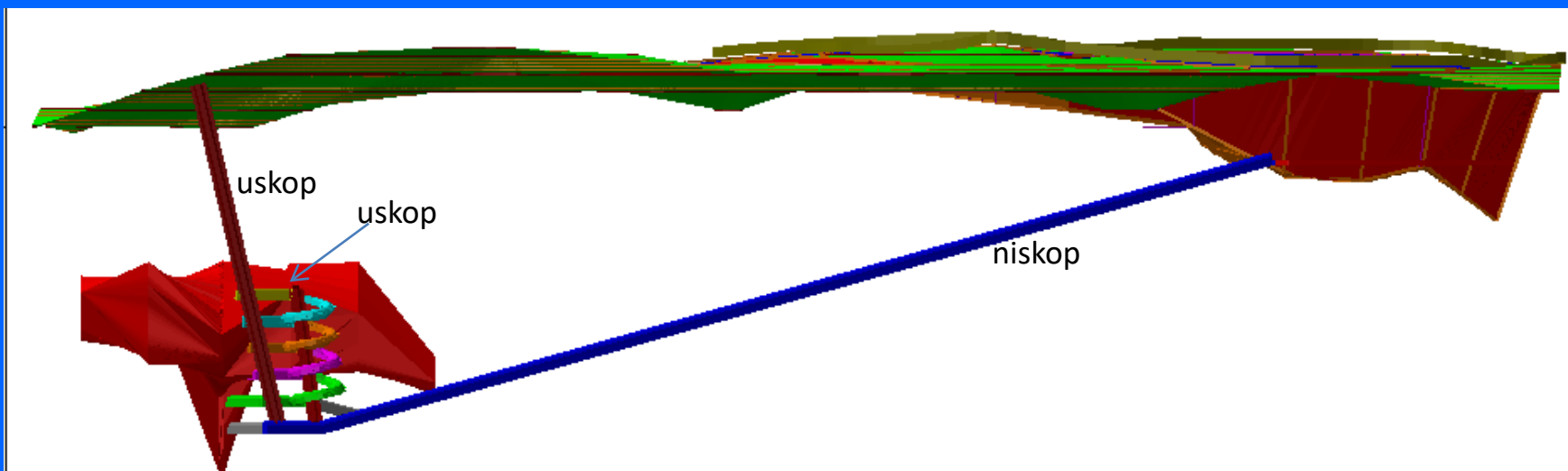


Komore (sol, metali)

Slika 8.3.1

8.3.2.1.2. Kose prostoriје

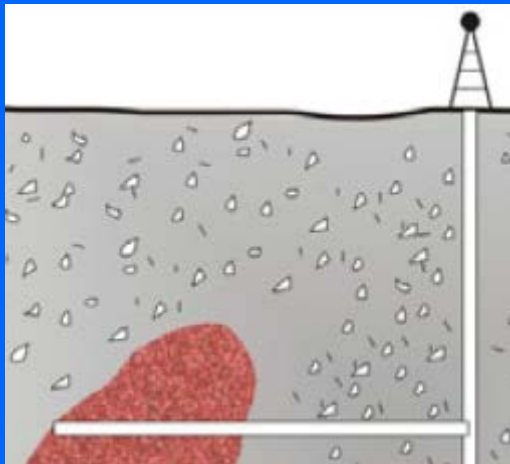
- Niskopi
- Uskopi



Slika 8.3.2

8.3.2.1.3. Vertikalne i subvertikalne prostorije

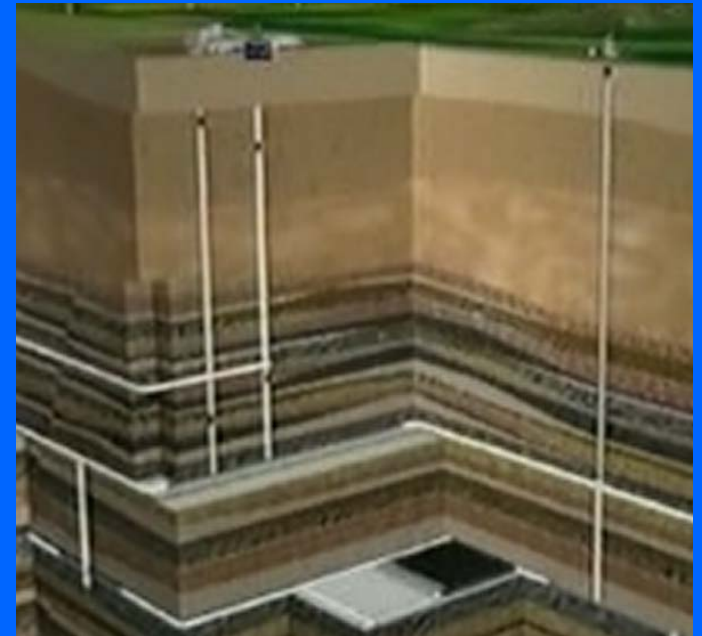
- Vertikalna i kosa okna



Masivna ležišta metalčnih ruda



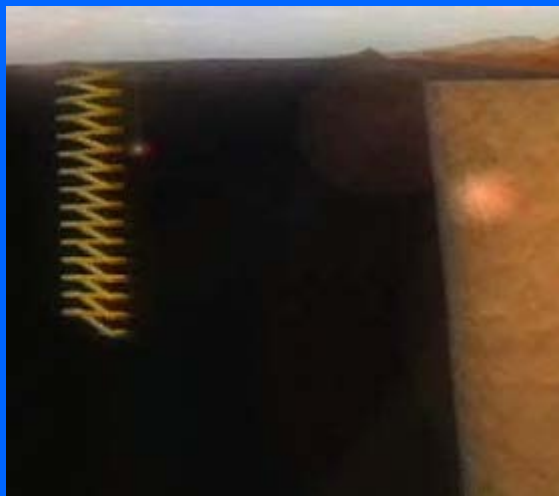
Duboka ležišta plemenitih elemenata



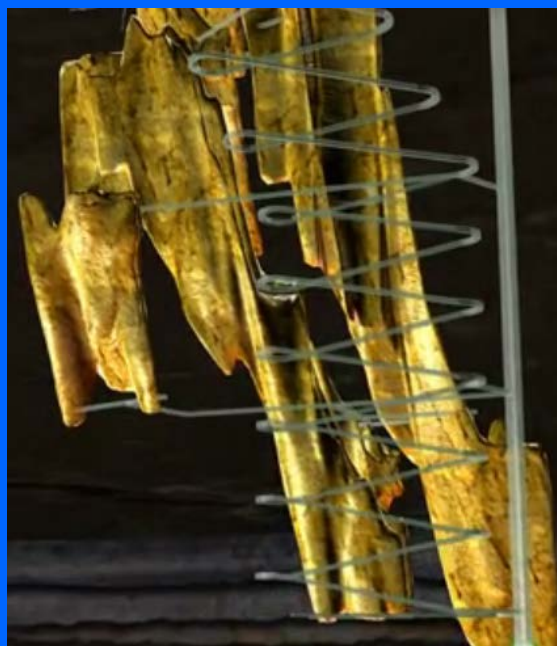
Ležišta ugljena i ležišta soli

Slika 8.3.3

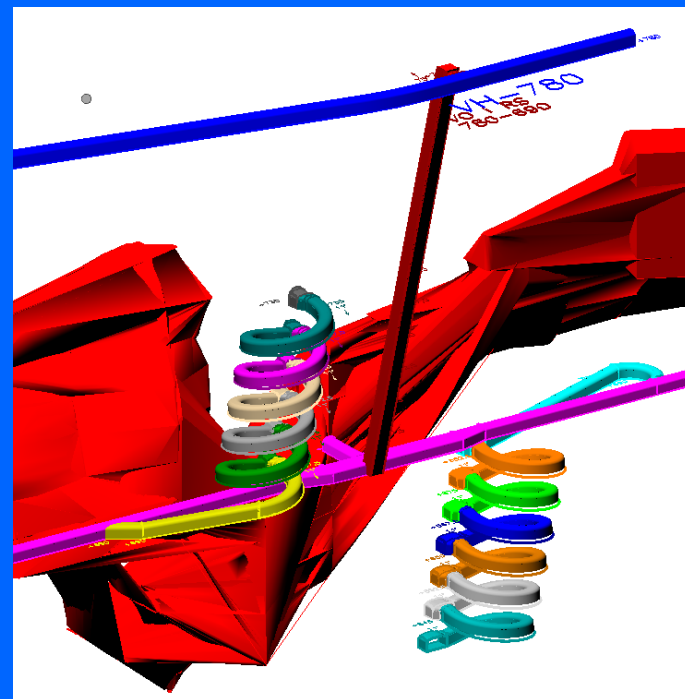
8.3.2.1.4. Spiralne (zakrivljene) prostorije



Spiralni niskop bočno od ležišta



Spiralni niskop oko ležišta



Spiralni niskop i uskop
neposredno uz ležište

Slika 8.3.4

8.3.2.2. Podjela rudarskih podzemnih prostorija prema položaju u odnosu na povezanost s površinom terena i ležištem

- Prostorije otvaranja: potkop (hodnik), galerija (komora), niskop, okno, kombinirane prostorije otvaranja
- Prostorije razrade (hodnici, niskopi, uskopi)
- Prostorije pripreme (hodnici, niskopi, spiralni niskopi, uskopi)
- Prostorije otkopavanja (hodnici, uskopi, komore).

8.3.2.2.1. Otvaranje podzemnog kopa

☐ Izbor načina otvaranja, ovisi o:

- konfiguraciji terena
- položaju i obliku ležišta
- dubini eksploatacije
- rasporedu korisne mineralne sirovine
- utvrđenim rezervama korisne mineralne sirovine
- tektonici terena
- fizičko-mehaničkim značajkama mineralne sirovine i pratećih naslaga
- provjetravanju jame
- prometnim prilikama.

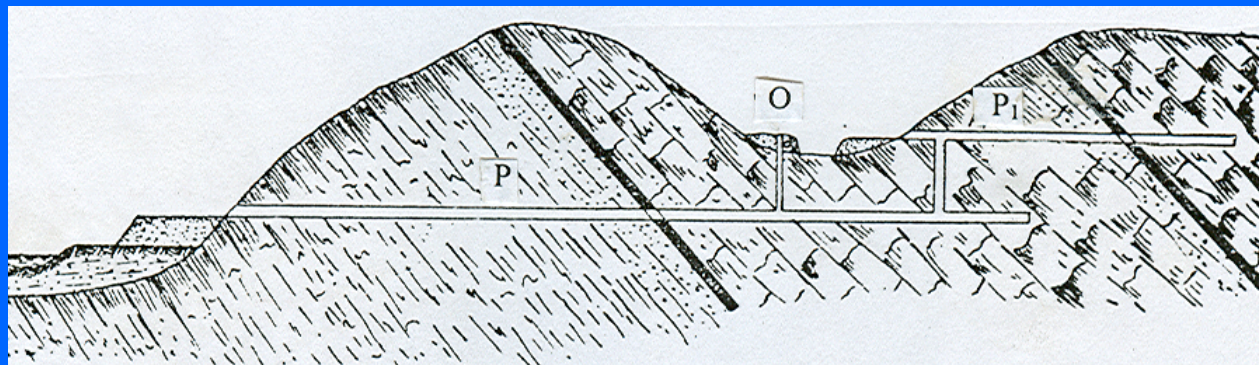
☐ Izbor mjesta otvaranja, ovisi o:

- položaju ležišta
- topografiji terena
- fizičko-mehaničkim svojstvima stijenskog masiva
- odnosu ležišta i prostorija otvaranja
- položaju uređaja za oplemenjivanje i preradu.

Načini otvaranja podzemnog kopa:

- Horizontalnim i subhorizontalnim prostorijama: potkopima i/ili otvorenim galerijama
- Kosim prostorijama: niskopima i uskopima
- Vertikalnim i subvertikalnim prostorijama-vertikalnim i kosim oknima
- Kombinacijom podzemnih prostorija otvaranja

Otvaranje podzemnog kopa potkopima, u slojevitim ležištima



P, P1-potkop

O-okno

Izrada potkopa poprečno na ležište (sloj)



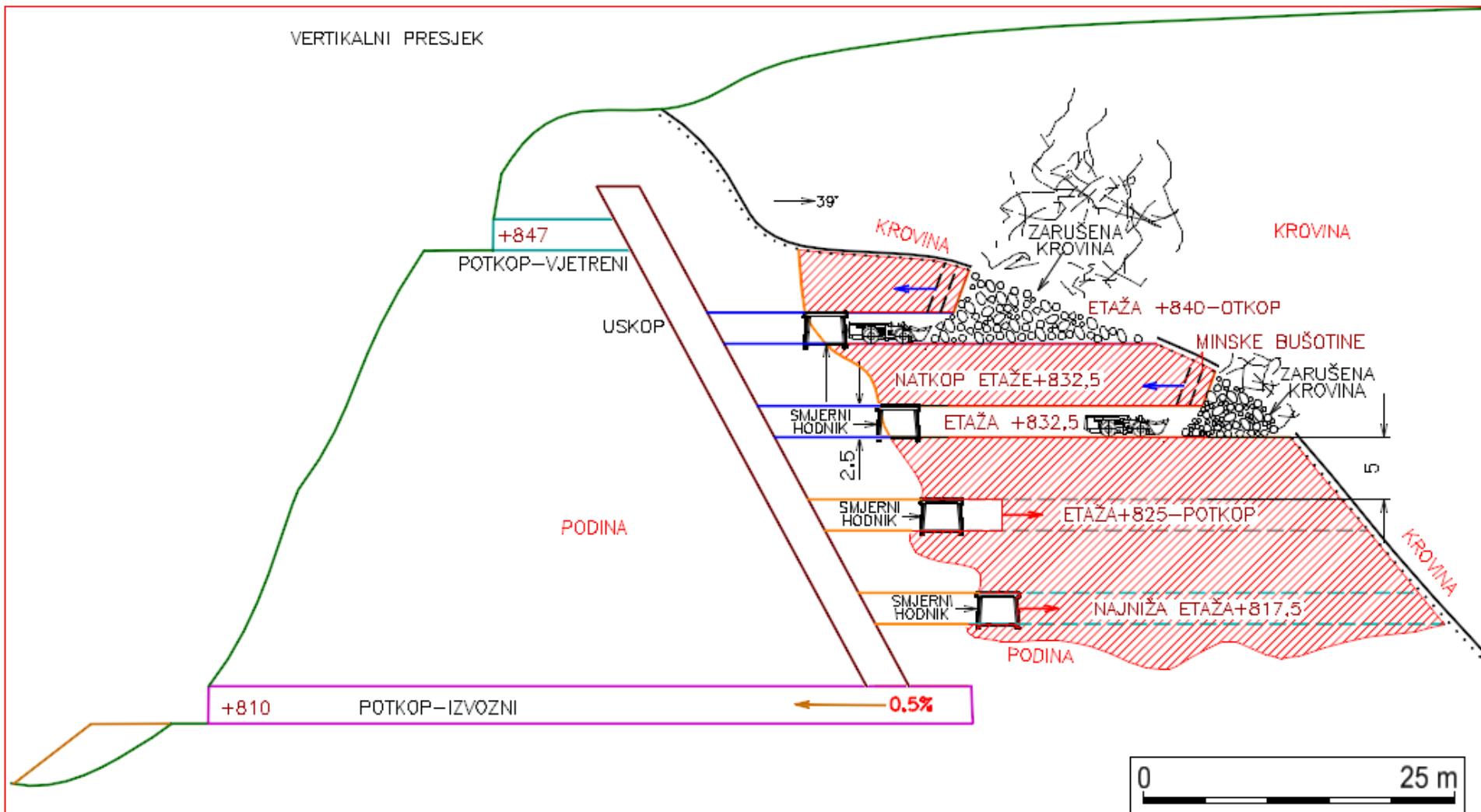
A-potkop u mineralnoj sirovini

B-potkop u pratećim naslagama

Izrada potkopa po pružanju ležišta (sloja)

Slika 8.3.5

Otvaranje ležišta boksita potkopima kroz podinske stijene



Slika 8.3.6

Otvaranje ležišta otvorenim galerijama



Prva galerija - Crvene stijene



Otvorene galerije na ležištu Kanfanar



Otvorene galerije na ležištu Marmor Sežana



Otvorene galerije na ležištu Hotavlje

Slika 8.3.7

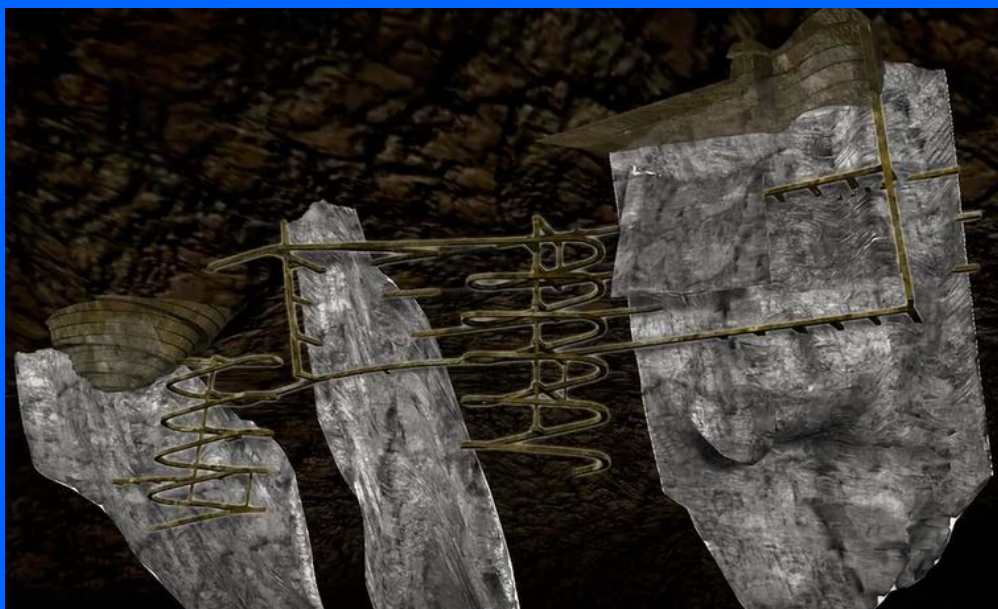
Otvaranje podzemnog kopa niskopima



Izrada ulaza u niskop



Transport kamionima



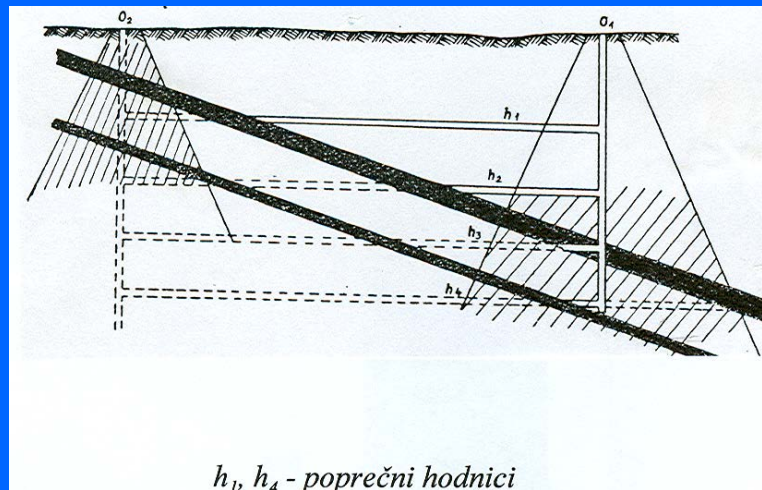
Otvaranje pravocrtnim i spiralnim niskopima



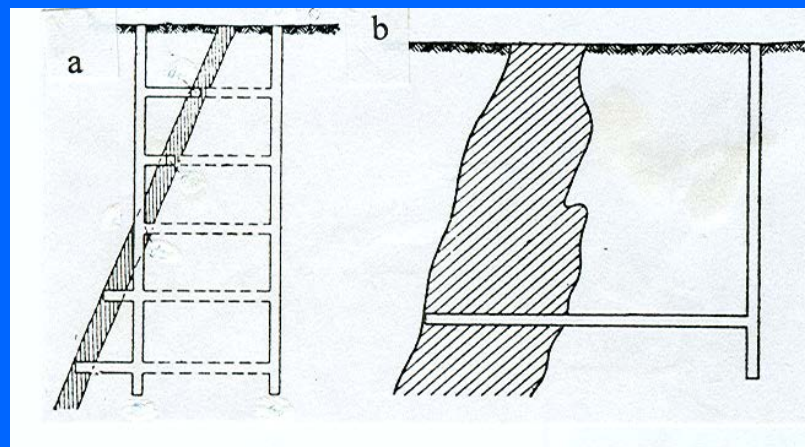
Transport trakama

Fotografije ulaza u niskepe

Otvaranje podzemnog kopa oknima



Krovinski i podinski položaj okna i sigurnosni stupovi kod otvaranja blago nagnutog ležišta

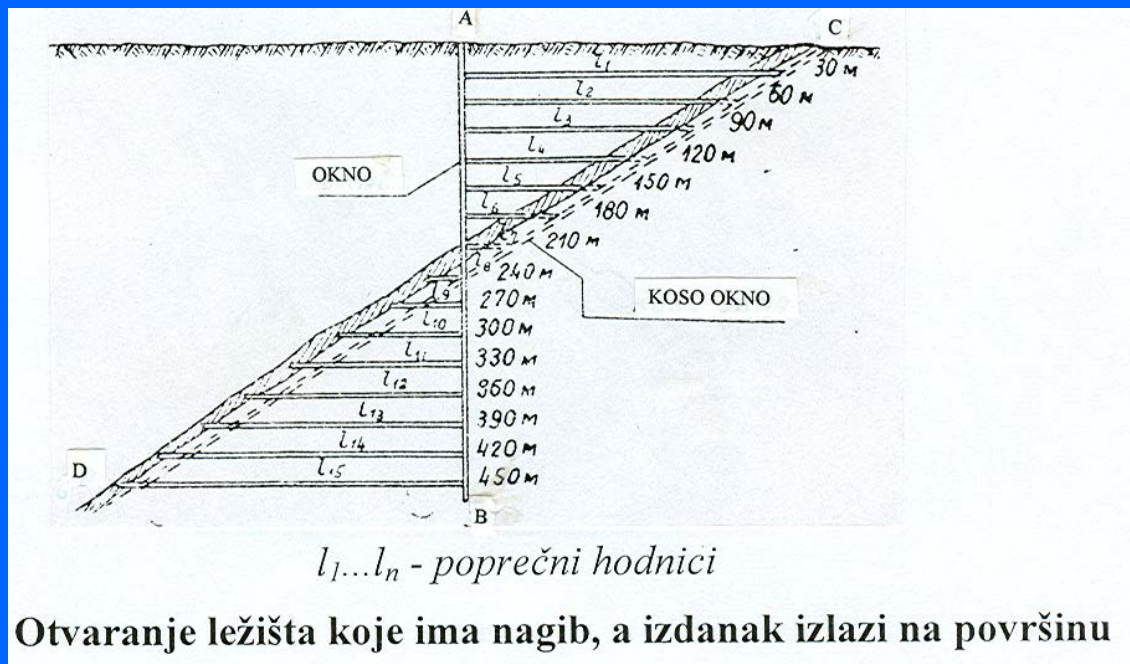
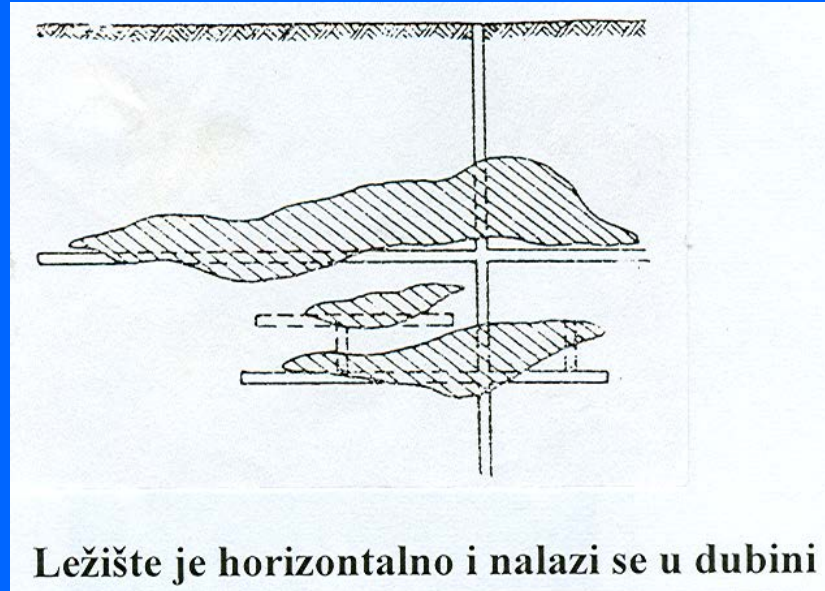


a - podinsko-krovinska lokacija
b - podinska lokacija

Lokacija okna kod kosog i strmog ležišta

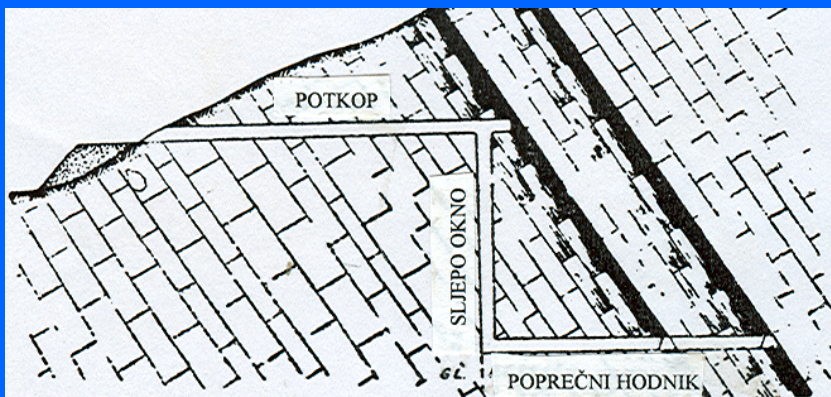
Slika 8.3.9

Otvaranje ležišta oknom



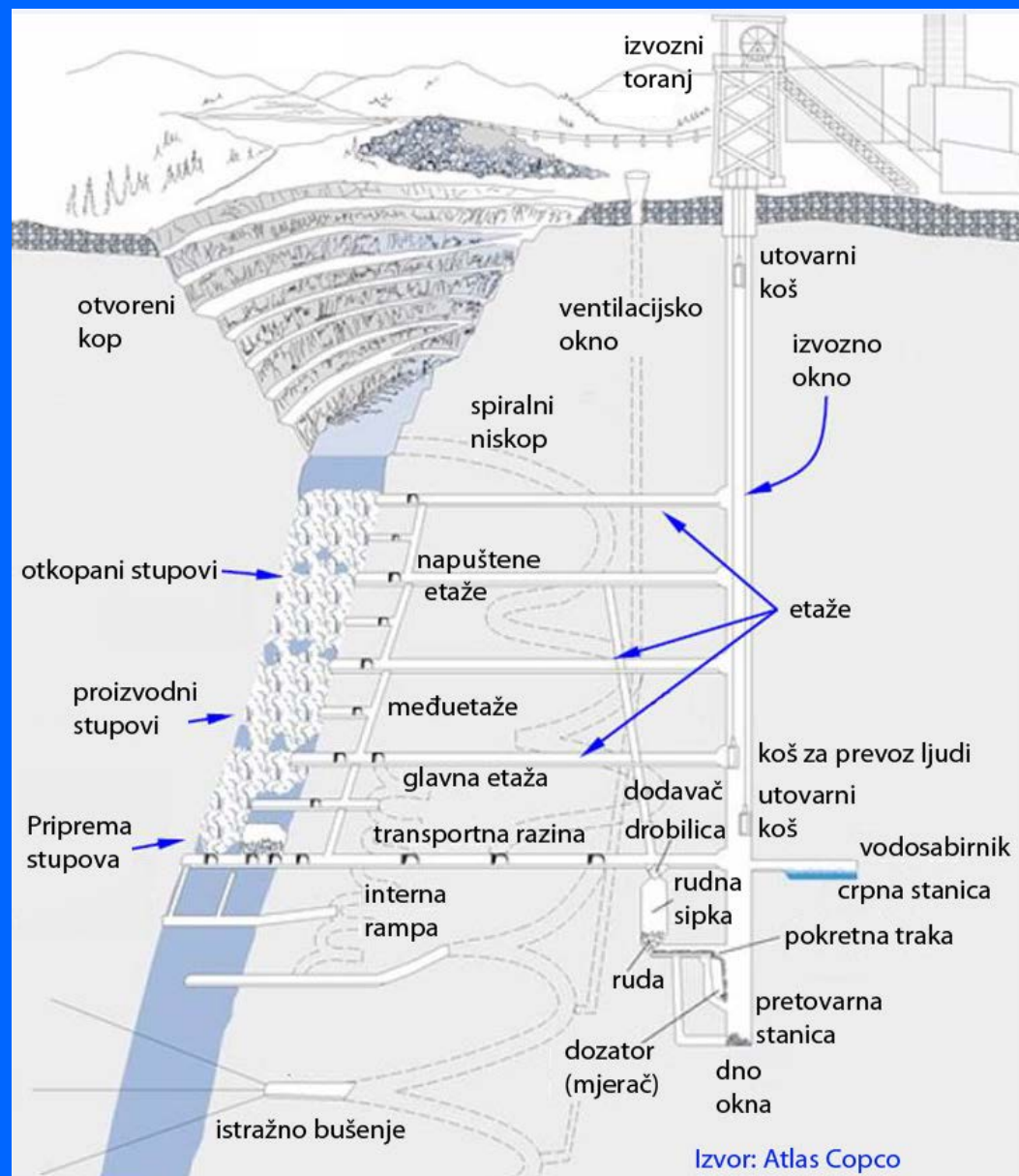
Slika 8.3.10

Otvaranje podzemnog kopa kombiniranim prostorijama otvaranja



Otvaranje kombinacijom potkop-okno

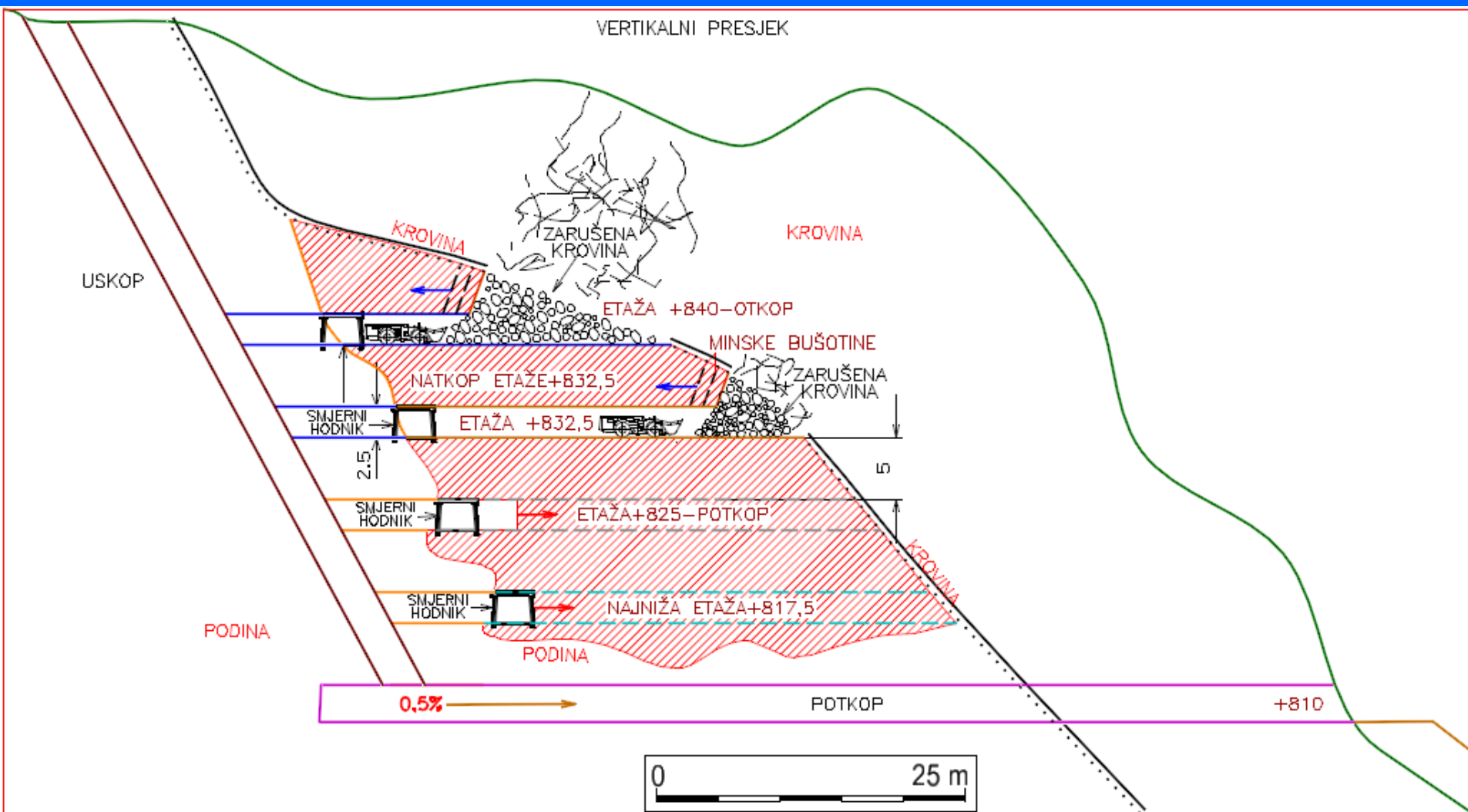
Otvaranje kombinacijom okno-spiralni niskop-okno



Izvor: Atlas Copco

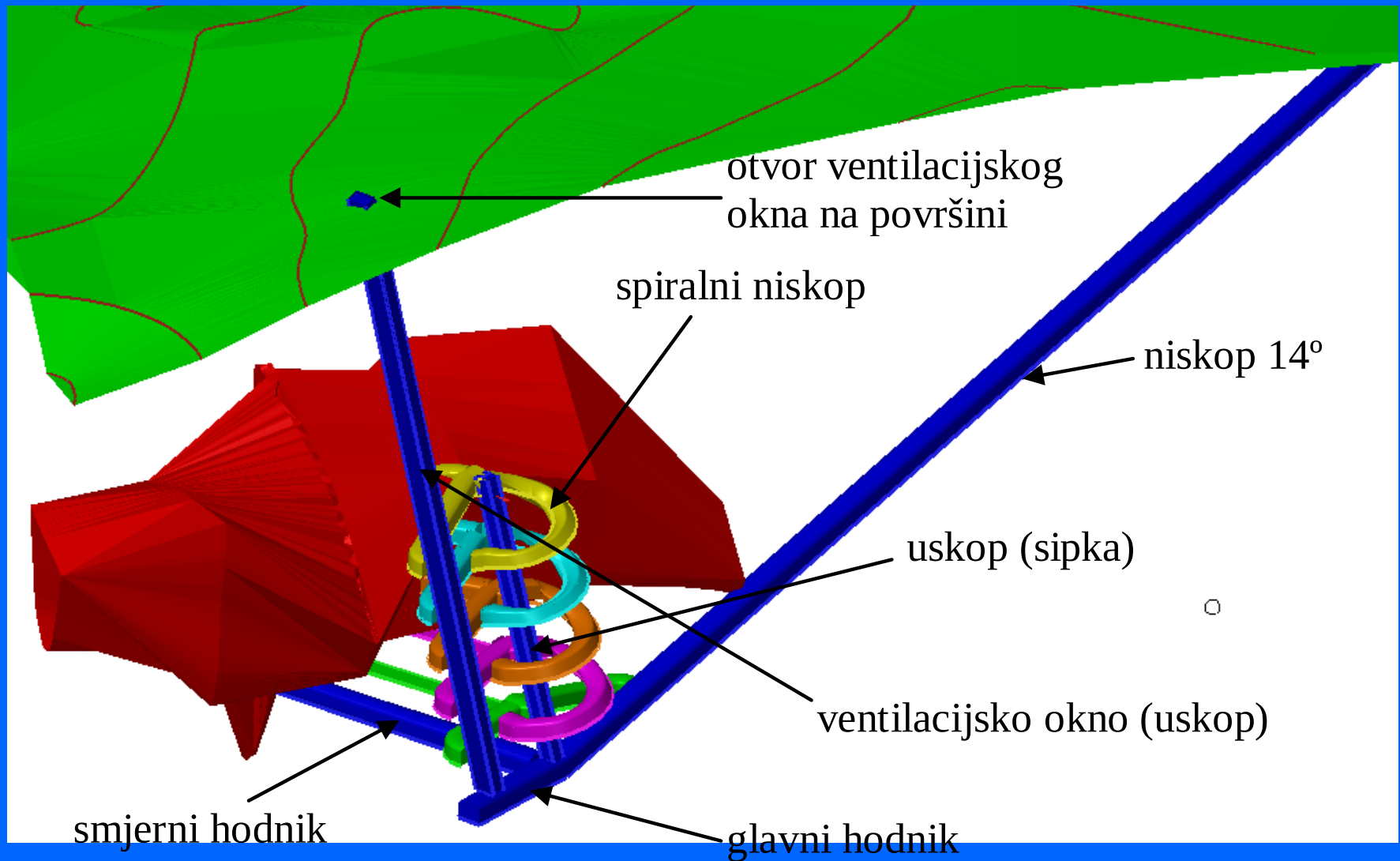
Slika 8.3.11

Otvaranje ležišta boksita potkopom i uskopom



Slika 8.3.12

Otvaranje ležišta boksita niskopom, uskopom i spiralnim uskopom

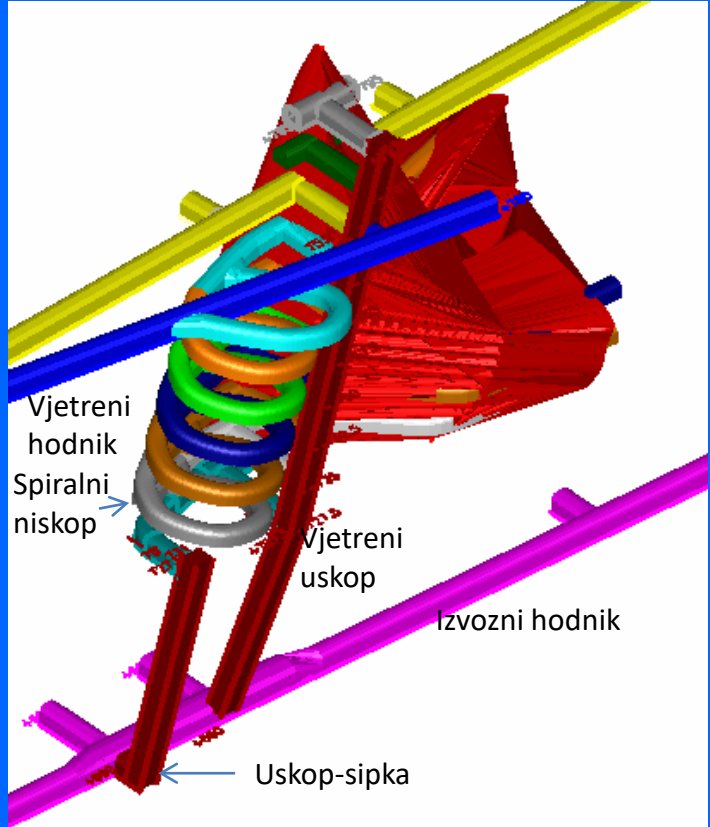
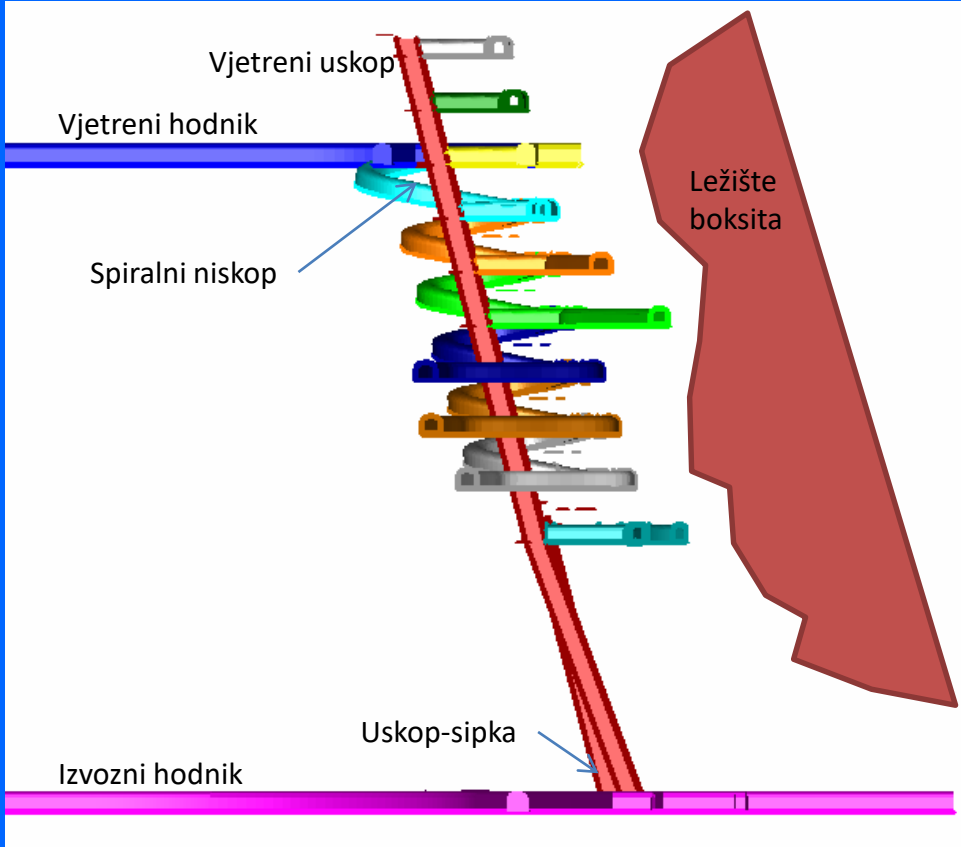


Slika 8.3.13

8.3.2.2.2. Prostorije razrade

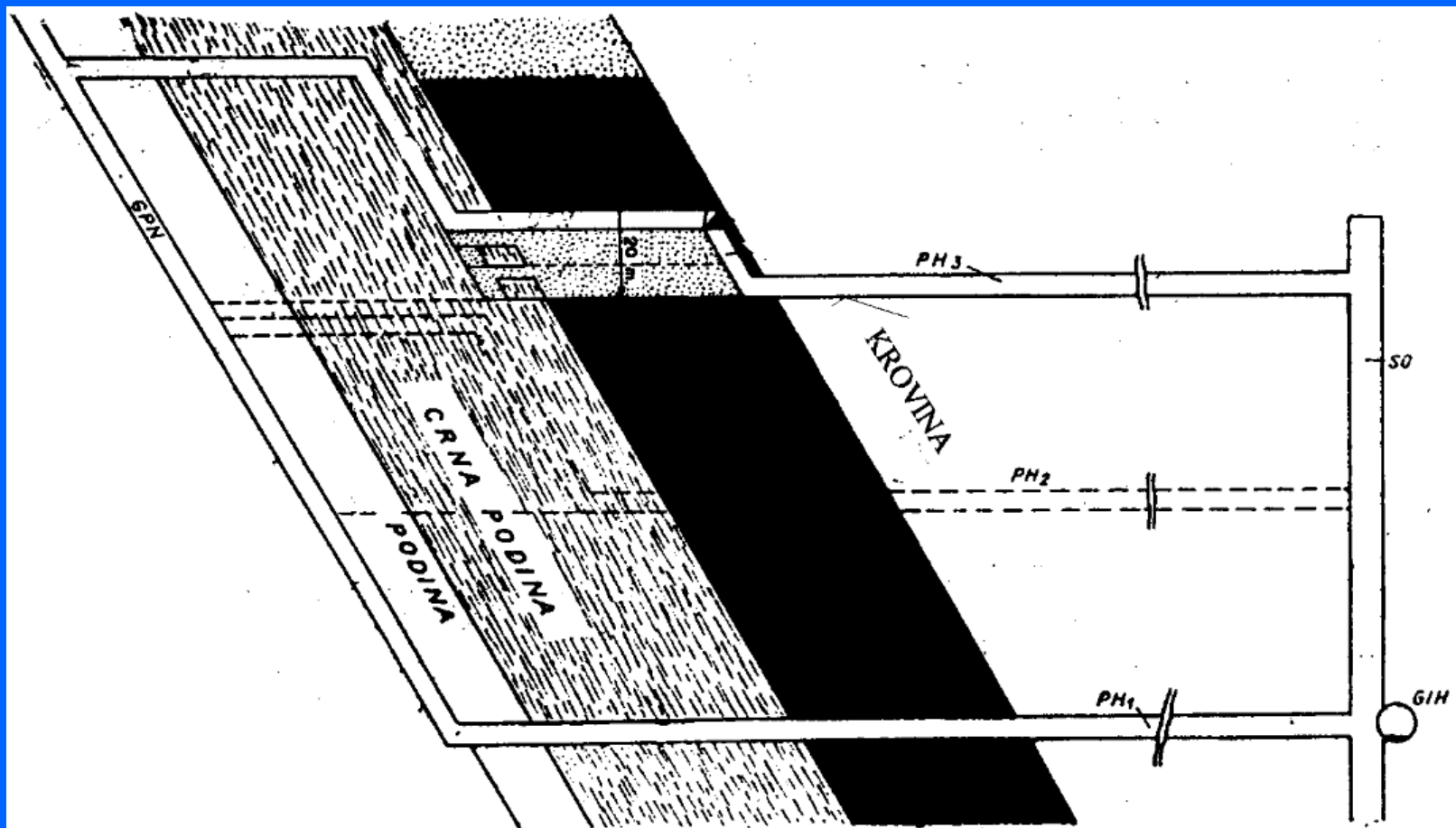
- hodnici
- niskopi
- spiralni niskopi i uskopi
- uskopi
- slijepa okna

Prostorije razrade ležišta boksita



Slika 8.3.14

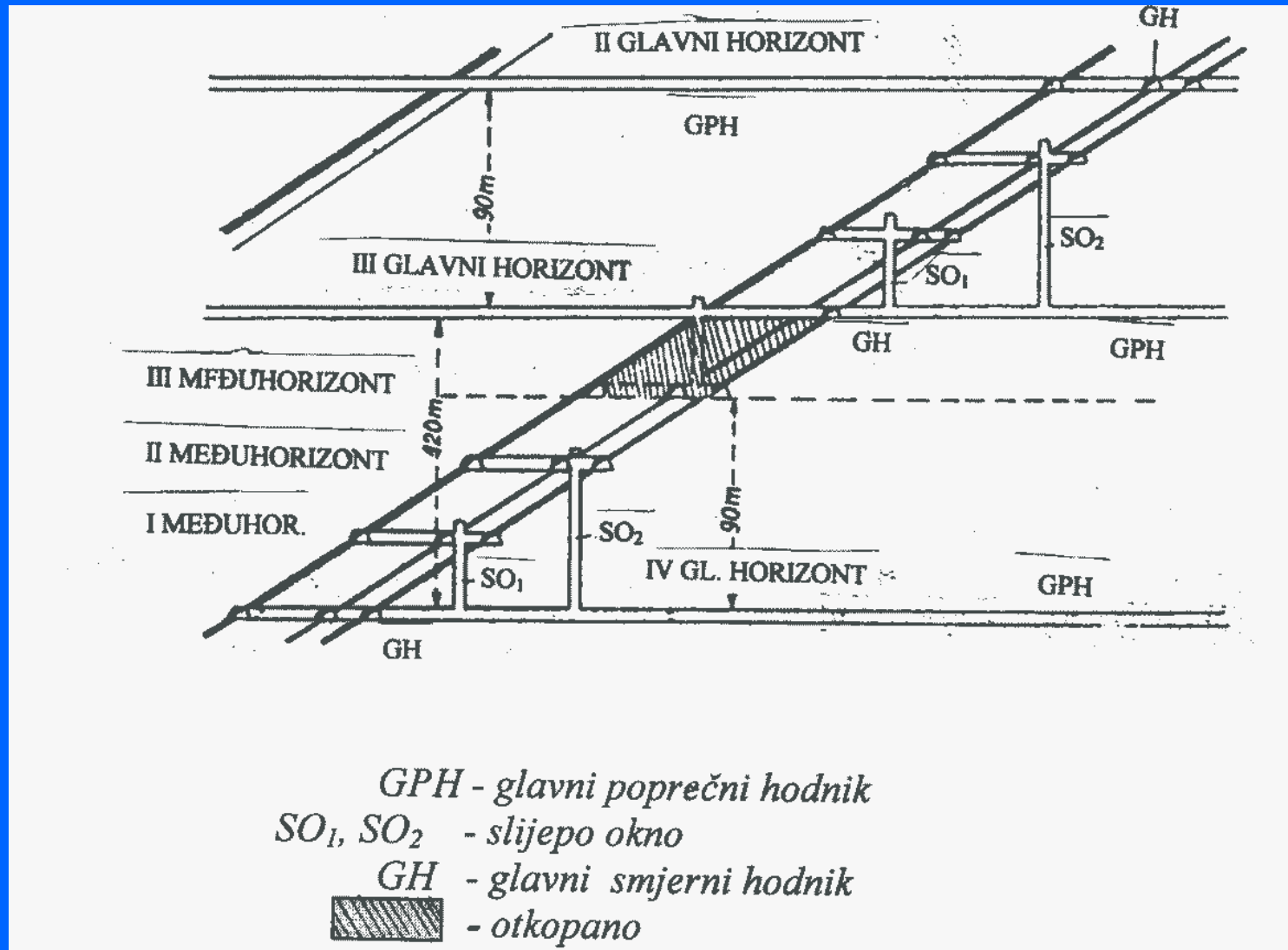
Prostorije razrade strmog ležišta ugljena



GIH-glavni izvozni smjerni hodnik
SO- slijepo okno
PH-poprečni hodnici
GPN-glavni niskop

Slika 8.3.15 Shema razrade strmog ugljenog sloja

Prostorije razrade više strmih ležišta ugljena

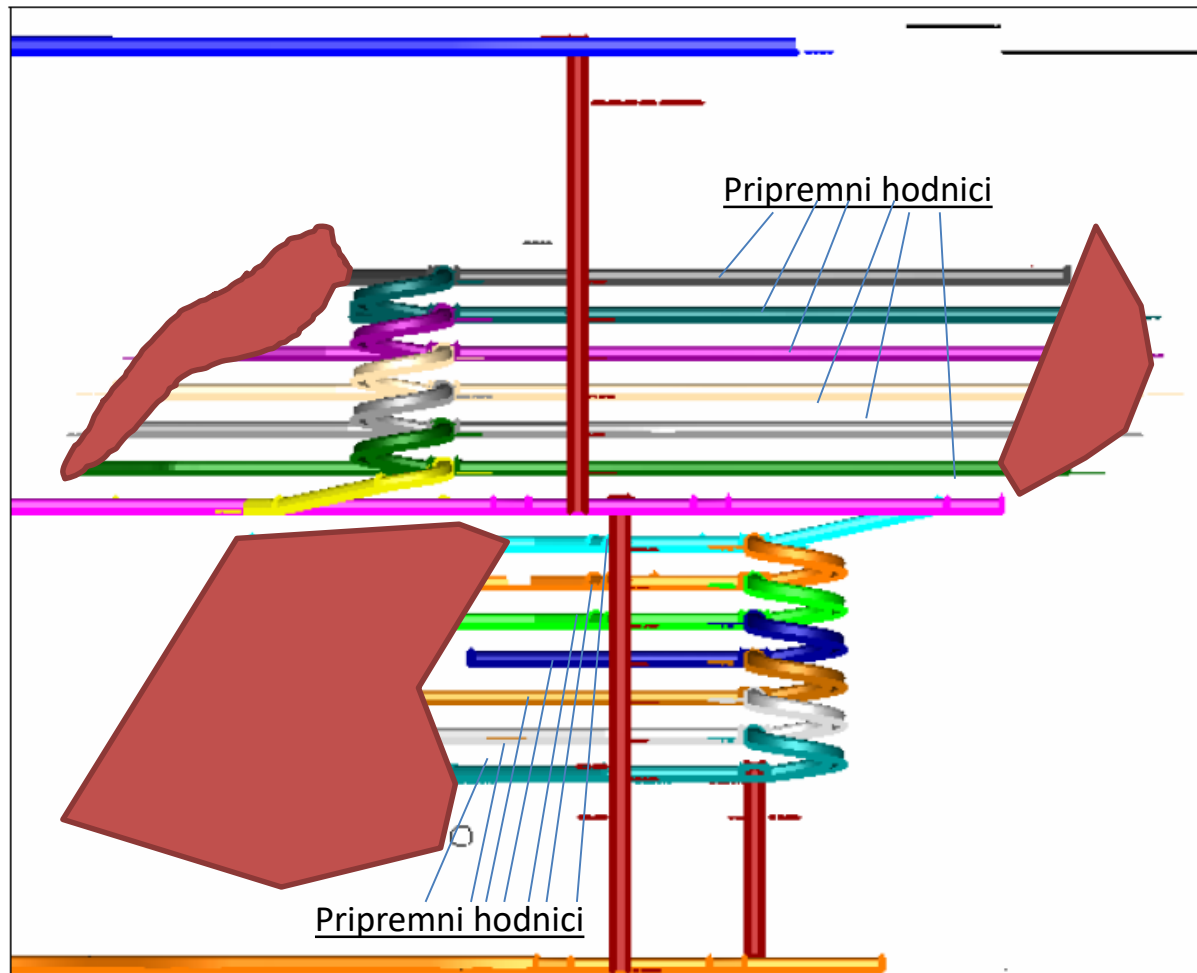


Slika 8.3.16 Shema razrade više strmih slojeva pomoću međuhorizontata

8.3.2.2.3. Prostorije pripreme

- hodnici
- niskopi
- uskopi

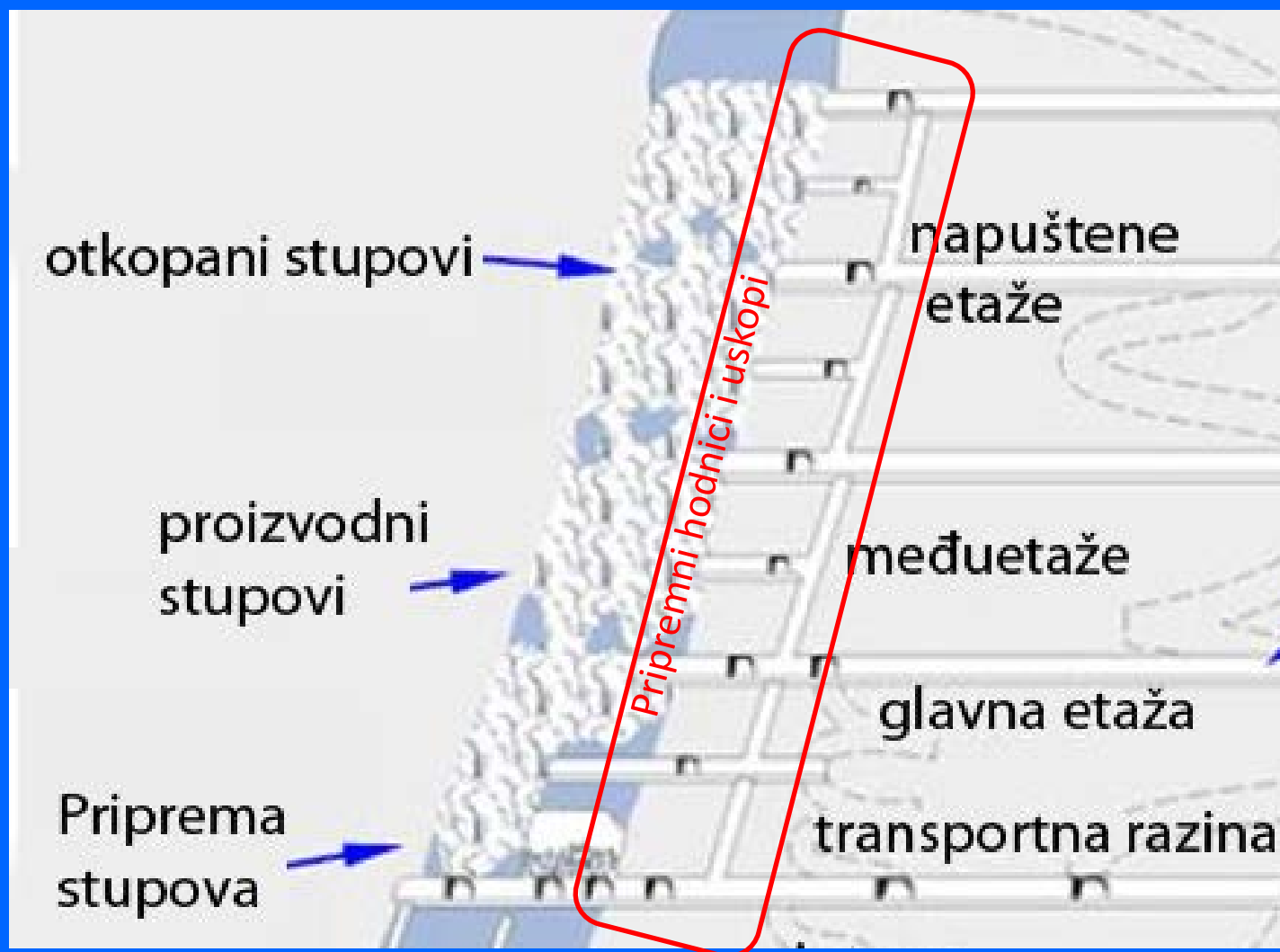
Prostorije pripreme ležišta boksita



Pogled sprijeda (front view)

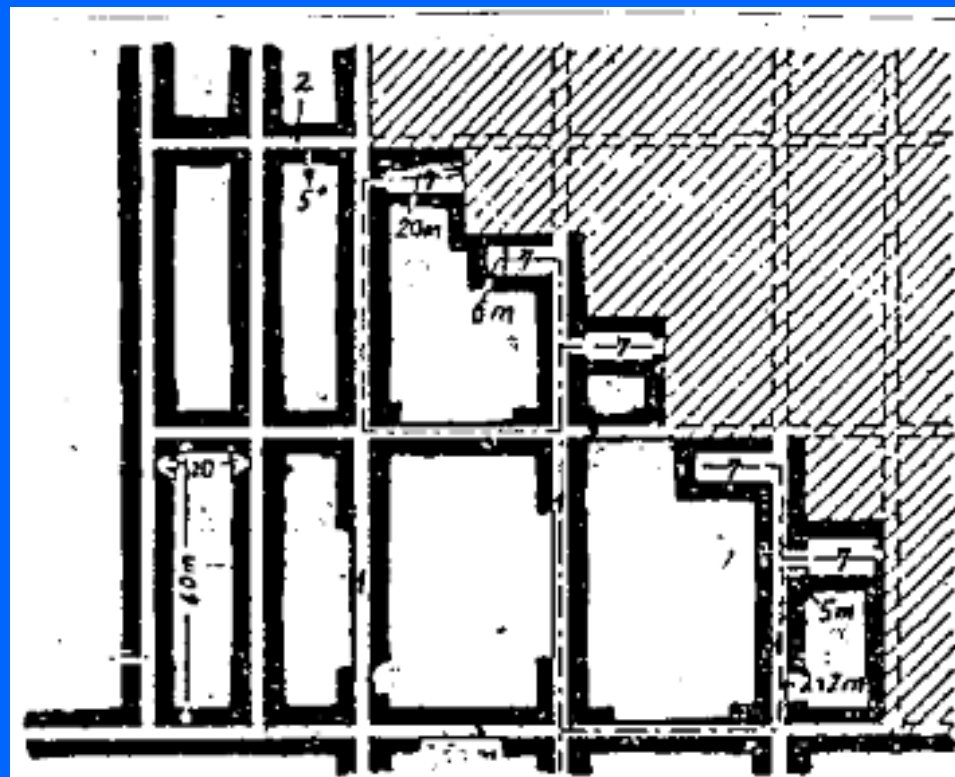
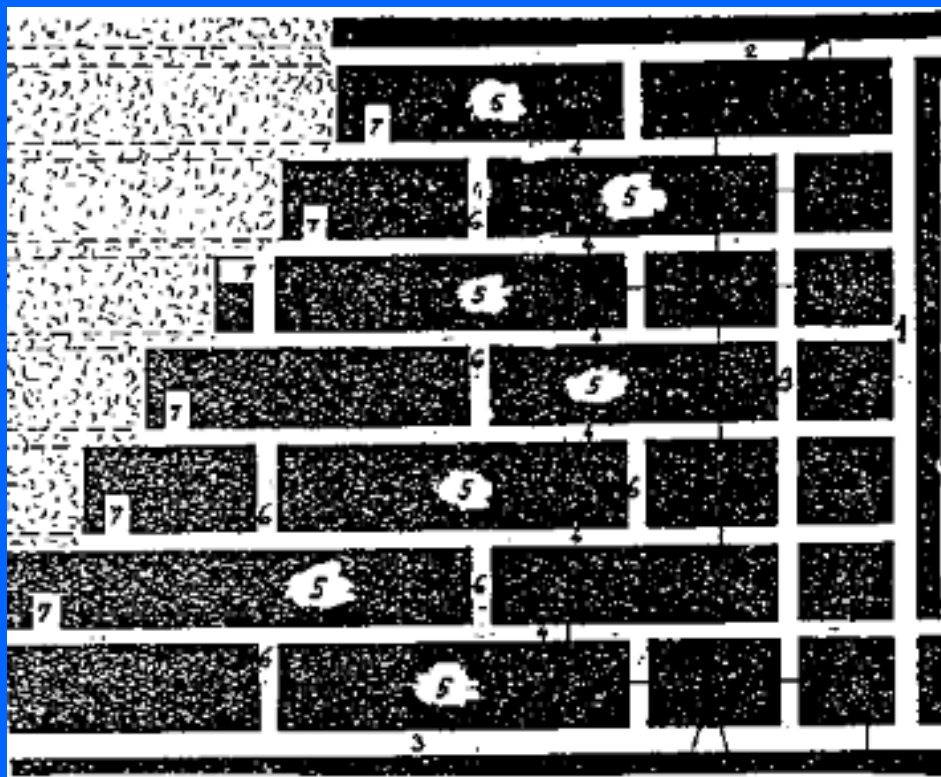
Slika 8.3.17

Prostorije pripreme stupnih ležišta



Slika 8.3.18

Prostorije pripreme ležišta ugljena



a) Stupovi po pružanju

b) Stupovi po padu (nagibu)

- 1-izvozni uskop
- 2-ventilacijski hodnik
- 3-izvozni hodnik
- 4-otkopni hodnici
- 5-stupovi po pružanju
- 6-kratki ventilacijski uskop
- 7-otkop
- 8-vjetreni uskop

Slika 8.3.19 Priprema za otkopavanje stupova

8.3.2.2.4. Prostorije otkopavanja

Prostorije otkopavanja su:

- Otkopni hodnici (smjerni, poprečni, prekopni)
- Otkopni uskopi (natkopi)
- Komore (galerije) otkopavanja

8.3.2.3. Podjela rudarskih podzemnih prostorijskih prema značaju-ulozi u procesu rada jame (kopa)

Prema značaju, ulozi u procesu rada jame (kopa) podzemne prostorije mogu biti:

- transportne-izvozne (glavne, sabirne i etažne)
- i vjetrene (glavne, vezne i separatne).

8.3.2.3.1. Transportne-izvozne podzemne prostorije

- glavne,
- sabirne i
- etažne

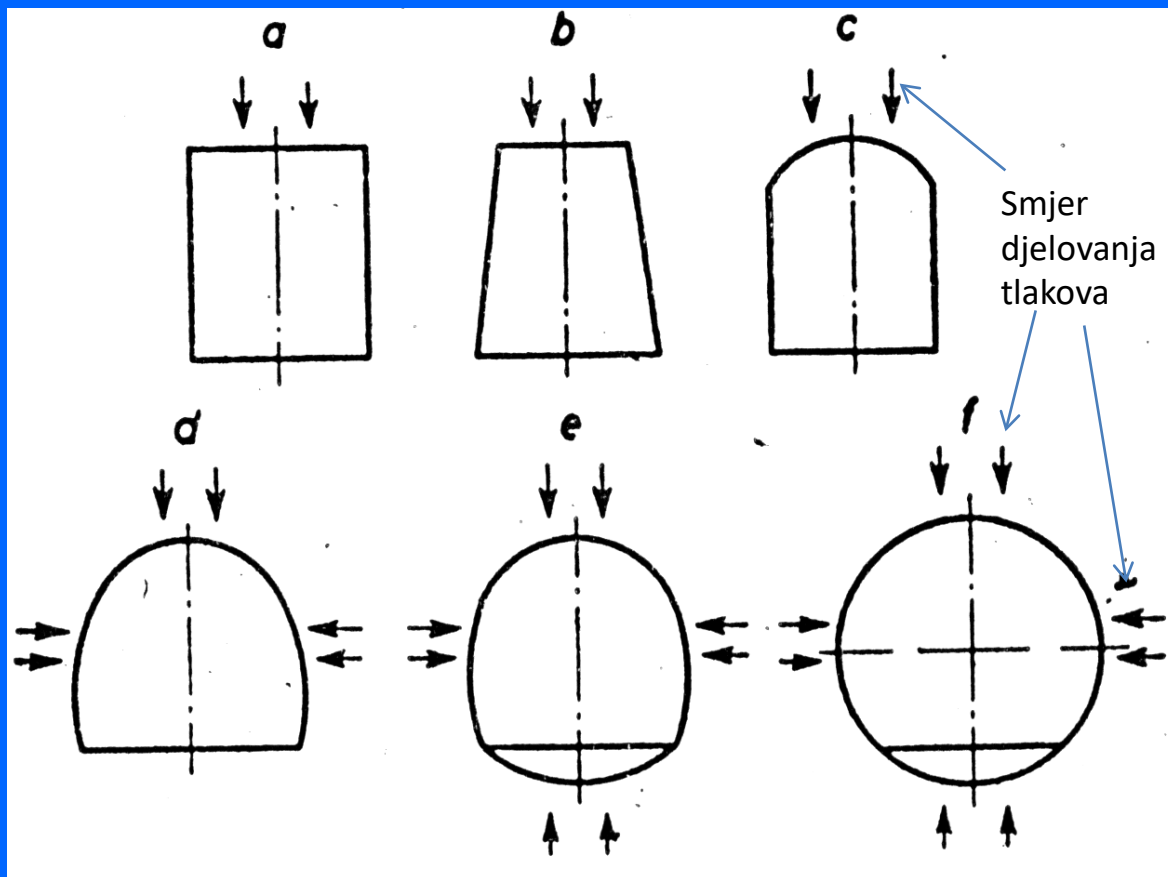
8.3.2.3.2. Vjetrene podzemne prostorije

- glavne,
- vezne (razdjelne) i
- separatne

8.3.2.4. Geometrizacija podzemnih prostorijskih

- Oblik presjeka podzemnih prostorijskih
- Dimenzioniranje i uređenje kontura prostorijskih

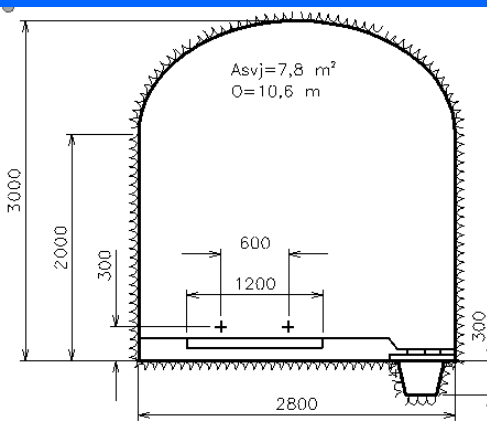
8.3.2.4.1. Oblik presjeka podzemnih prostorija



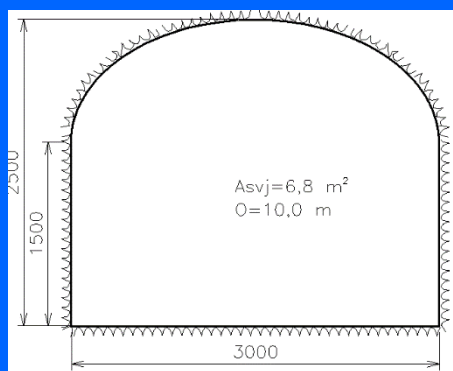
- a-čtvrtnasti
- b-trapezni
- c-lučno-čtvrtnasti
- d-lučni
- e-ovalni
- f-kružni

Slika 8.3.20 Znakoviti presjeci rudarskih prostorija

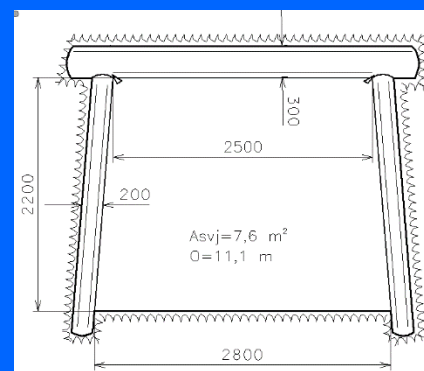
8.3.2.4.2. Dimenzioniranje i uređenje kontura prostorija



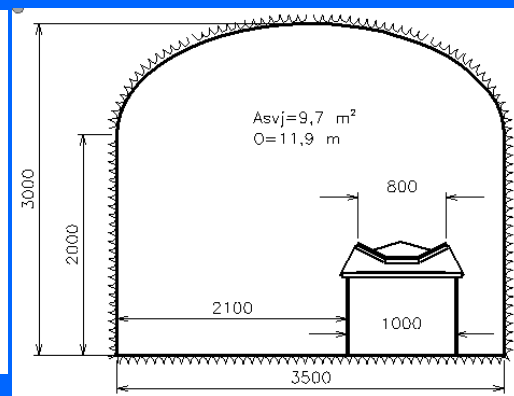
Izvozni hodnik



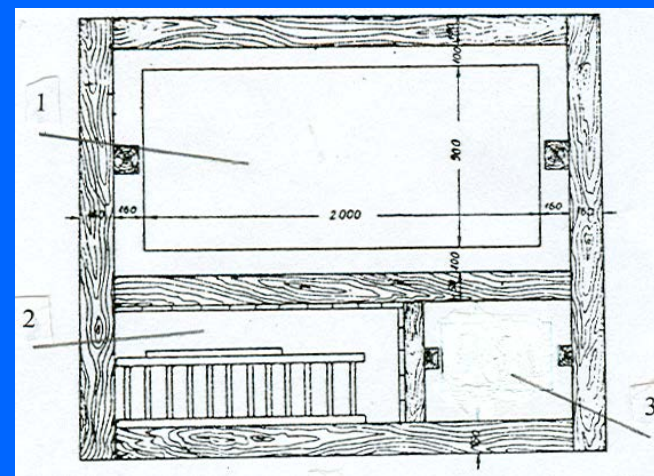
Pripremni hodnik (u stijeni)



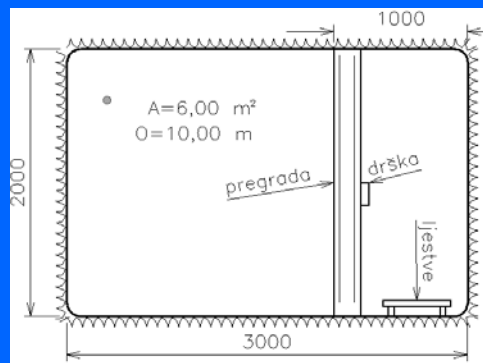
Otkopni hodnik (u rudi)



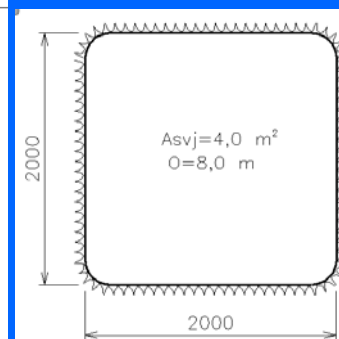
Izvozni niskop



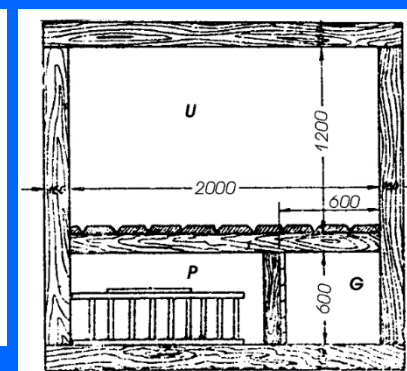
Okno za izvoz mineralne sirovine i prolaz radnika



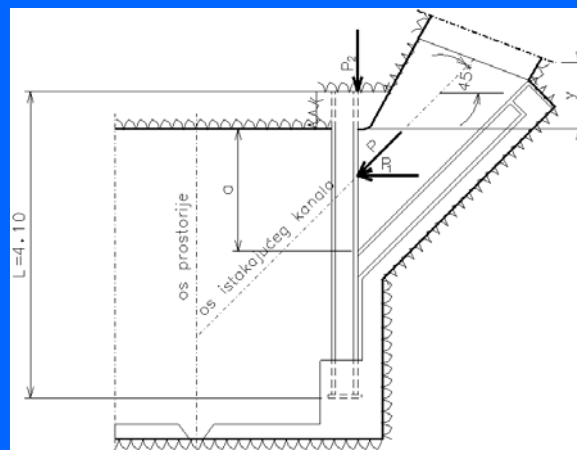
Ventilacijsko okno s prolazom



Sipka bez prolaza



Sipka s prolazom za ljude



konstrukcija i osiguranje istakajućeg otvora

U - gravitacijski transport ugljena
P - prolaz radnika
G - transport repro-materijala, prolaz zraka

- 1 - Izvoz mineralne sirovine
- 2 - Za prolaz radnika
- 3 - Odjeljak za instalacije, kabeli, cjevovodi

8.3.3. ODREĐIVANJE VELIČINA OTKOPNIH JEDINICA

Proizvodni pogon u podzemnoj eksploataciji naziva se jamski pogon (jama). Proizvodnja iz jamskog pogona koja gravitira jednom izvoznom objektu je jamsko polje.

Gravitacijskim poljem nazivamo otkopna polja koja gravitiraju jednom izvozu.

Otkopno polje je proizvodna jedinica koja se sastoji od jednog ili više otkopa.

Pod otkopnim stupom podrazumijevamo prostor sa svih strana ograničen horizontalnim ili kosim prostorijama.

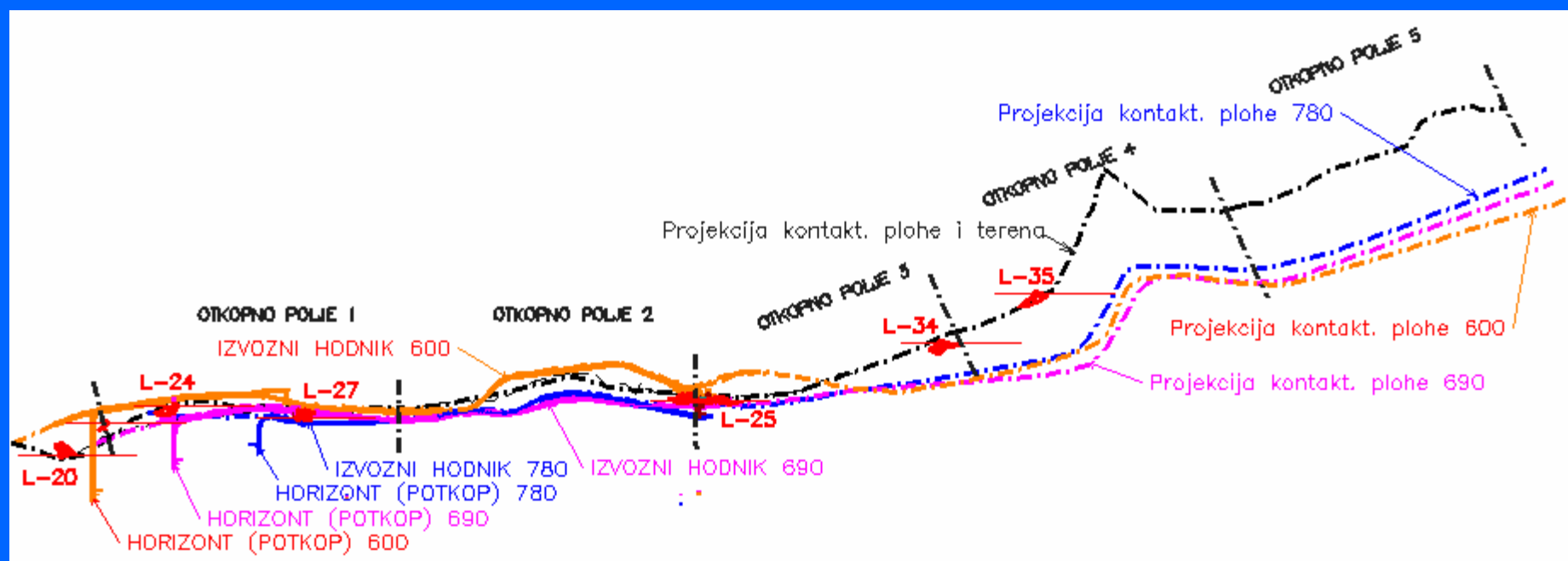
Otkopna etaža, kat u horizontalnim kosim ili vertikalnim slojevima je otkopni prostor iz kojega se izravno otkopava.

Elementi jamskog polja:

- granice (prirodne, umjetne)
- dužina
- širina (dužina po padu)
- krila (obično dva).

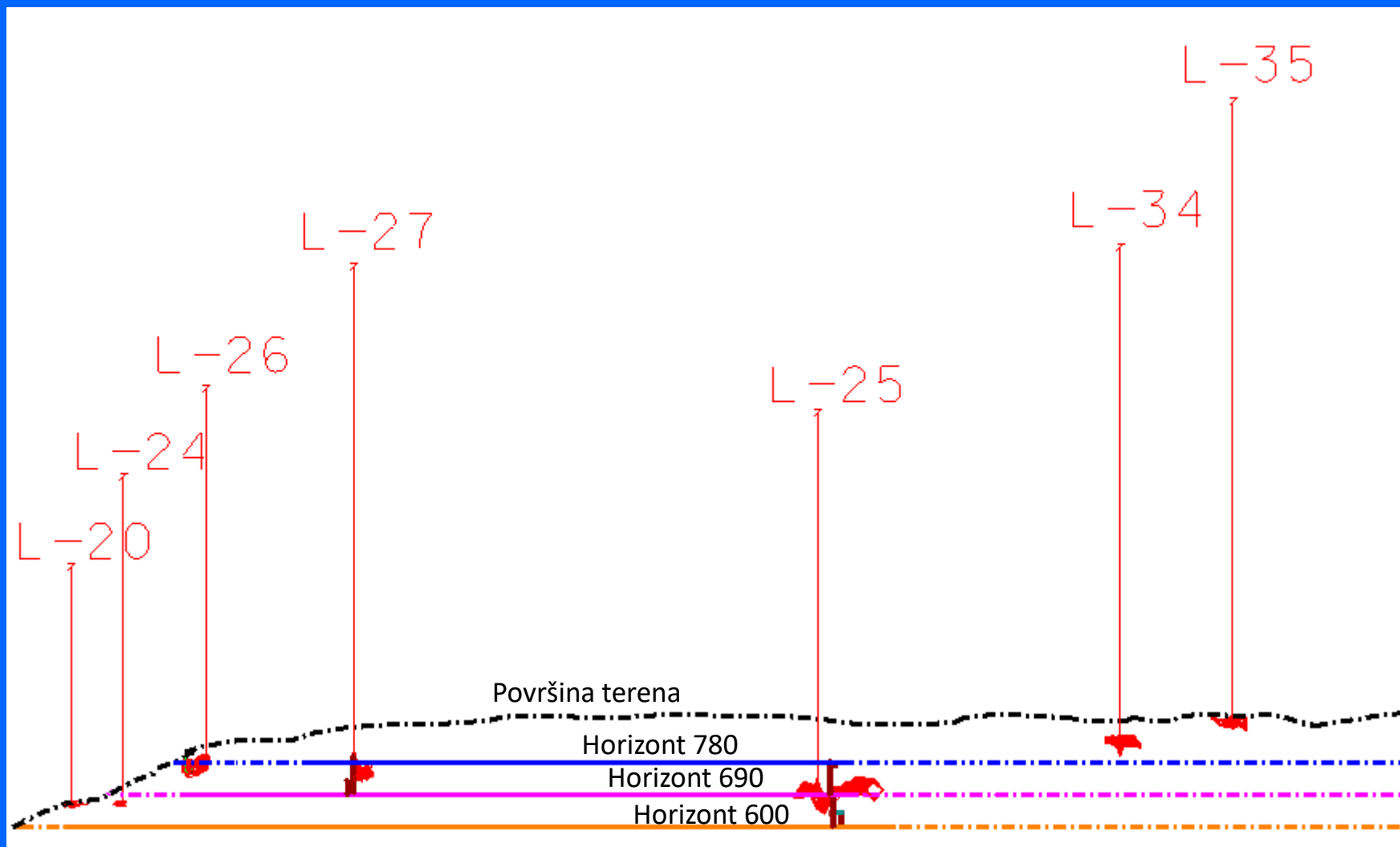
8.3.3.1. Dimenzije jamskog eksploatacijskog polja

8.3.3.1.1. Podjela rudonosne zone (jamskog polja) na otkopna polja



Slika 8.3.21

8.3.3.1.2. Podjela rudonosne zone (jamskog polja) na horizonte



Slika 8.3.22

8.3.3.2. Određivanje dimenzija jamskog polja

Određivanje dimenzija jamskog polja ima opravdanja u većim ležištima, gdje se u ovisnosti o projektiranom kapacitetu proizvodnje određuju optimalne dimenzije eksploatacijskog jamskog polja. Optimalne dimenzije jamskog polja određuju se na osnovi kriterija da troškovi eksploatacije po toni proizvedene rude budu minimalni.

Najmanji troškovi eksploatacije postižu se kada $f(G, n_o)$ ima minimum.

G - dužina jamskog eksploatacijskog polja po pružanju

n_o - broj otkopnih polja u jamskom polju

Za određivanje minimuma funkcije potrebno je odrediti sve troškove eksploatacije za neko jamsko polje.

Troškovi eksploatacije jamskog polja obuhvaćaju slijedeće elemente:

- troškove izgradnje prostorija otvaranja
- troškove održavanja prostorija otvaranja
- troškove izgradnje objekata površinskog tehnološkog kompleksa rudnika
- troškove izgradnje navozišta
- troškove izrade hodnika po pružanju
- troškove održavanja hodnika po pružanju
- troškove izvoza kosim prostorijama
- troškove transporta hodnicima otkopnog polja
- troškove prijevoza radnika horizontalnim prostorijama
- troškove prijevoza radnika kosim prostorijama
- troškove električne energije za provjetravanje hodnika
- troškove električne energije za provjetravanje kosih prostorija
- troškove odvodnjavanja.

Otkopno polje je proizvodna jedinica jamskog polja određena dimenzijama po pružanju (L_o) i padu (I_o), te brojem otkopa.

8.3.3.3. Odnos otkopavanja i pripreme

U cilju pravodobnog uvođenja u eksploataciju neotkopanih dijelova jamskog ili otkopnog polja, priprema treba vremenski prethoditi otkopavanju.

Dodatno značenje pripreme je i u dopunjavanju istražnih podataka naročito u tektonski poremećenim ili jalovim zonama.

Napredovanje pripreme ispred otkopa ponekad je diktirano tehnološkim procesom i potrebom transporta otkopane mase na sabirne jamske komunikacije.

Dinamika pripreme i otkopavanja treba biti usklađena.

Kašnjenje pripreme može smanjiti kapacitet proizvodnje ili se smanjuje dužina otkopnih polja (povećanje troškova).

Prijevremena priprema, pogotovo u težim radnim uvjetima (povećani tlakovi), može proizvesti dodatne troškove održavanja tih prostorija.

Koeficijent pripreme (k_p) je odnos dužine pripremnih radova u m prema ukupno zahvaćenoj količini rude tom pripremom.

8.3.3.4. Osnovni tehnički parametri otkopa

Dimenzije otkopa diktirane su projektiranim kapacitetom, tehnologijom otkopavanja i rudarsko-tehničkim uvjetima eksploatacije

- Dužina crte otkopne fronte
- Dužina pojedinog otkopa

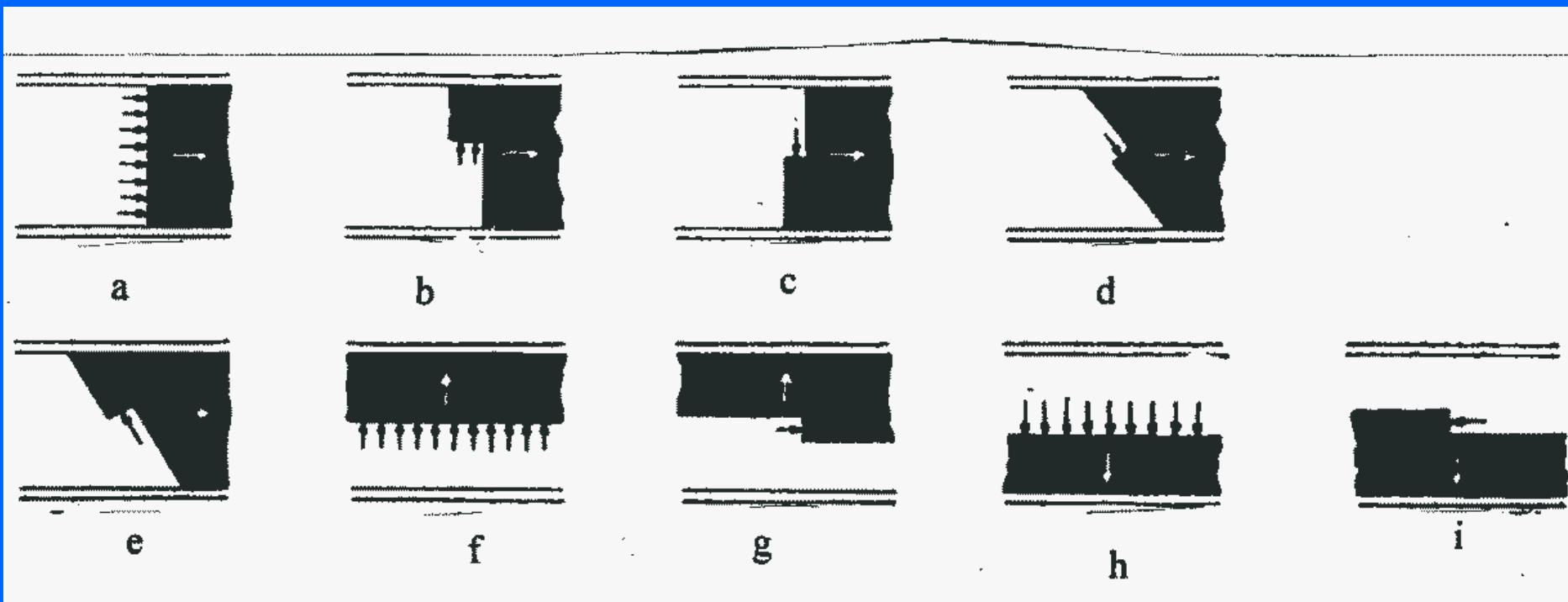
8.3.4. RAZVOJ RUDARSKIH RADOVA

- dinamika izrade podzemnih prostorija
- front i napredak rudarskih radova
- otkopavanje ležišta m.s.: redoslijed radova; nastupno i odstupno otkopavanje

8.3.4.1. Dinamika izrade podzemnih prostorija

- otvaranje
- razrada
- priprema
- otkopavanje
- zatvaranje (sanacija)

8.3.4.2. Front i napredak rudarskih radova



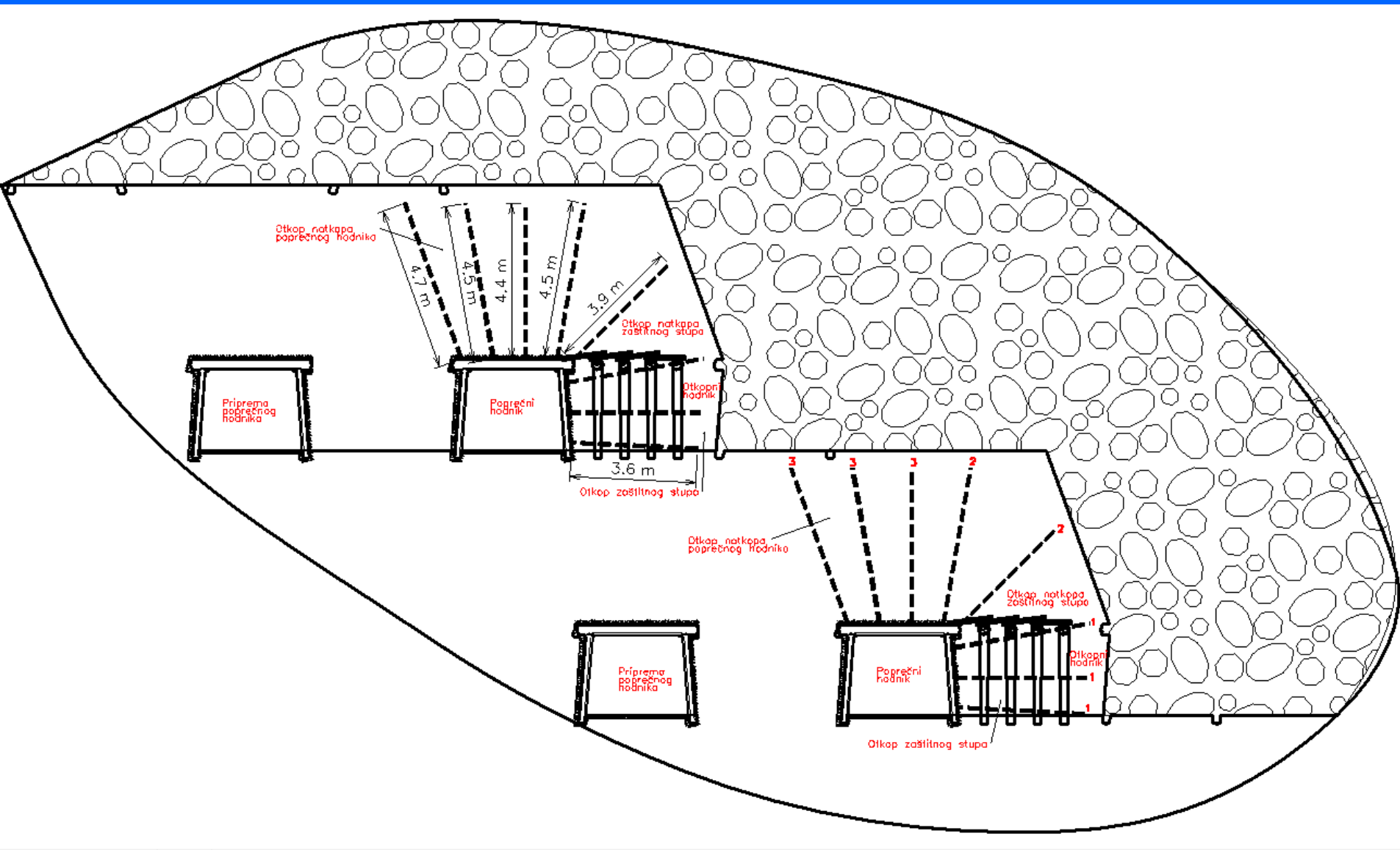
Slika 8.3.23 Shema smjera napredovanja otkopne fronte i dobivanja u ležištima ugljena

Smjer napredovanja otkopne fronte je:

- po pružanju (a, b, c, d, e)
- poprečno na pružanje uskopno ili niskopno (f, g, h, i)

Smjer otkopavanja-dobivanja je:

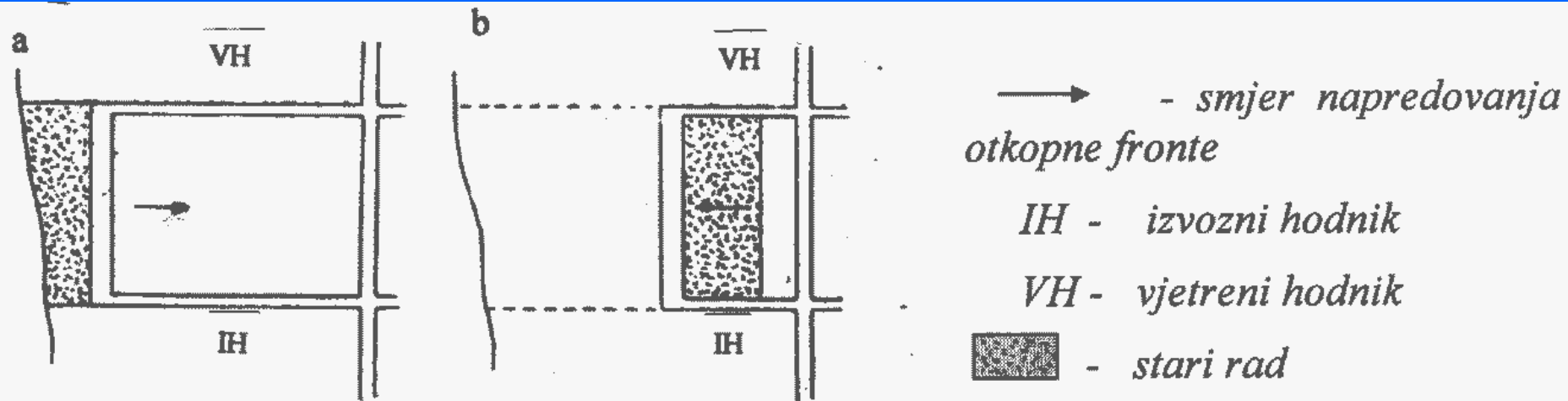
- po pružanju (a, g, i)
- po usponu (b, f)
- niskopno (c, h)
- dijagonalno (d, e)



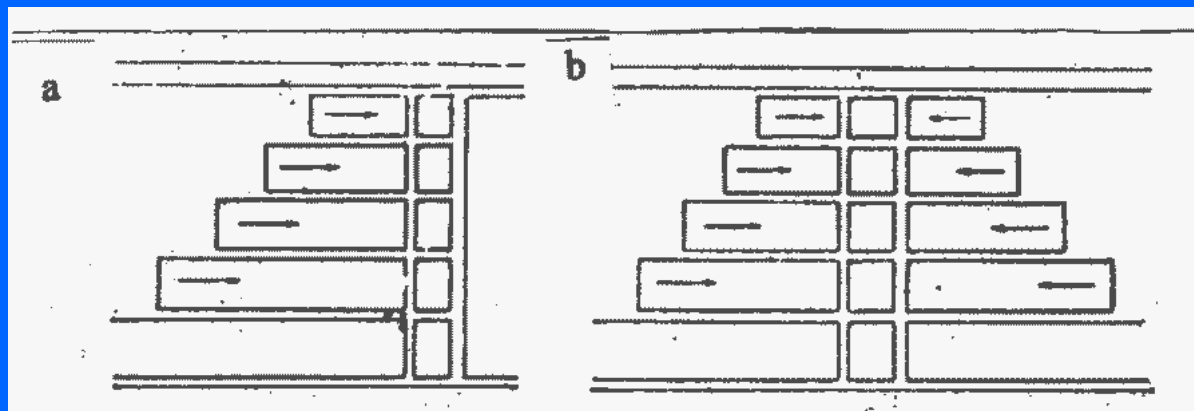
Slika 8.3.24 Razvoj rudarskih radova, pripreme i napretka, u ležištima sa zarušavanjem rude i krovine

8.3.4.3. Redosljed radova pri otkopavanju ležišta

- nastupno (b)
- odstupno otkopavanje (a)



Shematski prikaz napredovanja otkopne fronte

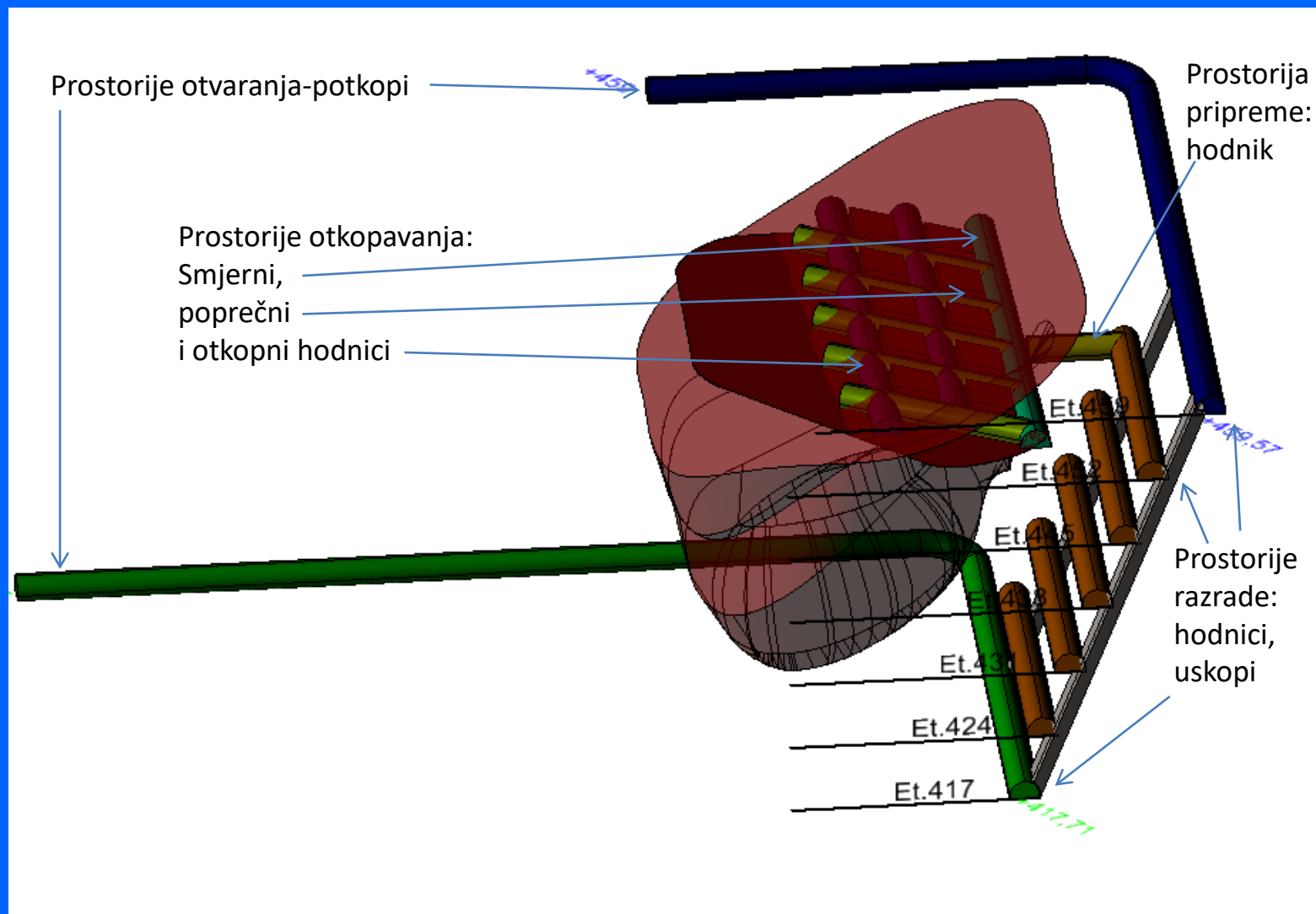


Shema jednokrilnog i dvokrilnog otkopavanja (odstupno otkopavanje)

8.3.5. PRIMJERI IZ RUDARSKE PRAKSE

8.3.5.1. Projektiranje eksploatacije ležišta boksita i nekih metala

Otkopni hodnici (smjerni, poprečni, prekopni)

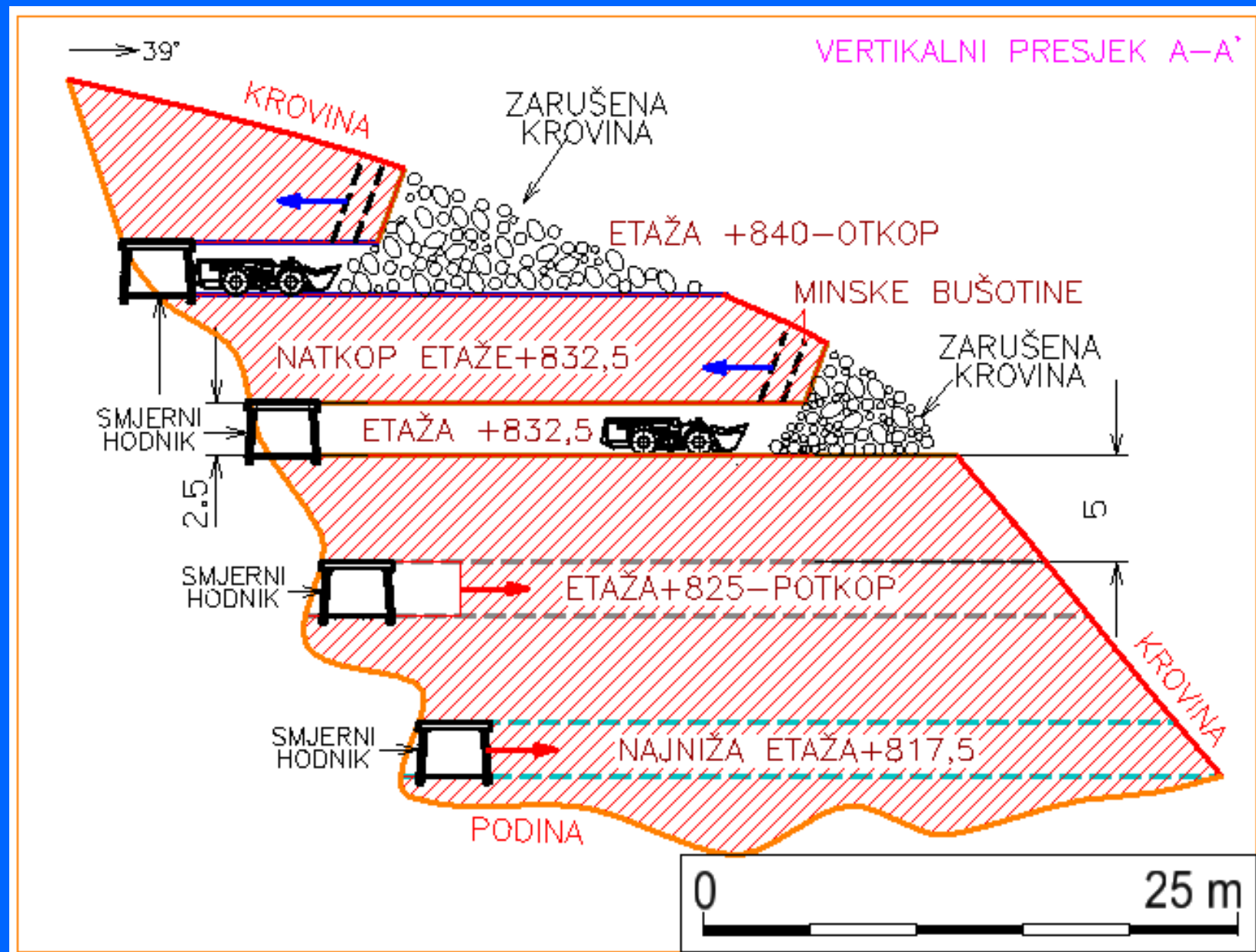


Slika 8.3.26 3D model otkopavanja ležišta boksita

Otkopne prostorije pri eksploataciji boksita

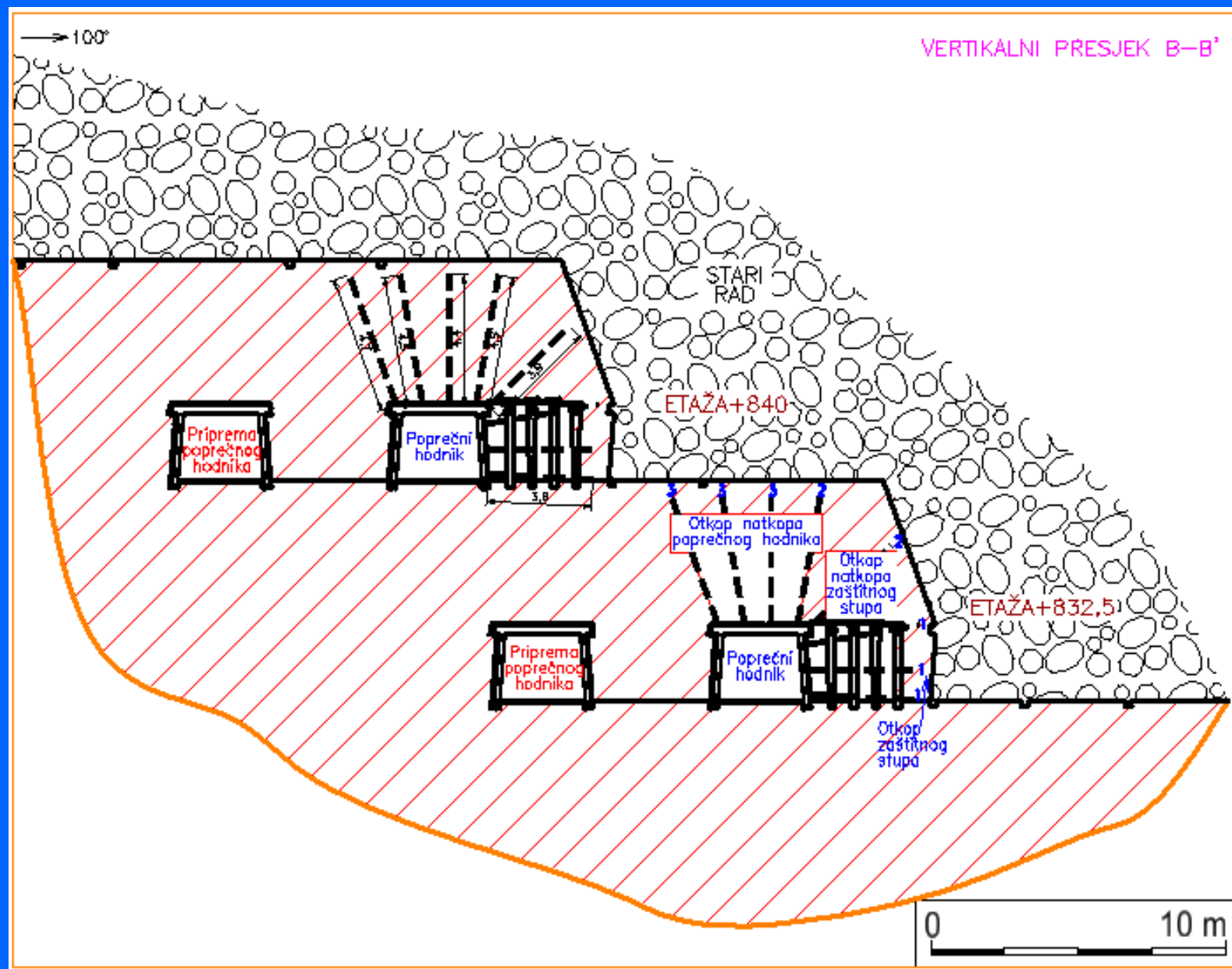


Slika 8.3.27 Etažna karta 832,5, na L-34

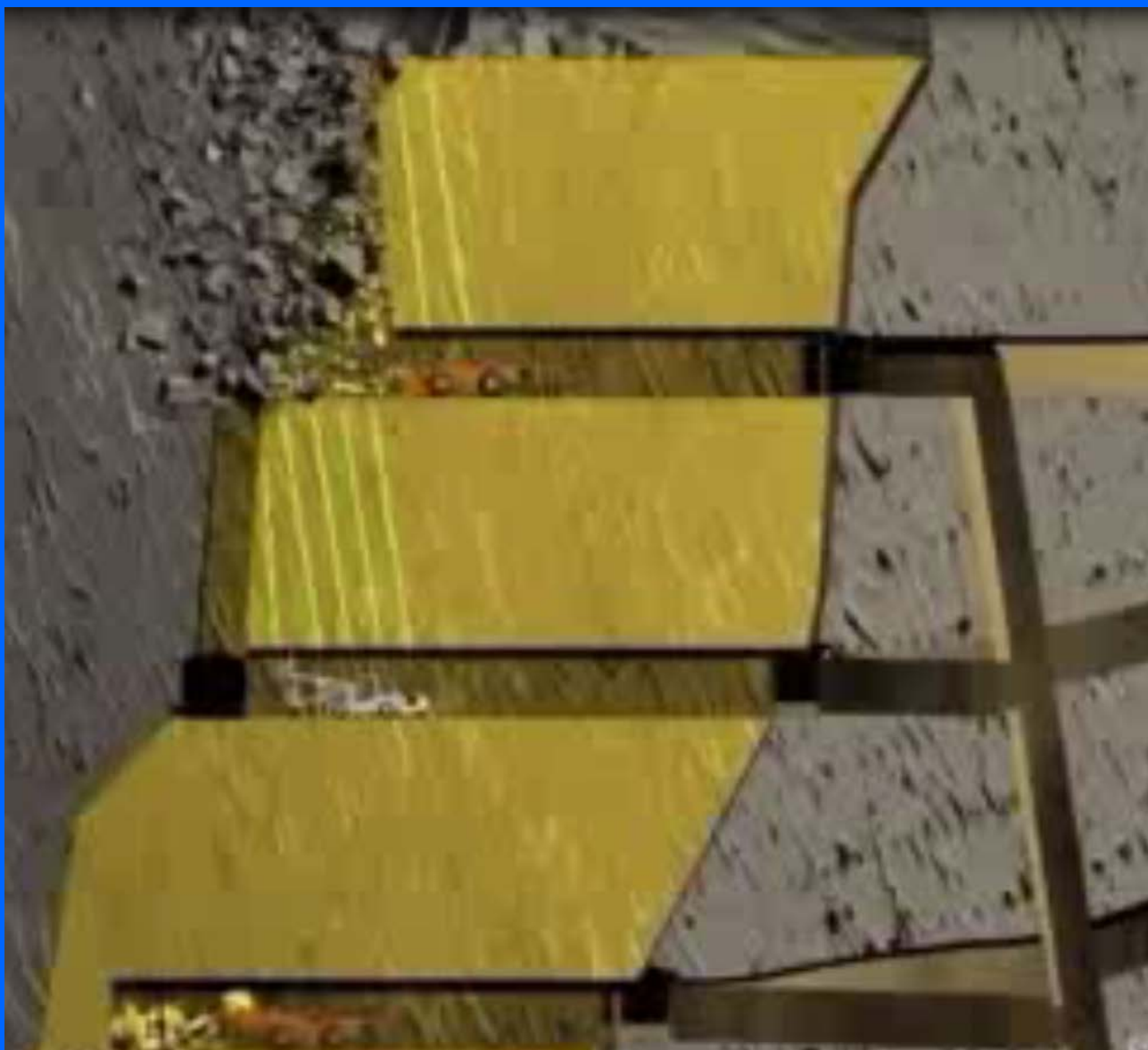


Slika 8.3.28 Poprečni presjek A-A'

Otkopne prostorije pri eksploataciji boksita



Slika 8.3.29 Poprečni presjek B-B'



Slika 8.3.30 Podetažno blokovo zarušavanje rude i krovine u ležištima metala

Otkopavanje ležišta metala komorama sa zasipavanjem otkopanog prostora



Izrada komora, 1. korak



Početak zasipanja komora, 3. korak



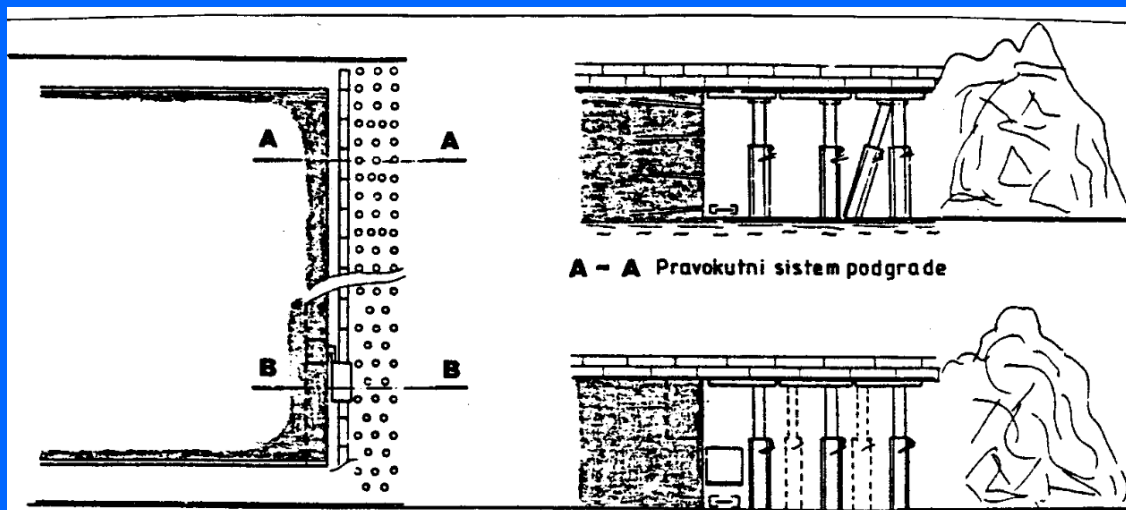
Otkopavanje ležišta, 2. korak



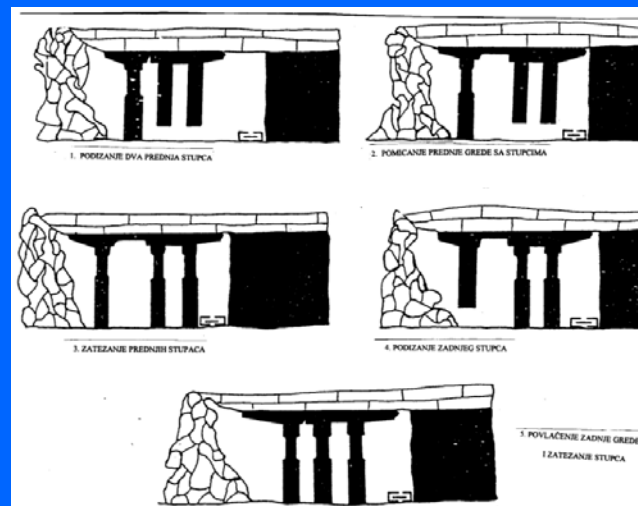
Zapunjene komore, 4. korak

8.3.5.2. Projektiranje eksploatacije ležišta ugljena

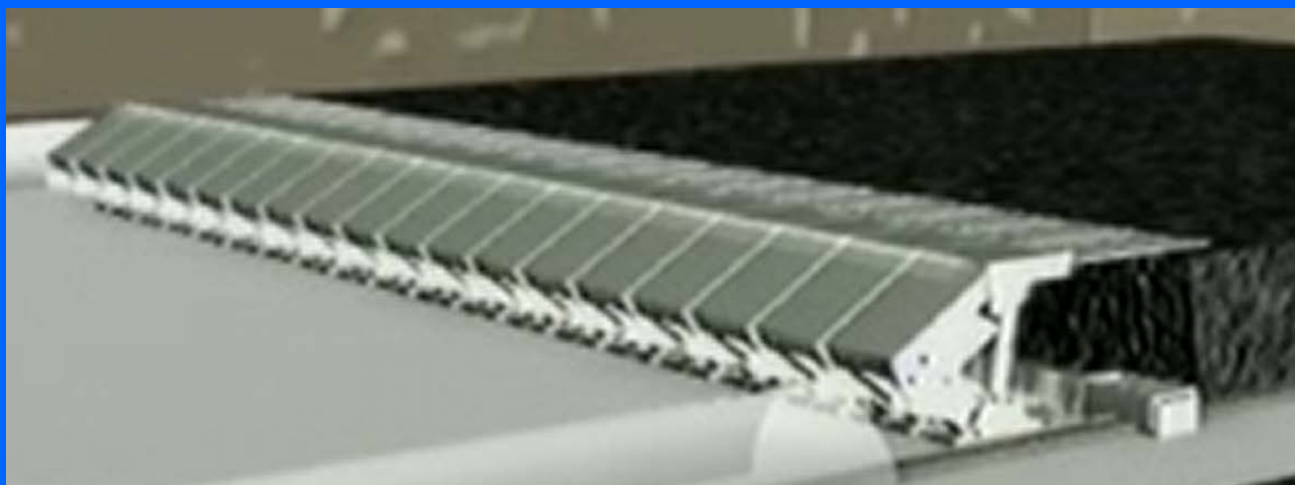
Široka čela



Klasični širokočelni otkopi



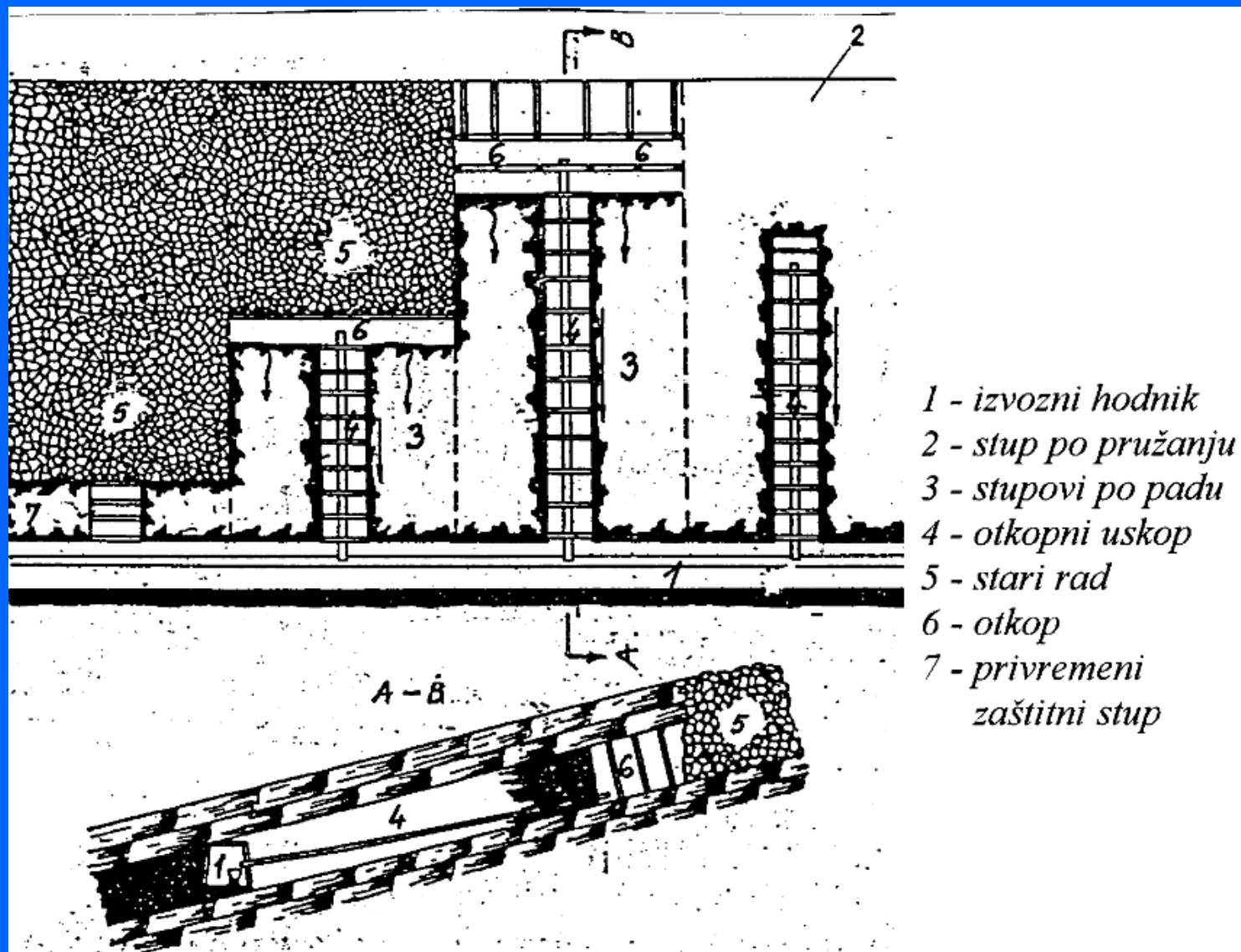
širokočelni otkopi s hidrauličnom koračajućom podgradom



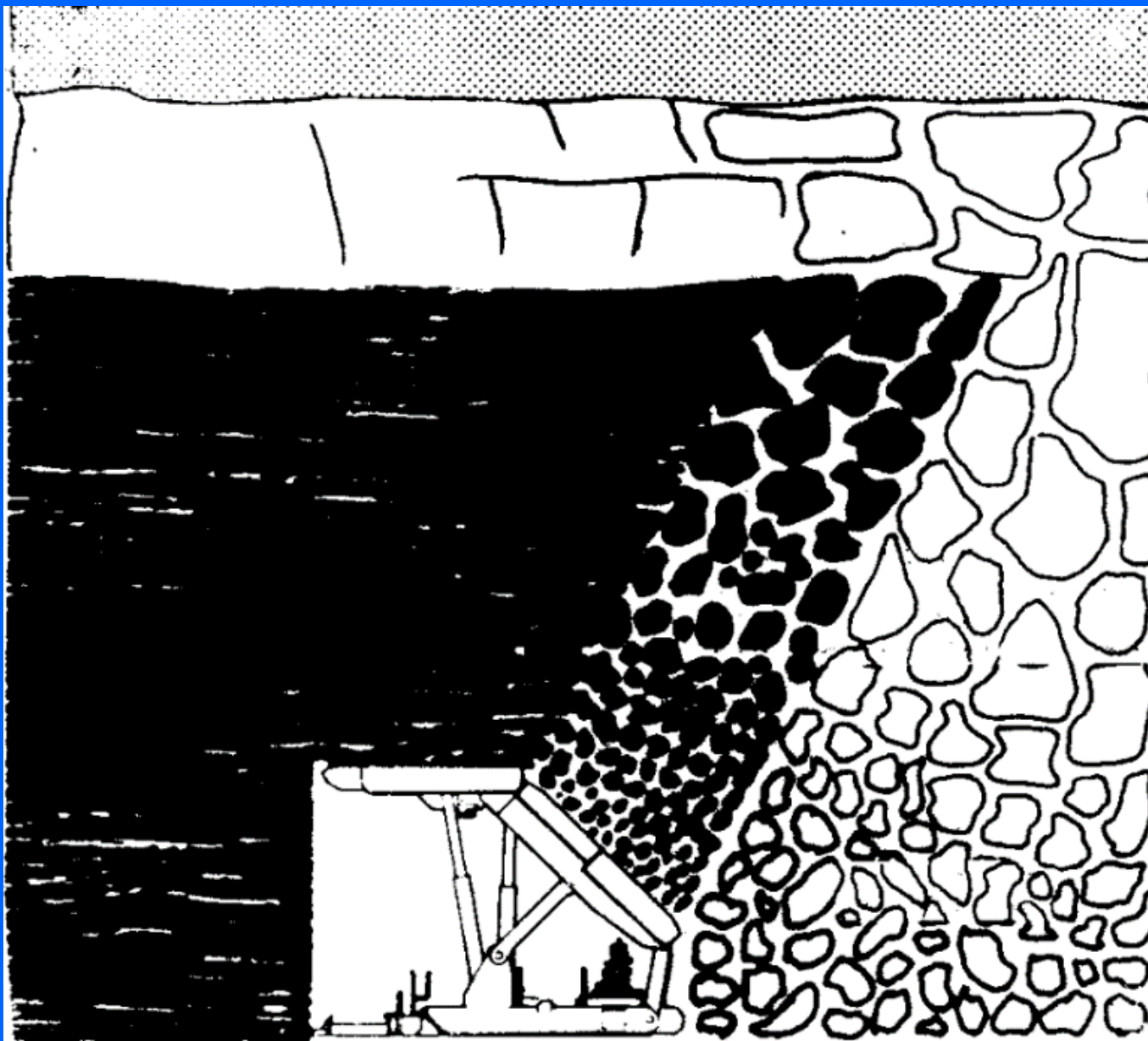
širokočelni otkopi s kompleksnom mehanizacijom

Slika 8.3.32

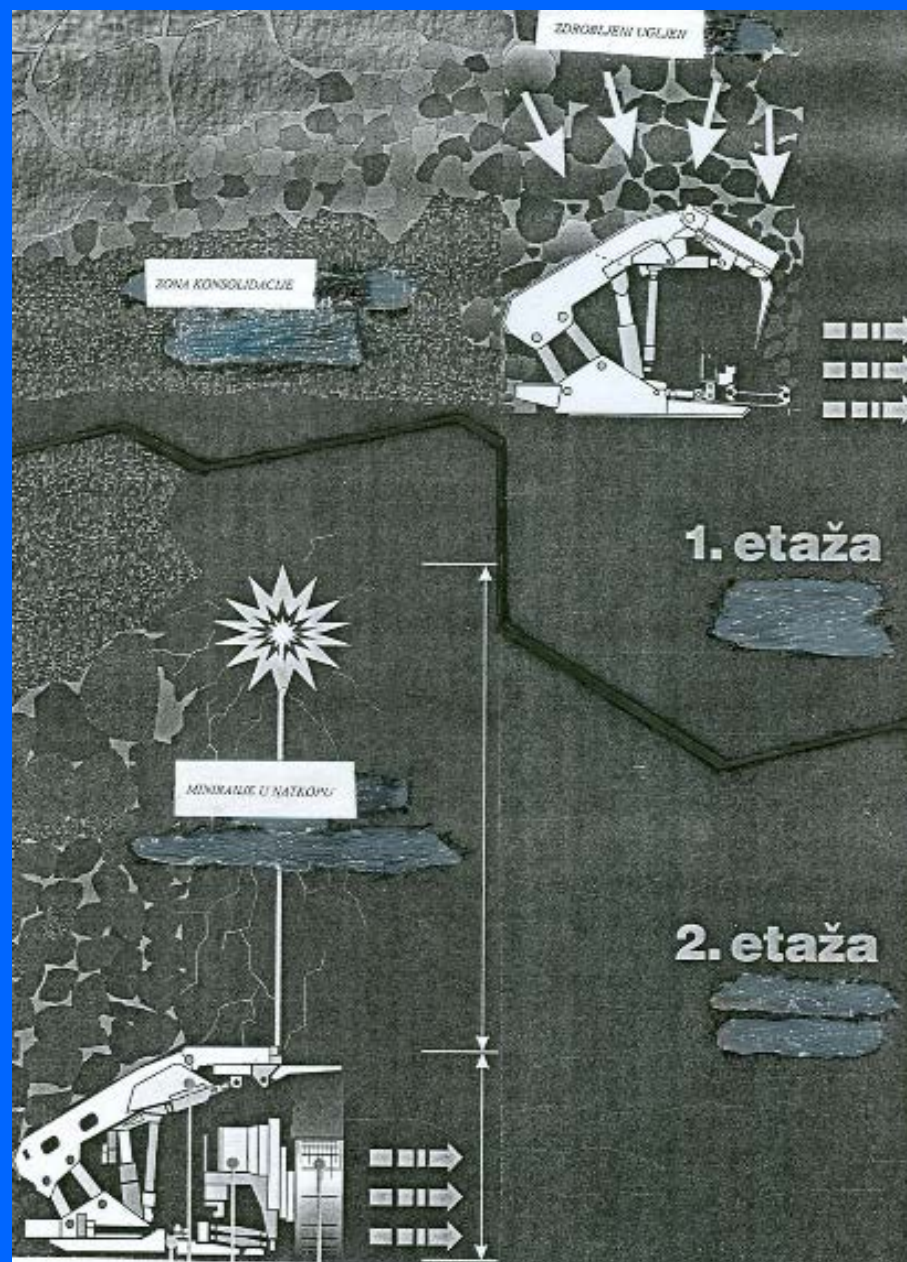
Otkopni niskopi, uskopi i natkopi



Slika 8.3.33 Stupno otkopavanje ugljena uskopima i niskopima



Slika 8.3.34 Natkopno dobivanje zarušavanjem ugljena i krovine



Parametri širokočelnog otkopa:

- otkopna visina 10–20 m
- dužina 90–130 m
- proizvodnja otkopa 3000–10000 t/dan
- posada otkopa 55–65 nadnica/dan (18–22 nad/smjeni)
- produktivnost 30–90 t/dan

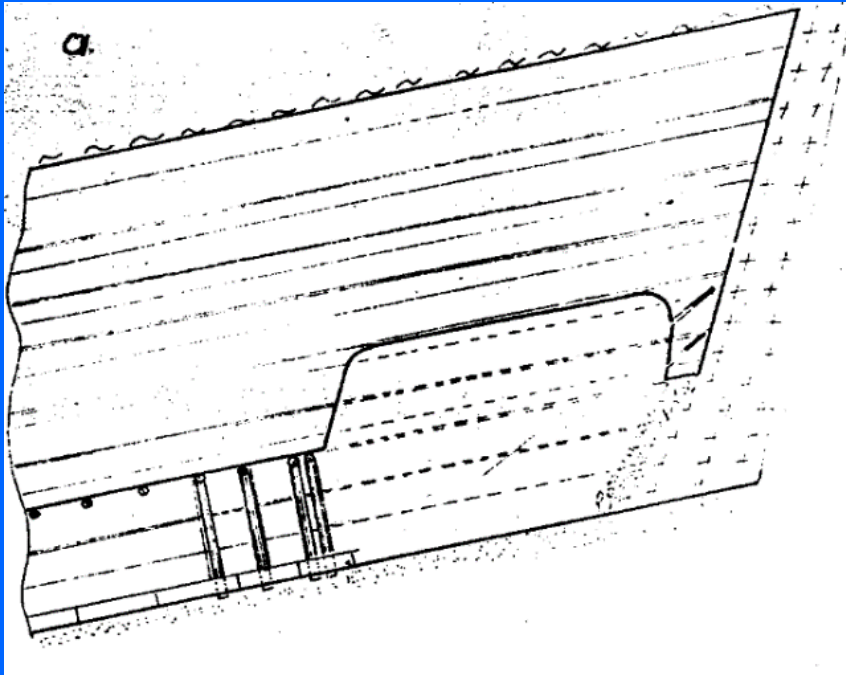
Slika 8.3.35 Velenjska otkopna metoda-otkopavanje u dvije etaže



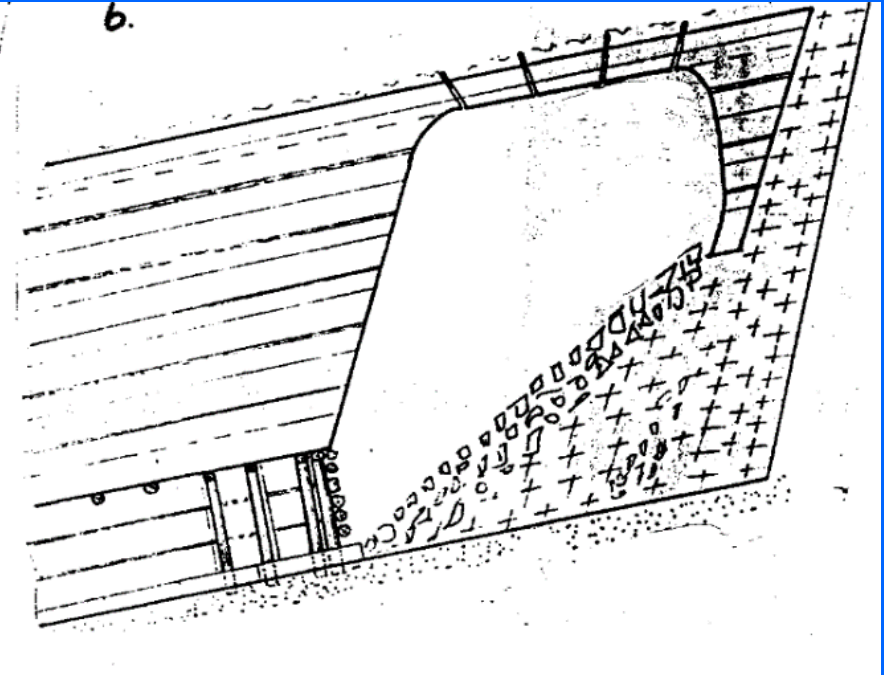
Slika 8.3.33



Slika 8.3.36 Rudnik ugljena Velenje-površina (slijeganje i formiranje jezera, rekultivacija)



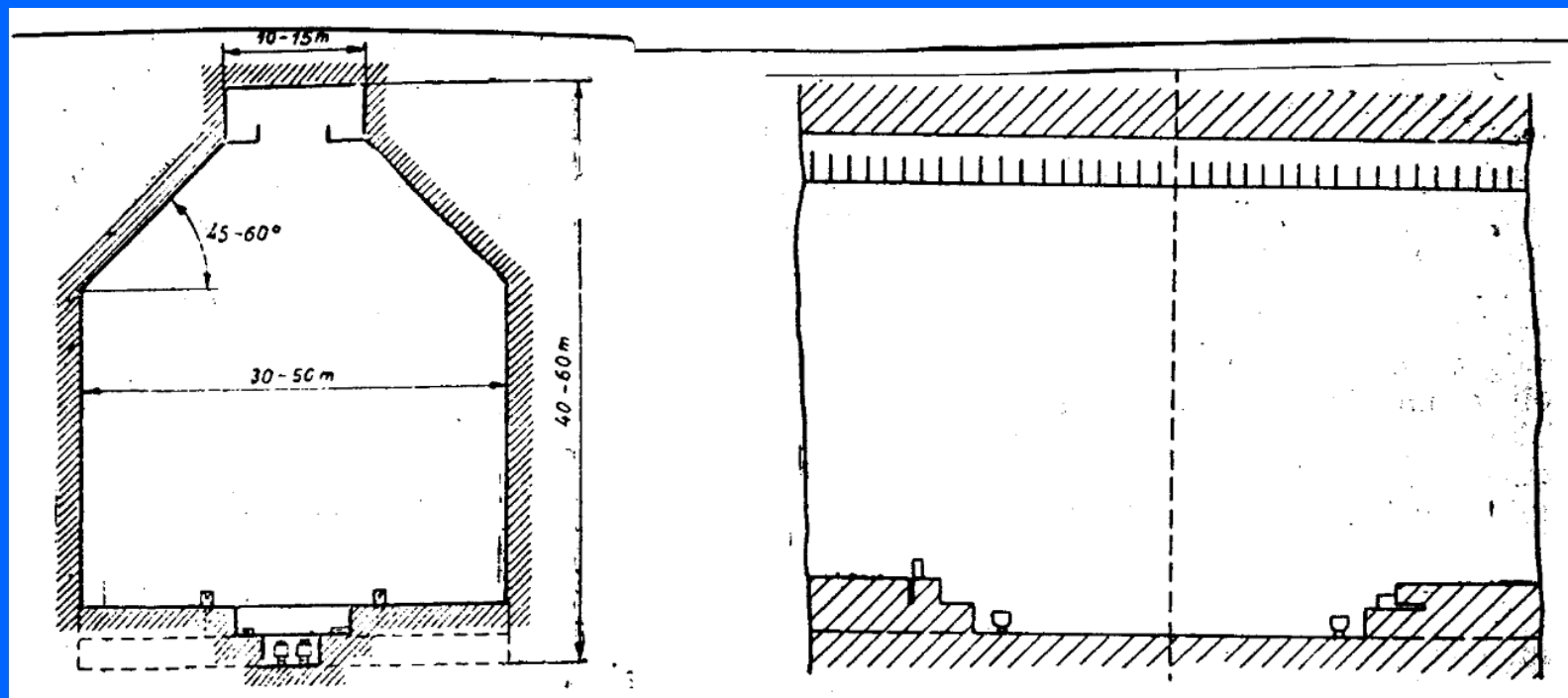
podasipanje



zarušavanje

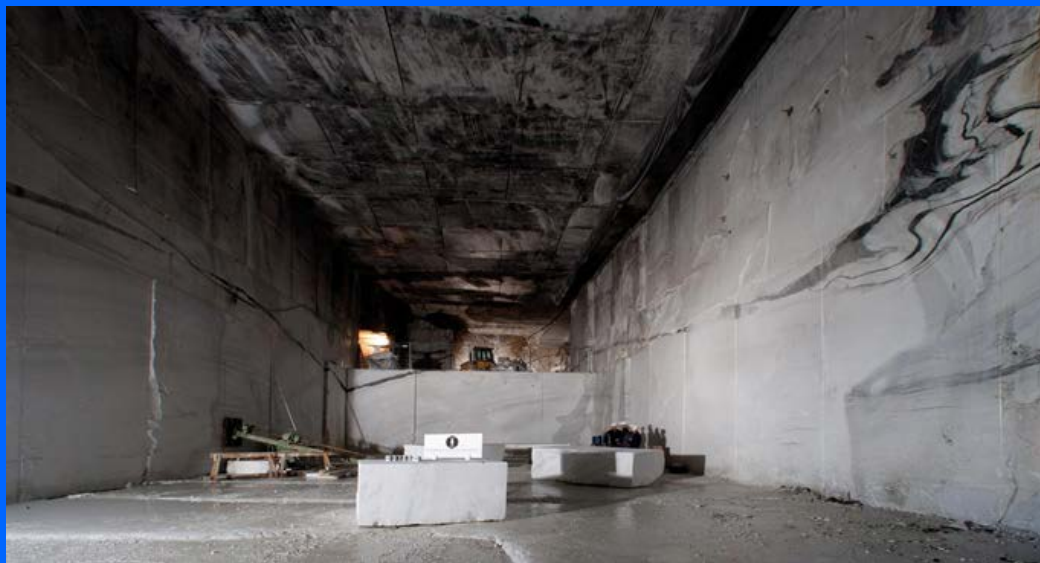
Slika 8.3.37 Otkopavanje ležišta ugljena komorama

8.3.5.3. Projektiranje eksploatacije ležišta soli



Slika 8.3.38 Otkopavanje ležišta soli velikim komorama

8.3.5.4. Projektiranje podzemne eksploatacije ležišta a-g kamena



Galerije agk u masivnim ležištima ($h > 10$ m)-Bianco Lasa, Italija

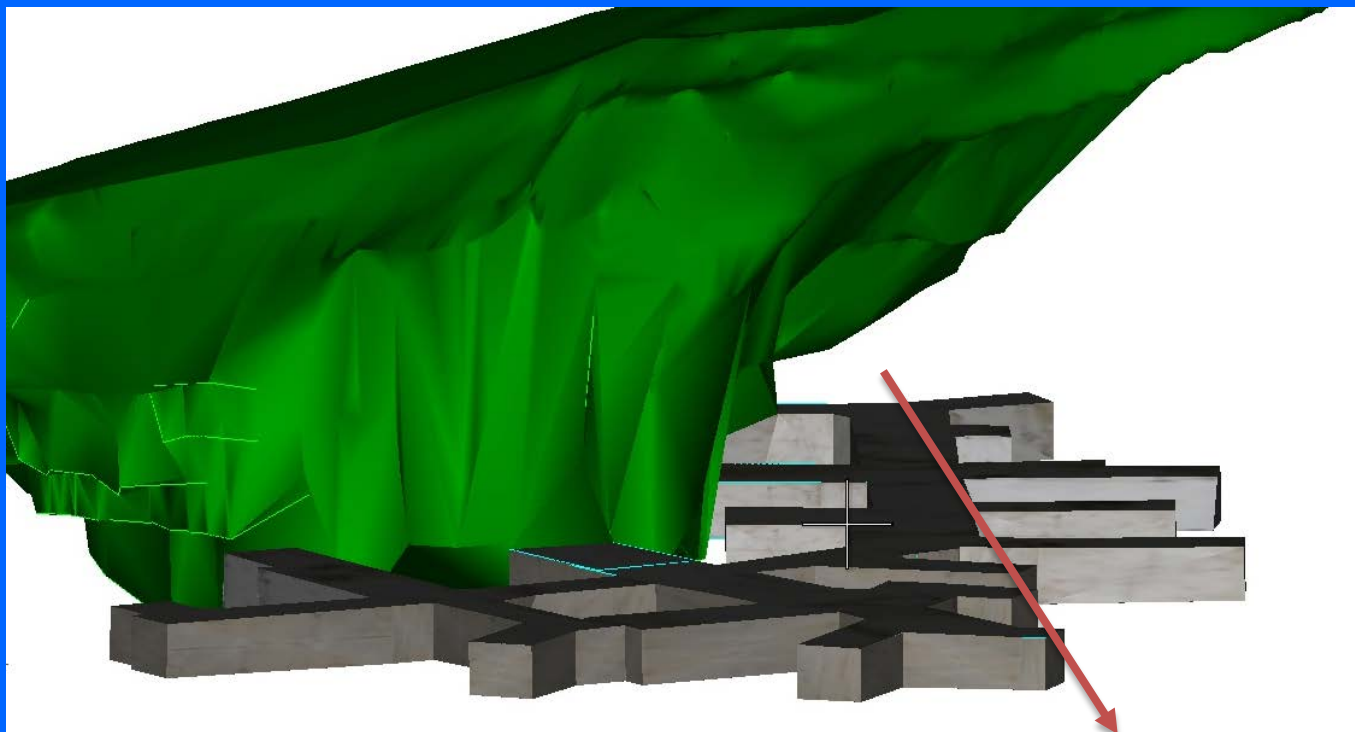


Galerije agk u slojevima < 7 m, Kanfanar



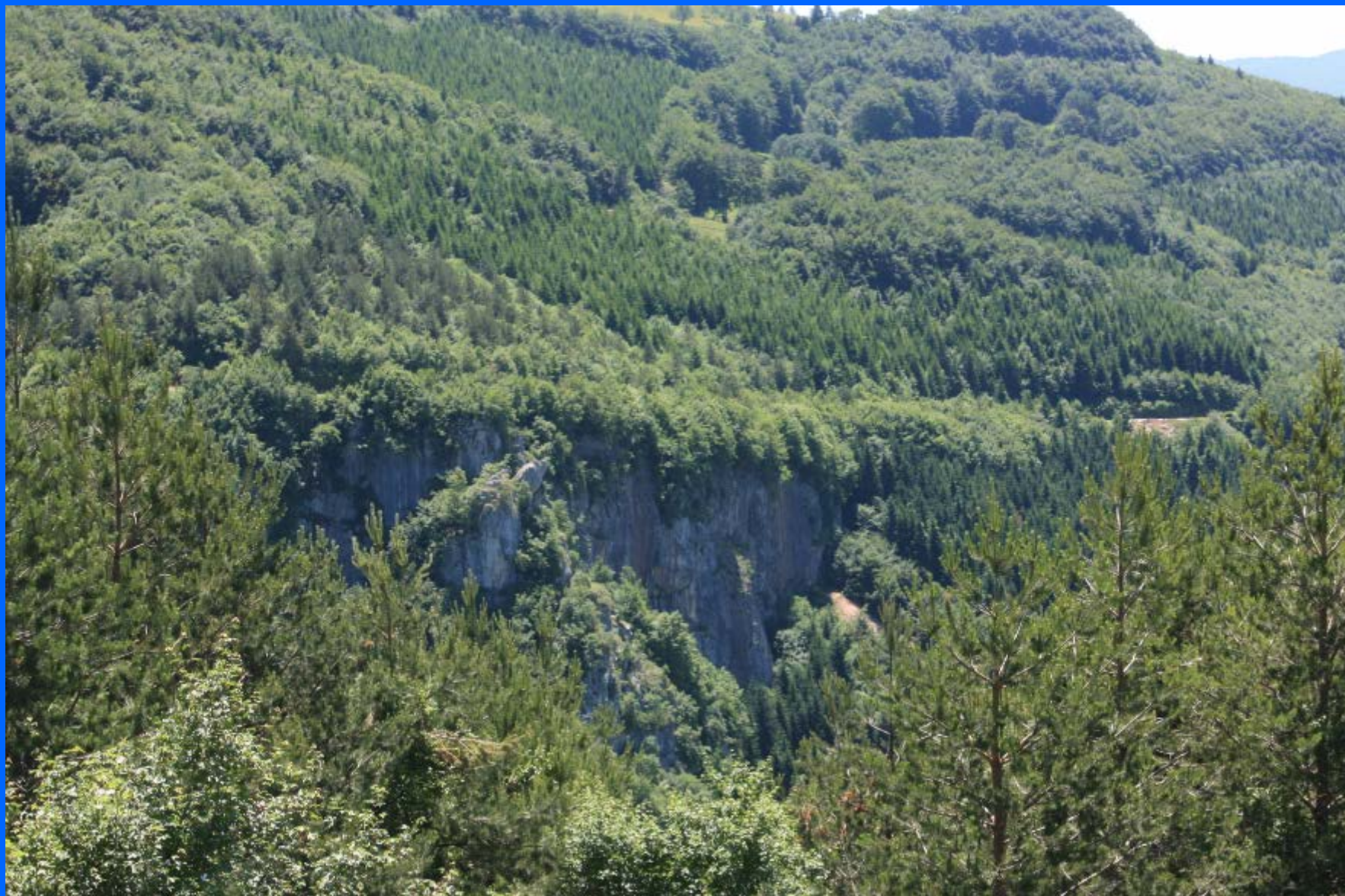
Galerije > 30 m, s nepravilnim rasporedom stupova, Marmor Sežana, Slovenija

8.3.5.4.1. Model terena i podzemnog kopa a-gk u Hotavlju

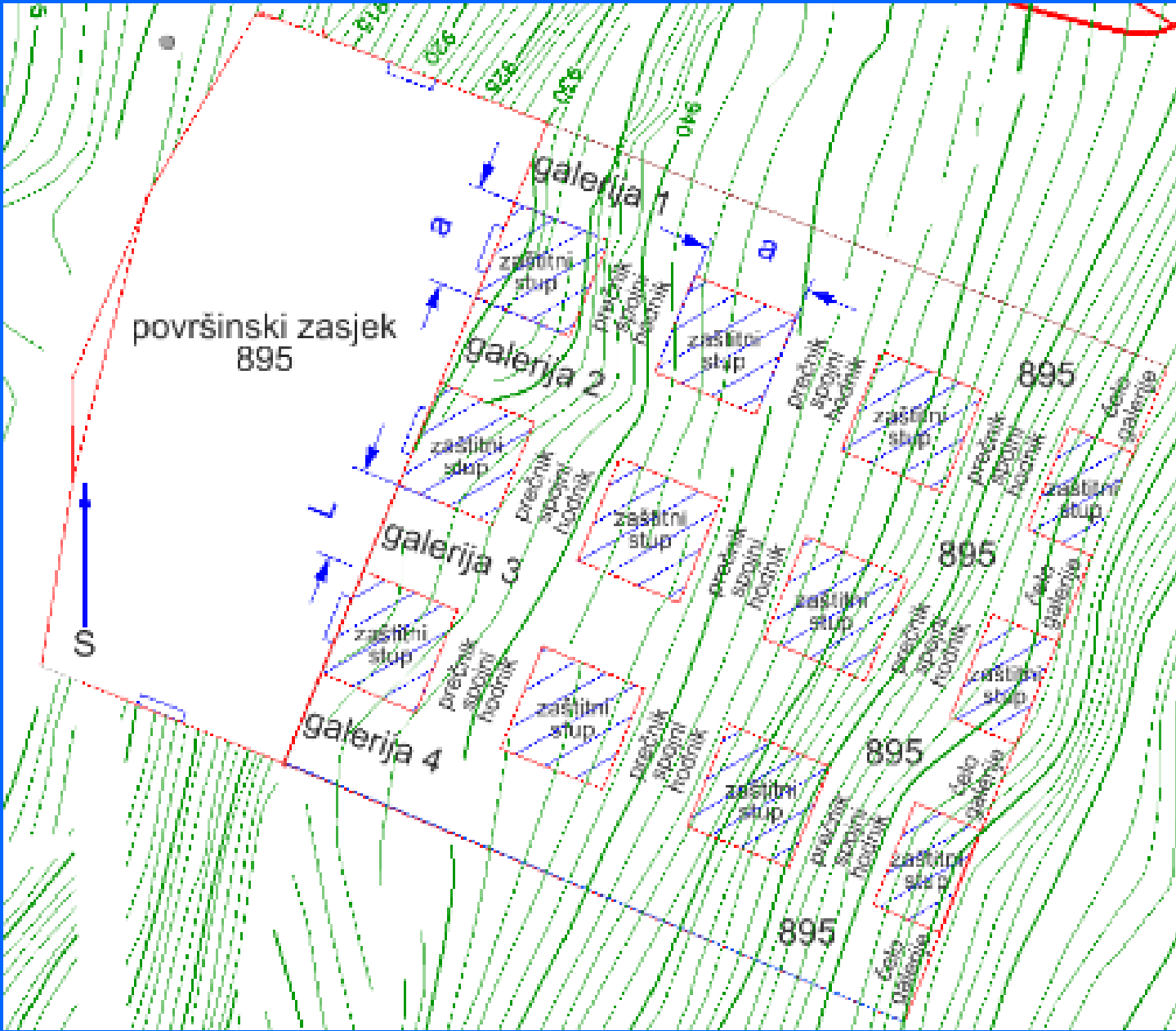


Slika 8.3.40

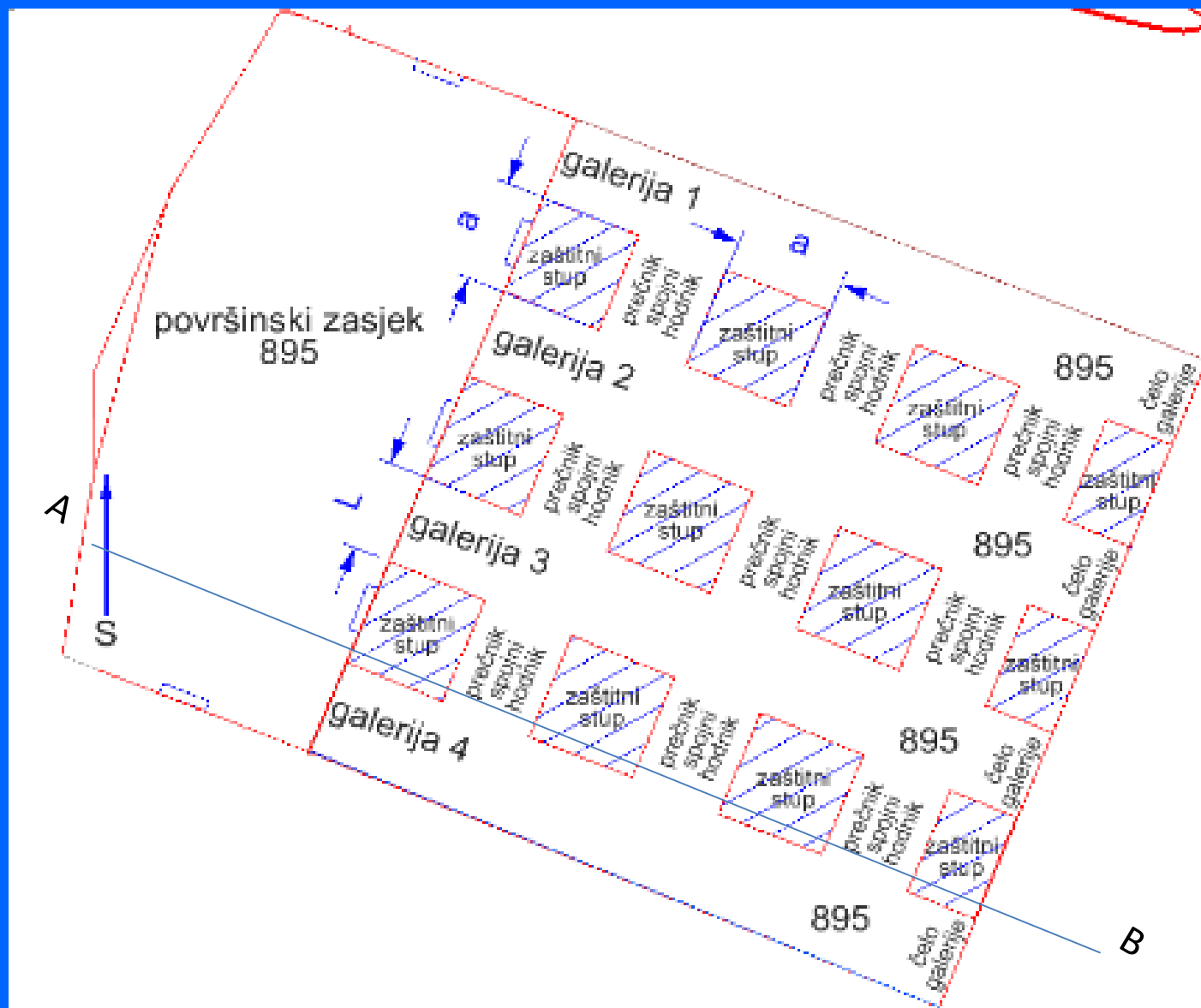
8.3.5.4.2. Idejna rješenja za ležište a-gk „Crvene Stijene”



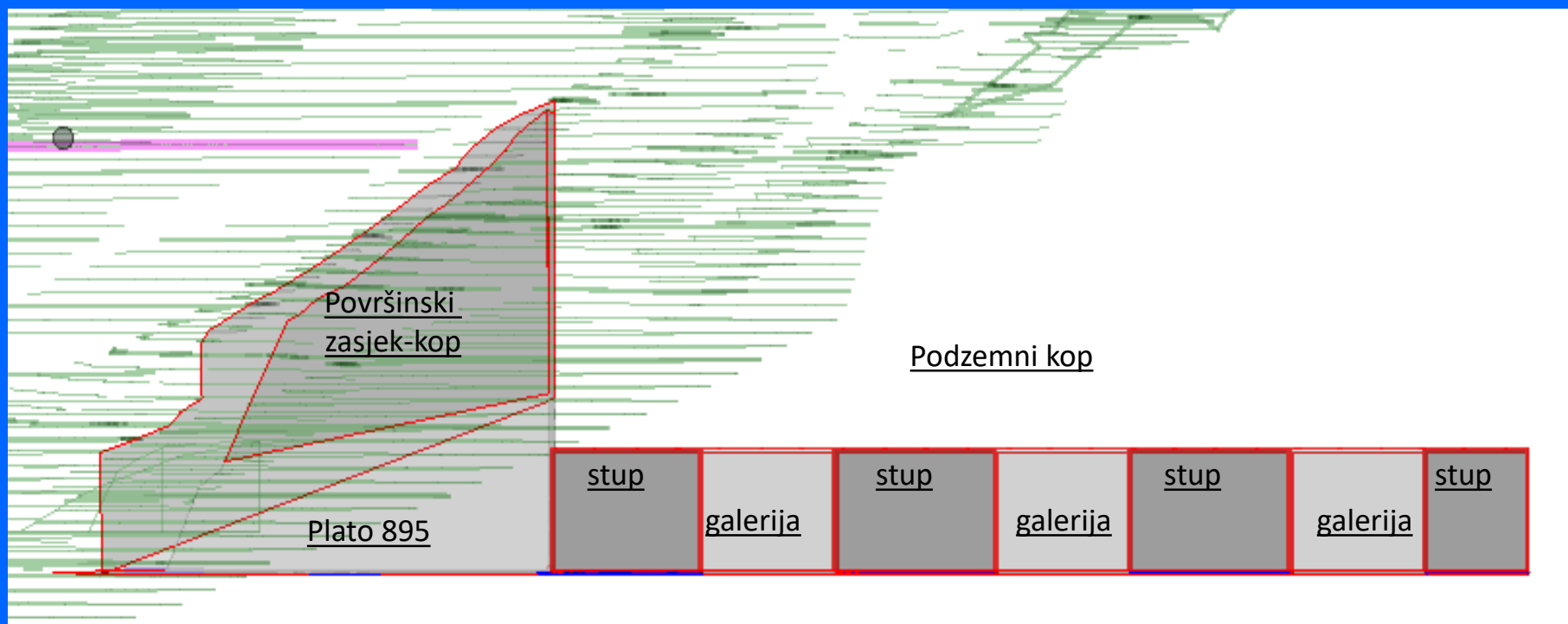
Slika 8.3.41 Šire područje ležišta a-gk Crvene Stijene



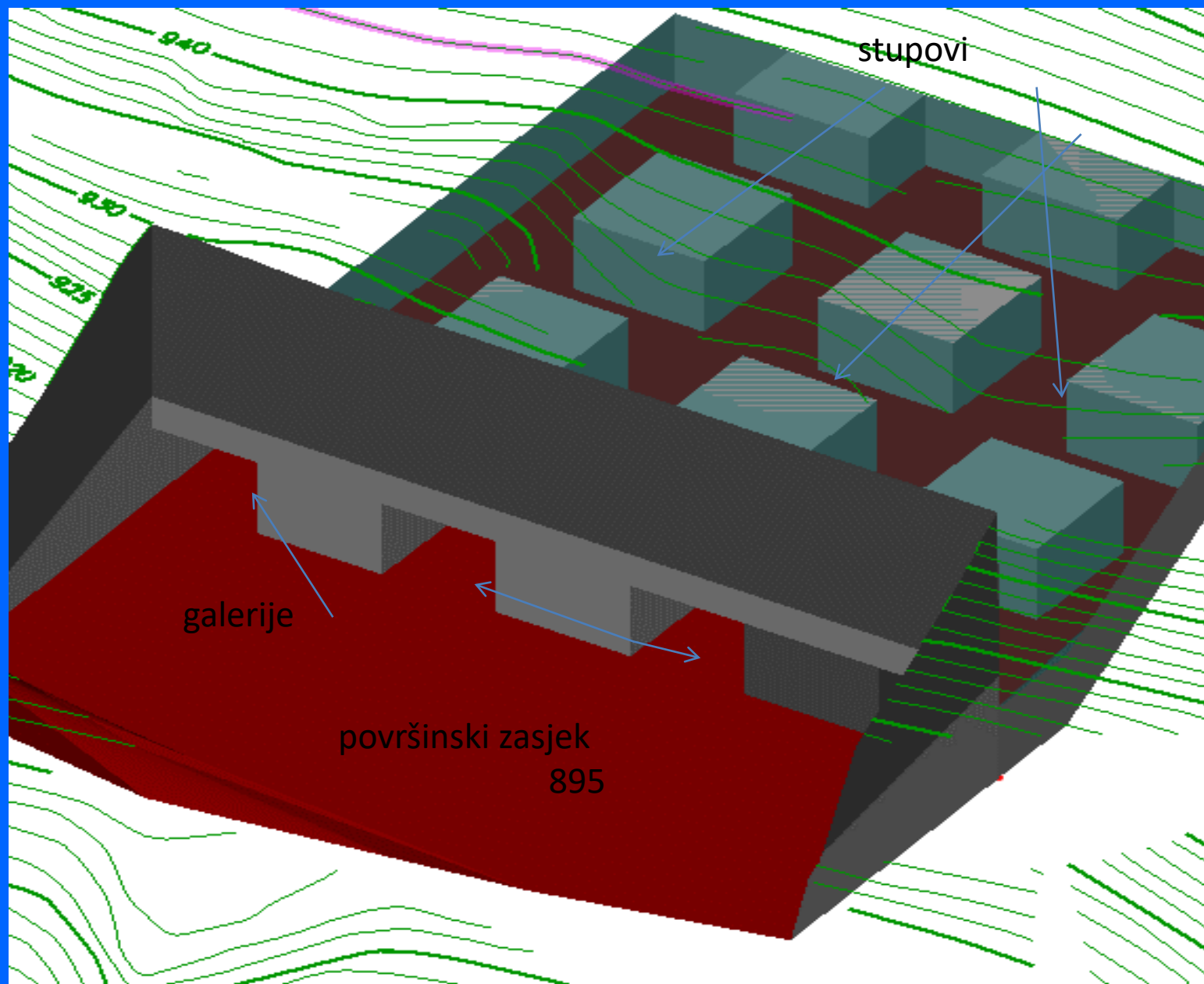
Slika 8.3.43 Priprema terena s planom izrade galerija (C.S.)



Slika 8.3.44 Tlocrt (bez terena)



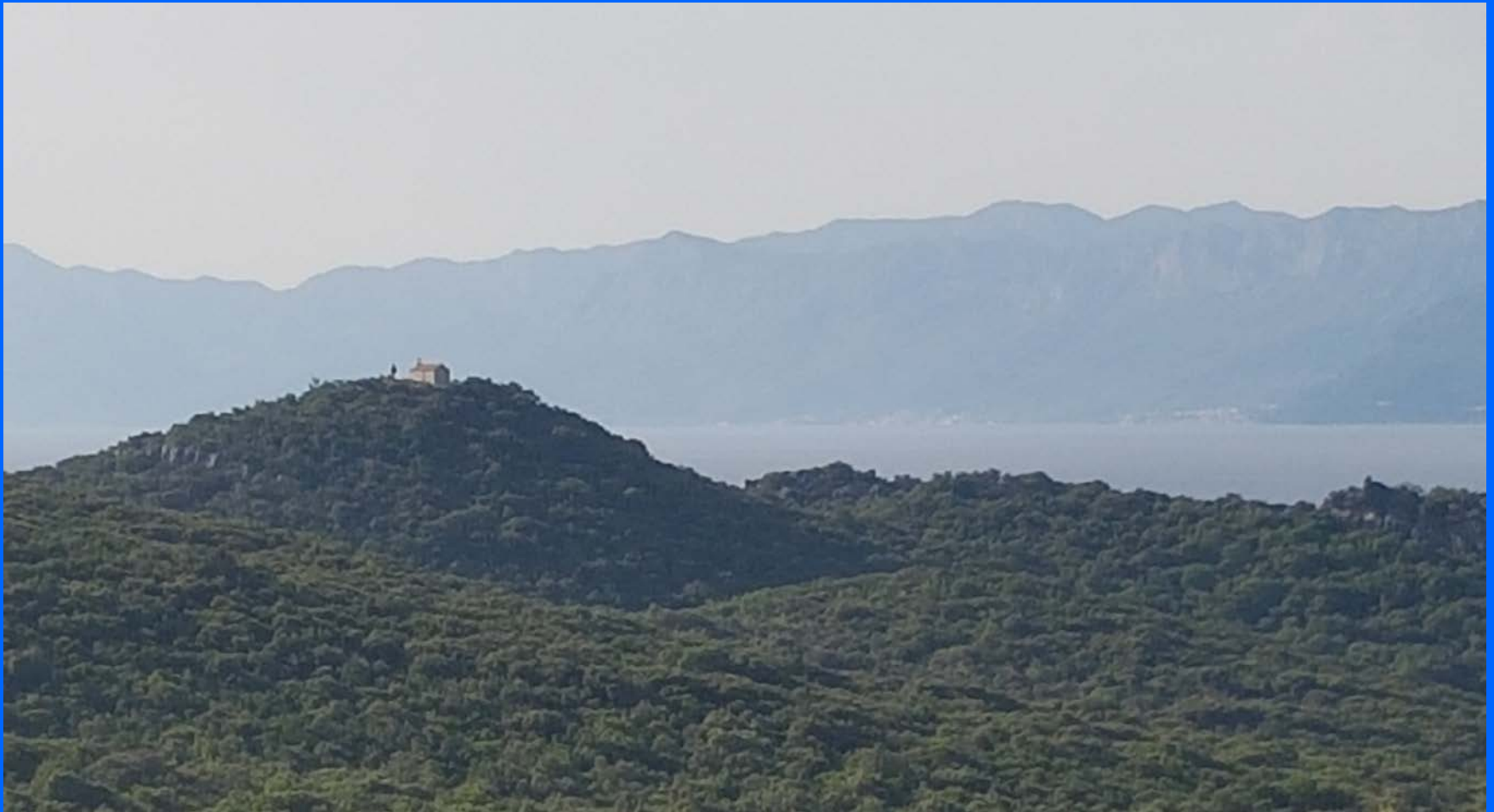
Slika 8.3.45 Presjek A-B



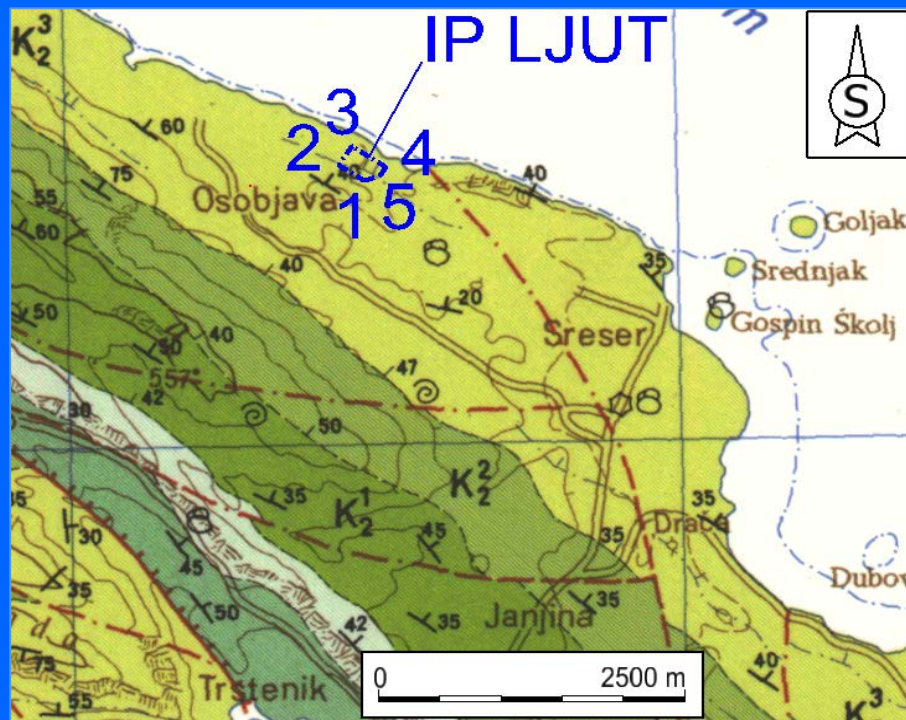
Slika 8.3.46 3D model galerija

8.3.5.4.3. Idejna rješenja za ležište „Ljut”

Komorno-stupna (galerijska) metoda eksploatacije a-gk, u slojevitom ležištu s pravilnim rasporedom stupova



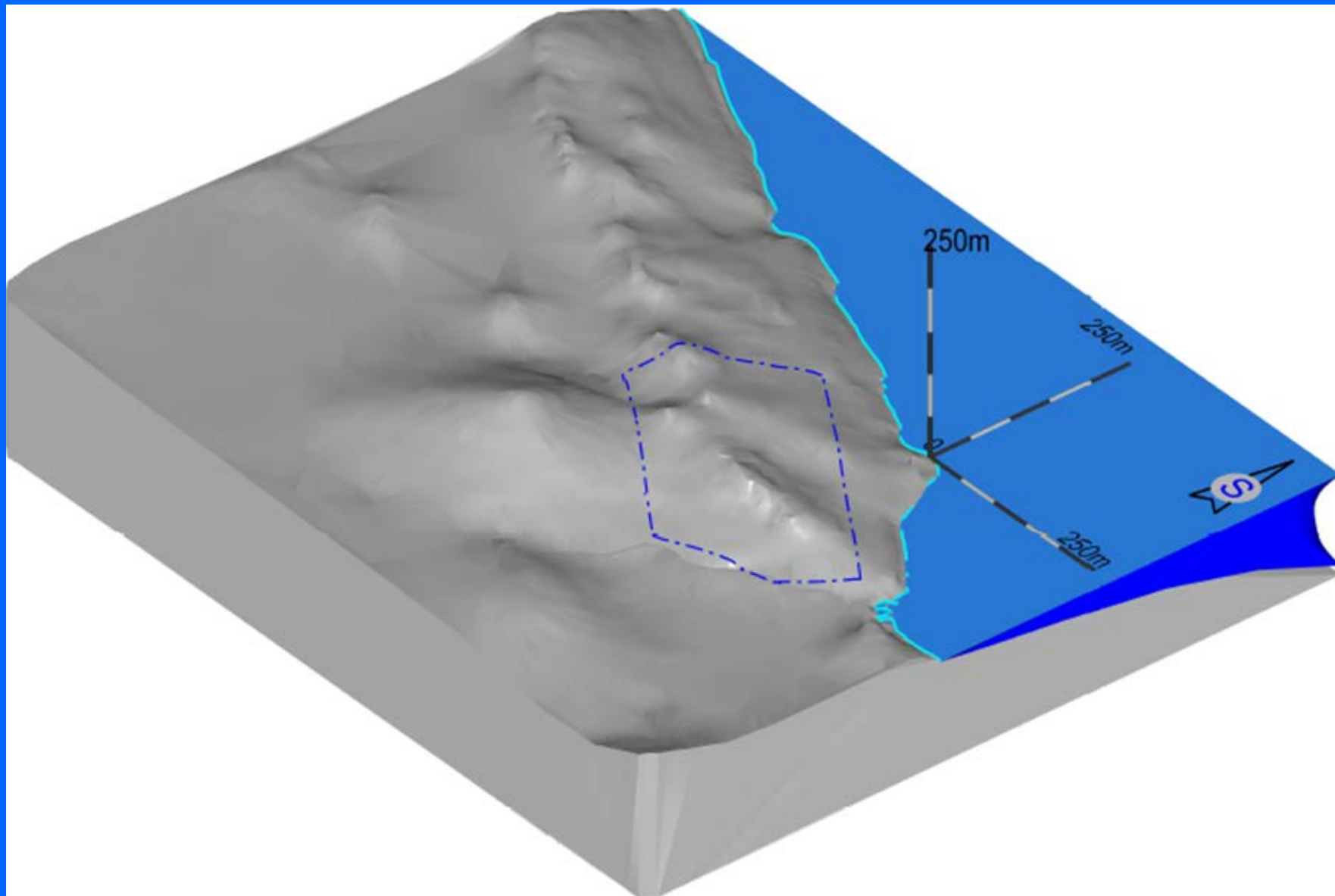
Slika 8.3.47 Šire područje ležišta



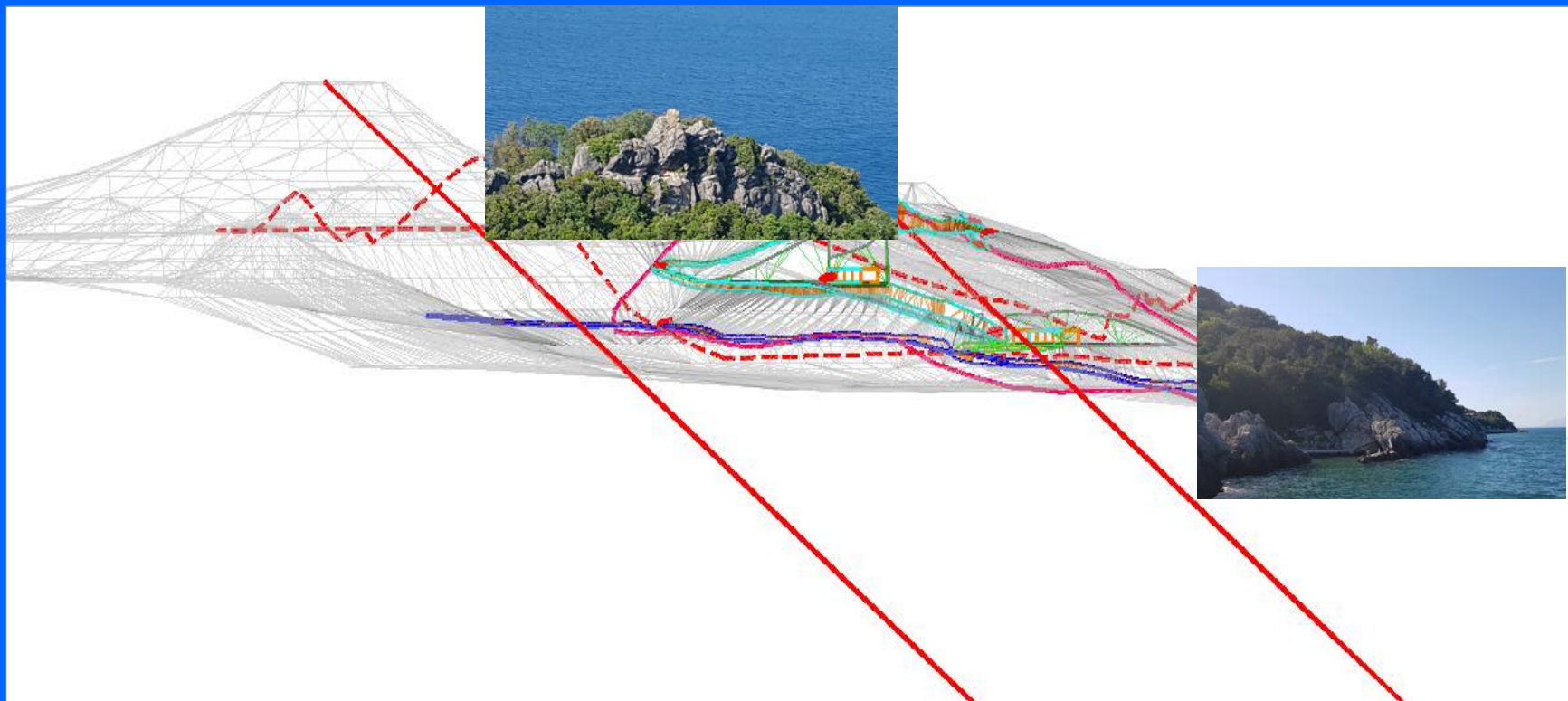
Tumač:

	Vapnenci (O. Korčula, O. Mljet): vapnenci i dolomiti (Pol. Pelješac)-senon		Normalna granica: utvrđena (s padom) i aproksimativno locirana (s padom)
	Vapnenci-turon		Rasjed bez oznake karaktera: utvrđen, aproksimativno lociran i fotogeološki utvrđen
	Vapnenci i dolomiti-cenoman		Čelo ljske: utvrđeno i aproksimativno locirano
	Vapnenci s ulošcima dolomita-alb		Elementi pada sloja: normalan i prevrnut
	Vapnenci-barem, apt i alb		Marinska makrofauna
			Mikrofauna; mikroflora
		1,2,3,4,5	Oznaka vršnih točaka
		— . — . — .	istražnog prostora

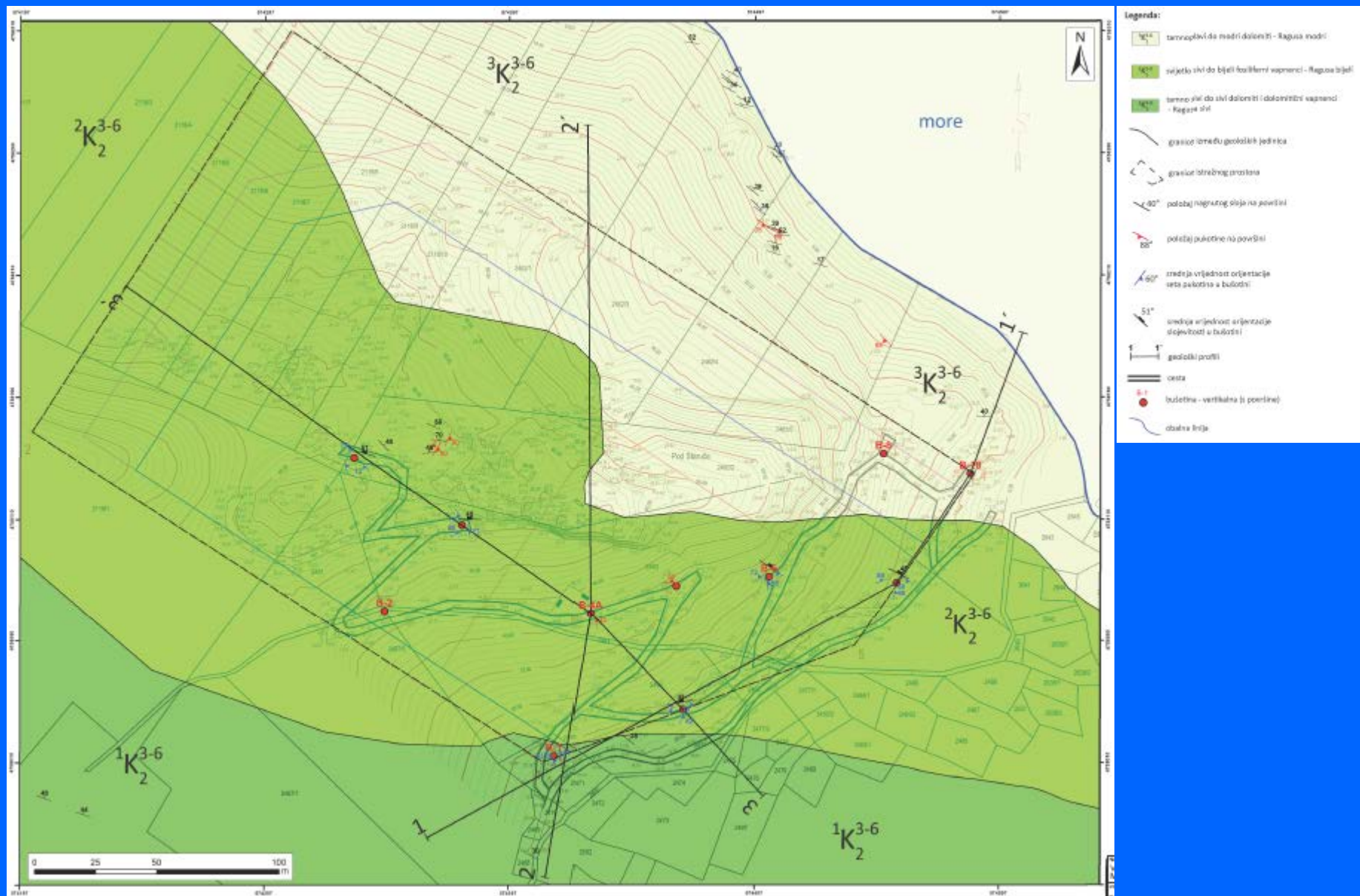
Slika 8.3.48 Geološka karta šireg područja istražnog prostora arhitektonsko-građevnog kamena 71



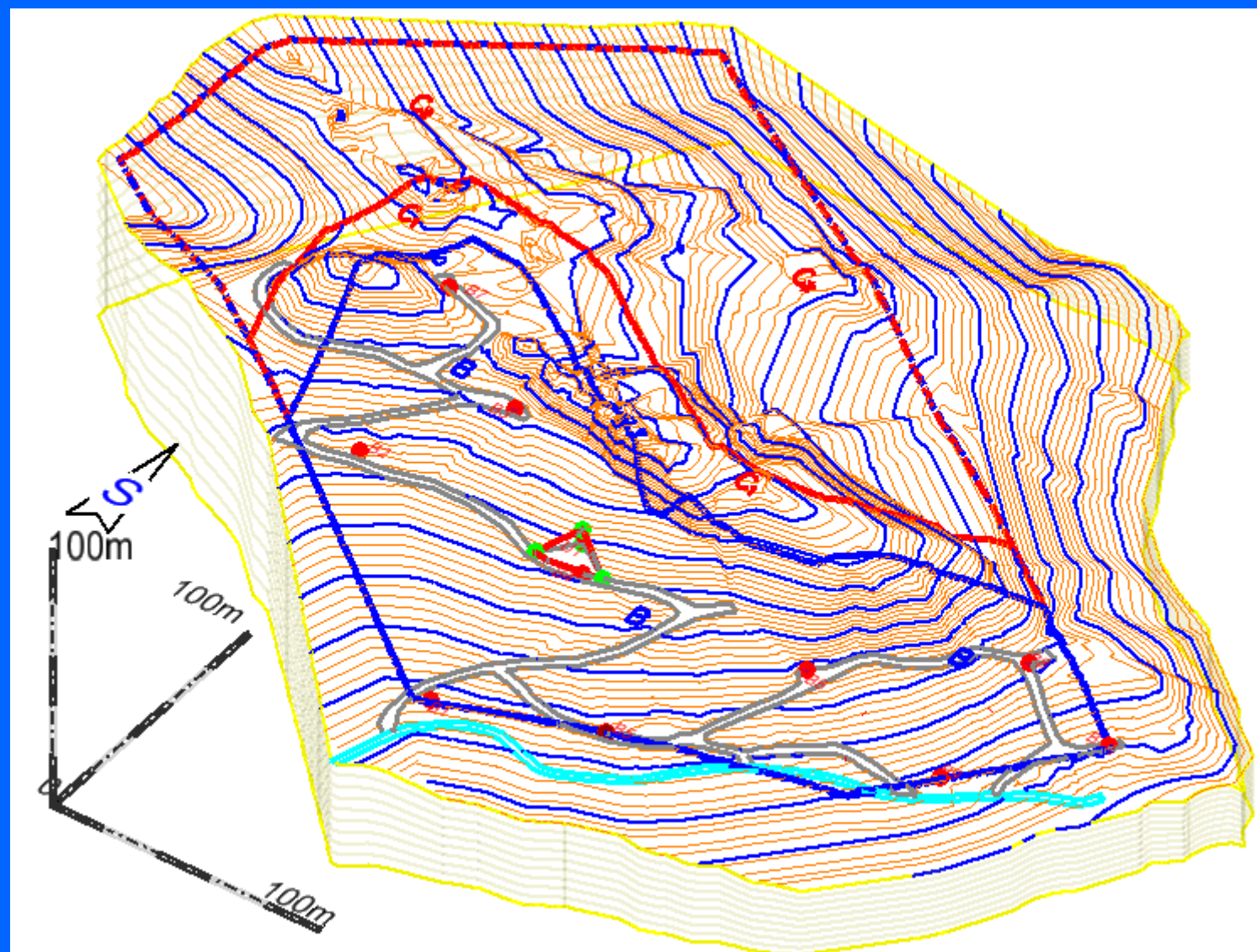
Slika 8.3.49 3D šireg područja ležišta a-gk



Slika 8.3.50 Nagib slojeva

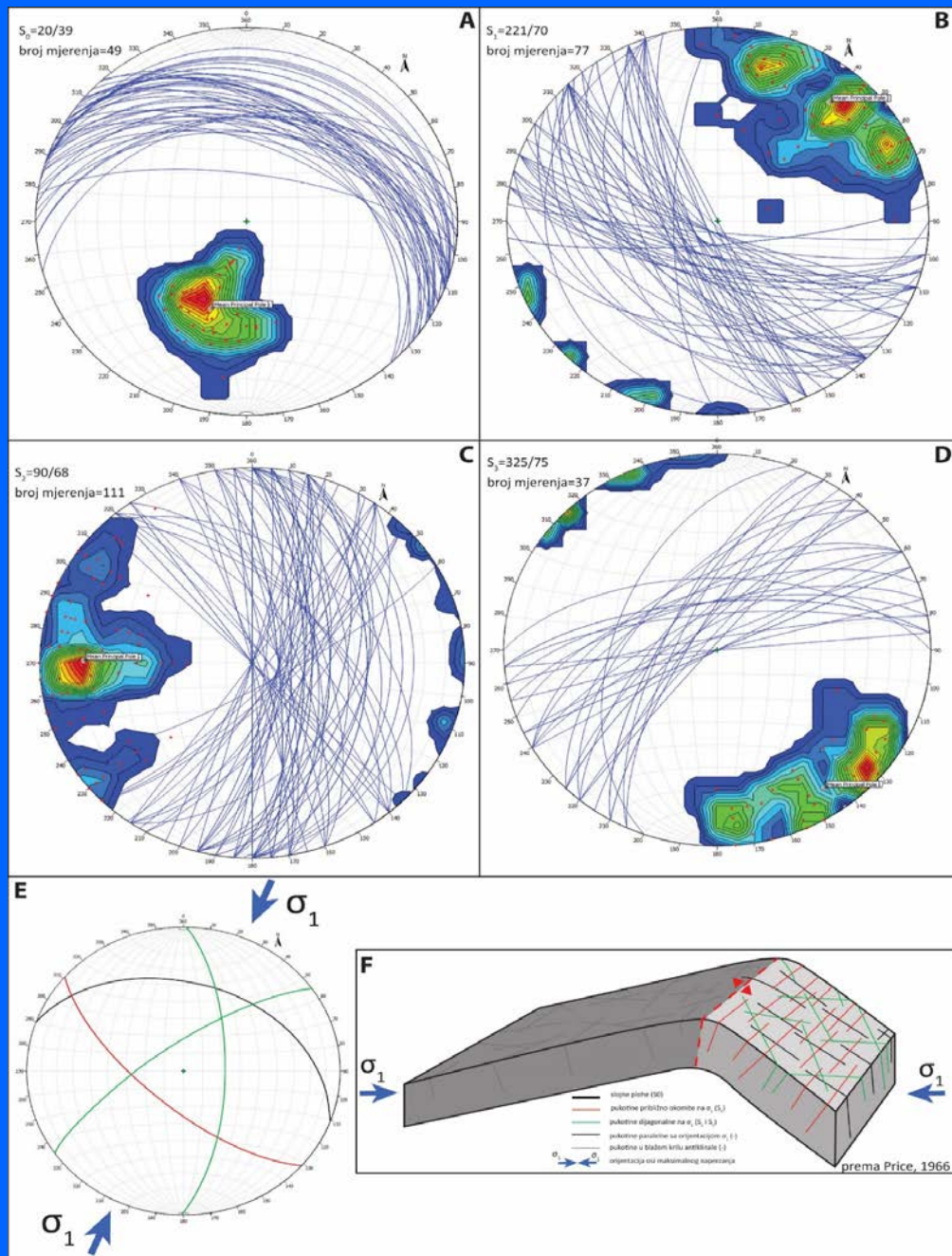


Slika 8.3.51 Situacijska i geološka karta ležišta

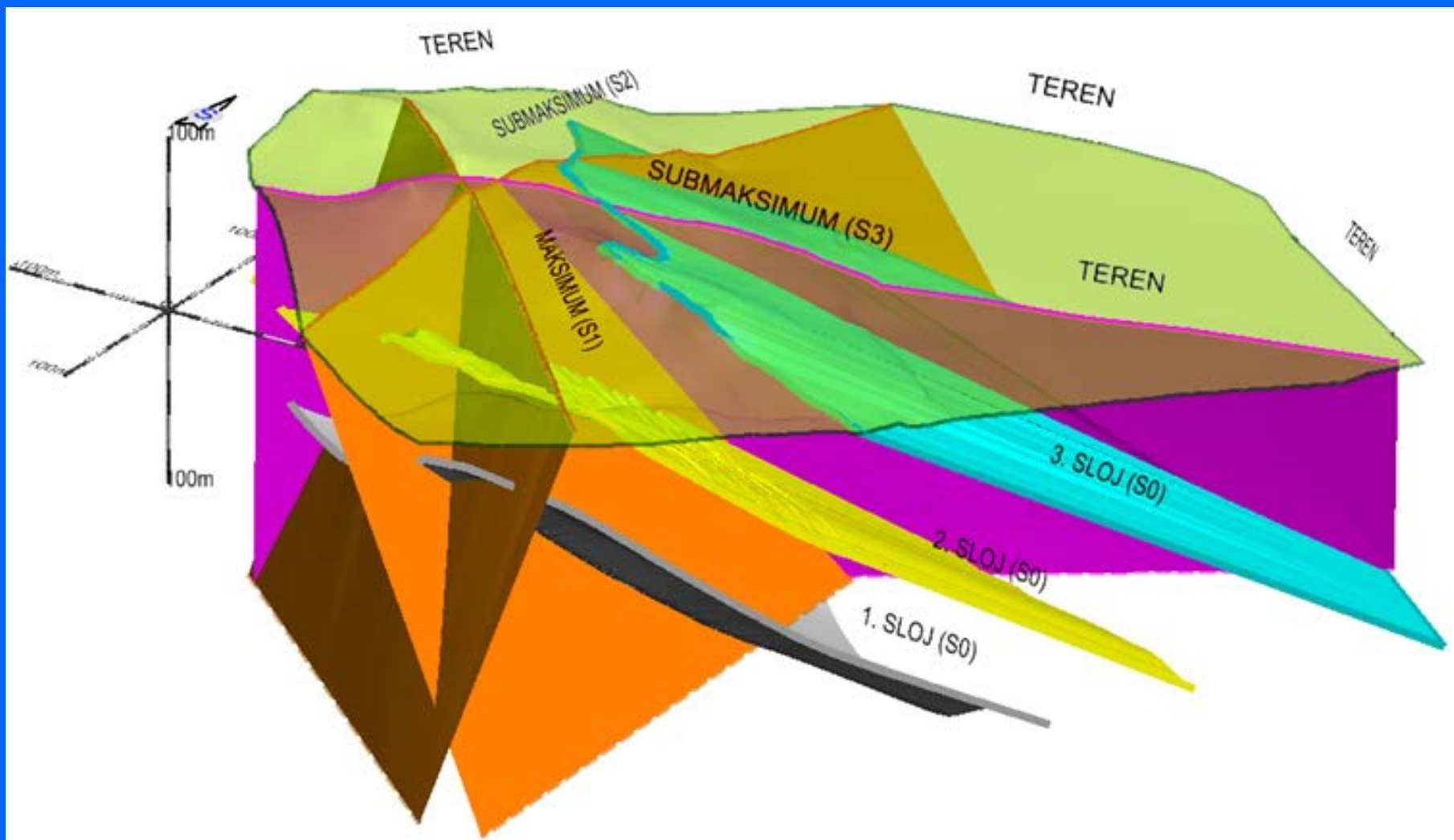


Slika 8.3.52 Izrada 3D modela ležišta i granica rezervi a-gk

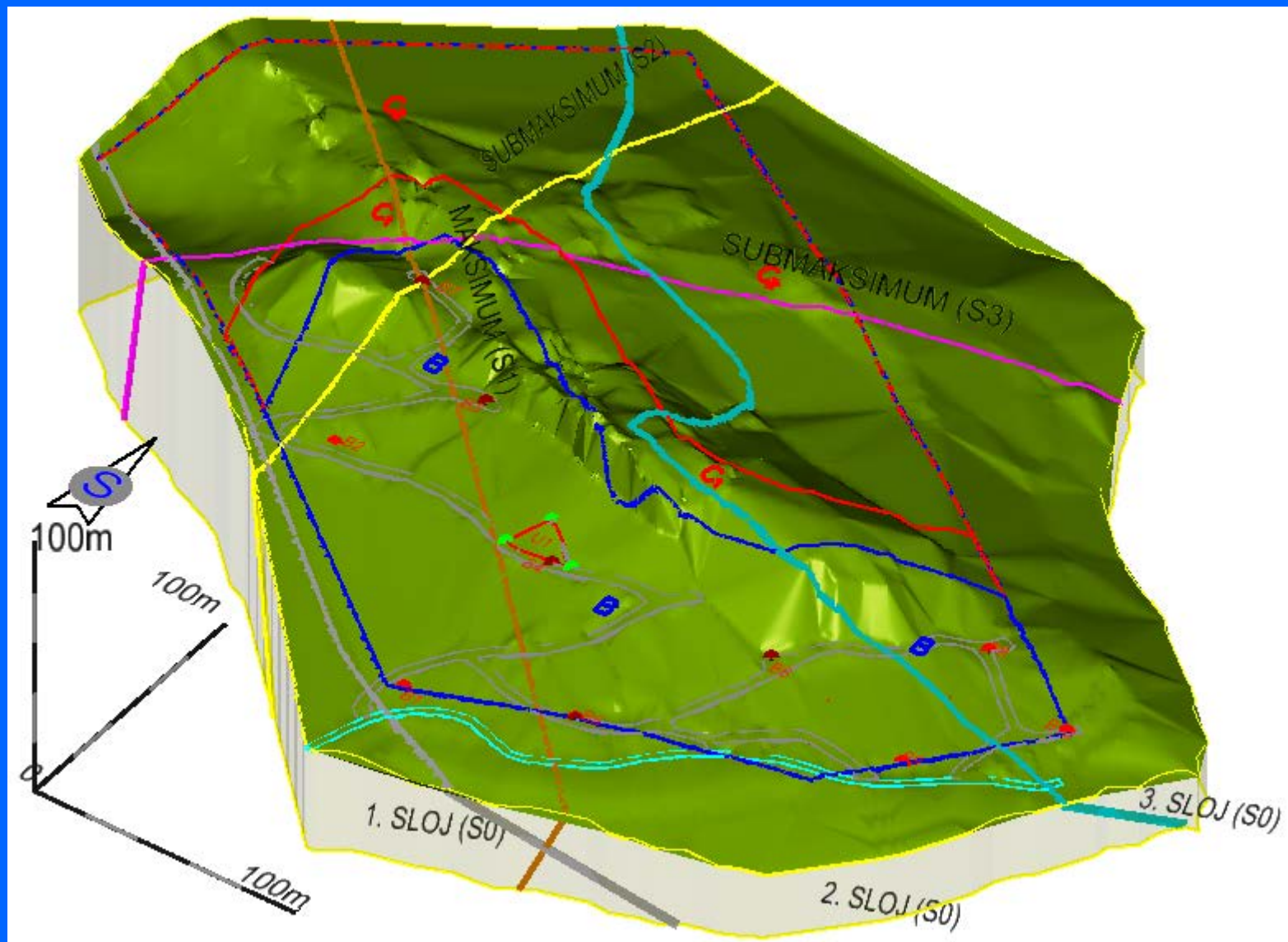
- A) S_0 – slojevitost;
 B) S_1 – tenzijske pukotine;
 C i D) S_2 i S_3 – konjugirane smične pukotine;
 E) Stereogram sa osrednjenim orijentacijama svih setova diskontinuiteta i orijentacijom osi maksimalnog naprezanja;
 F) Strukturna interpretacija razvoja pukotina u istražnom prostoru „Ljut“.



Slika 8.3.53 Stereogrami pojedinih setova diskontinuiteta 76



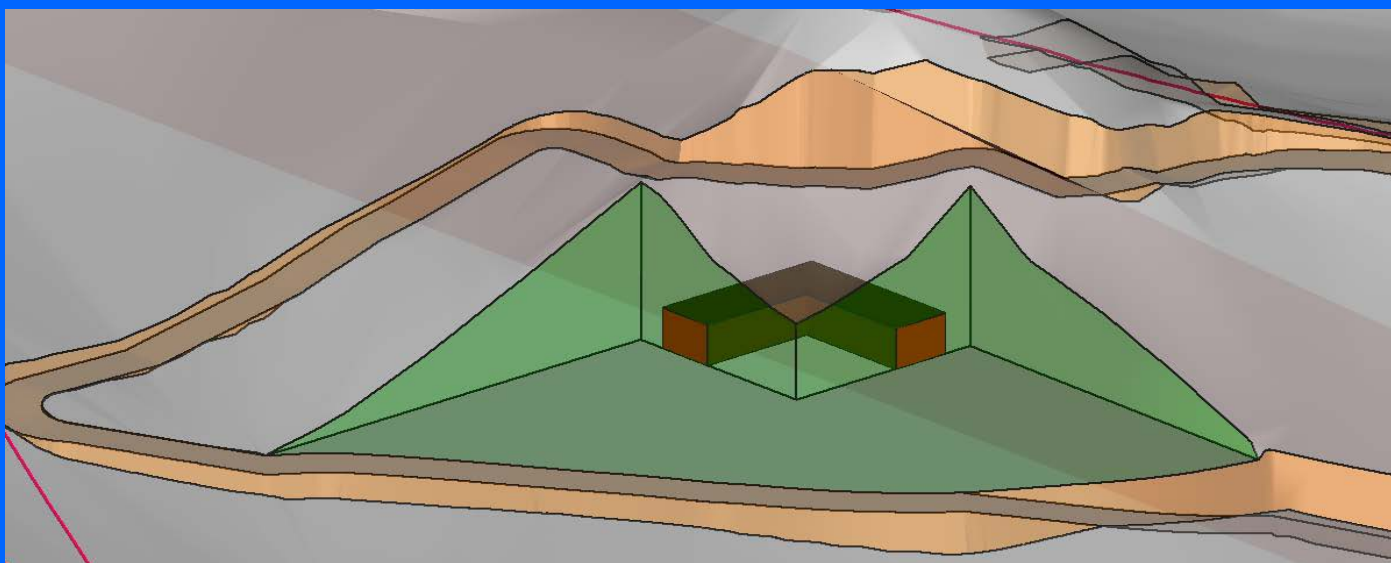
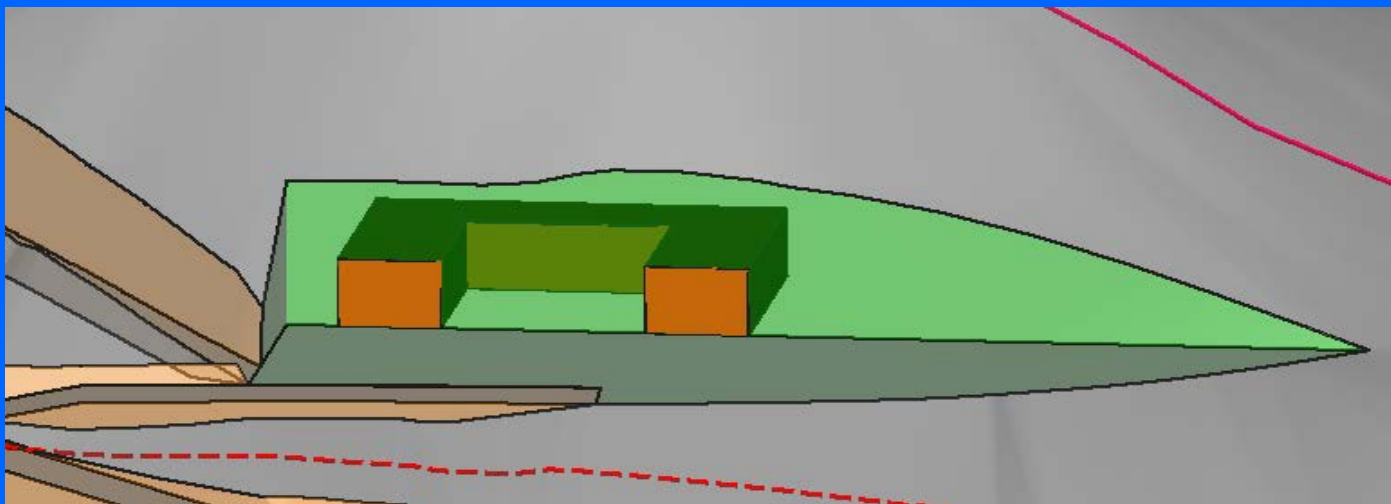
Slika 8.3.54 Prostorni položaj (3D) osnovnih sustava diskontinuiteta u ležištu



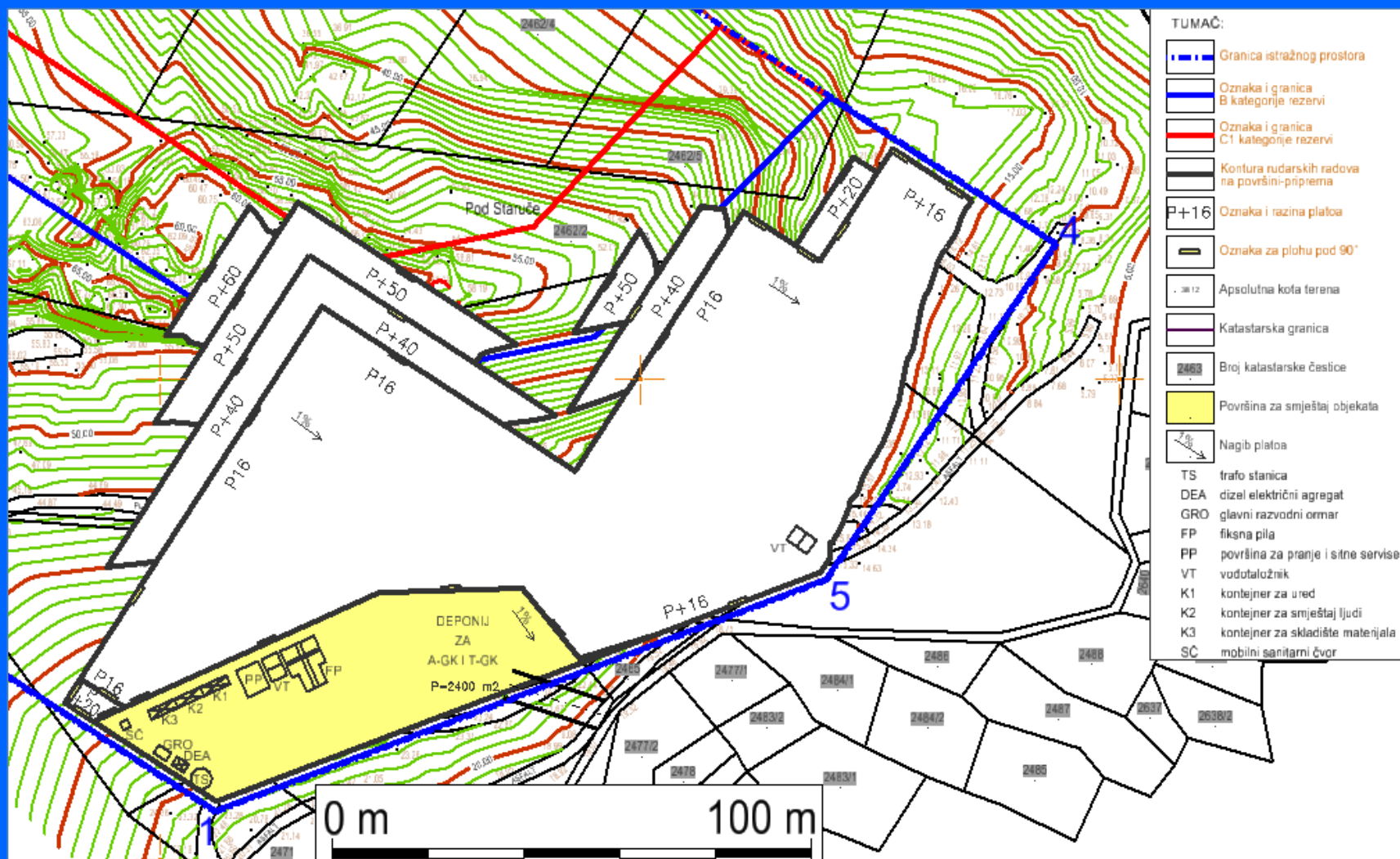
Slika 8.3.55 Prikaz geološkog modela ležišta a-gk



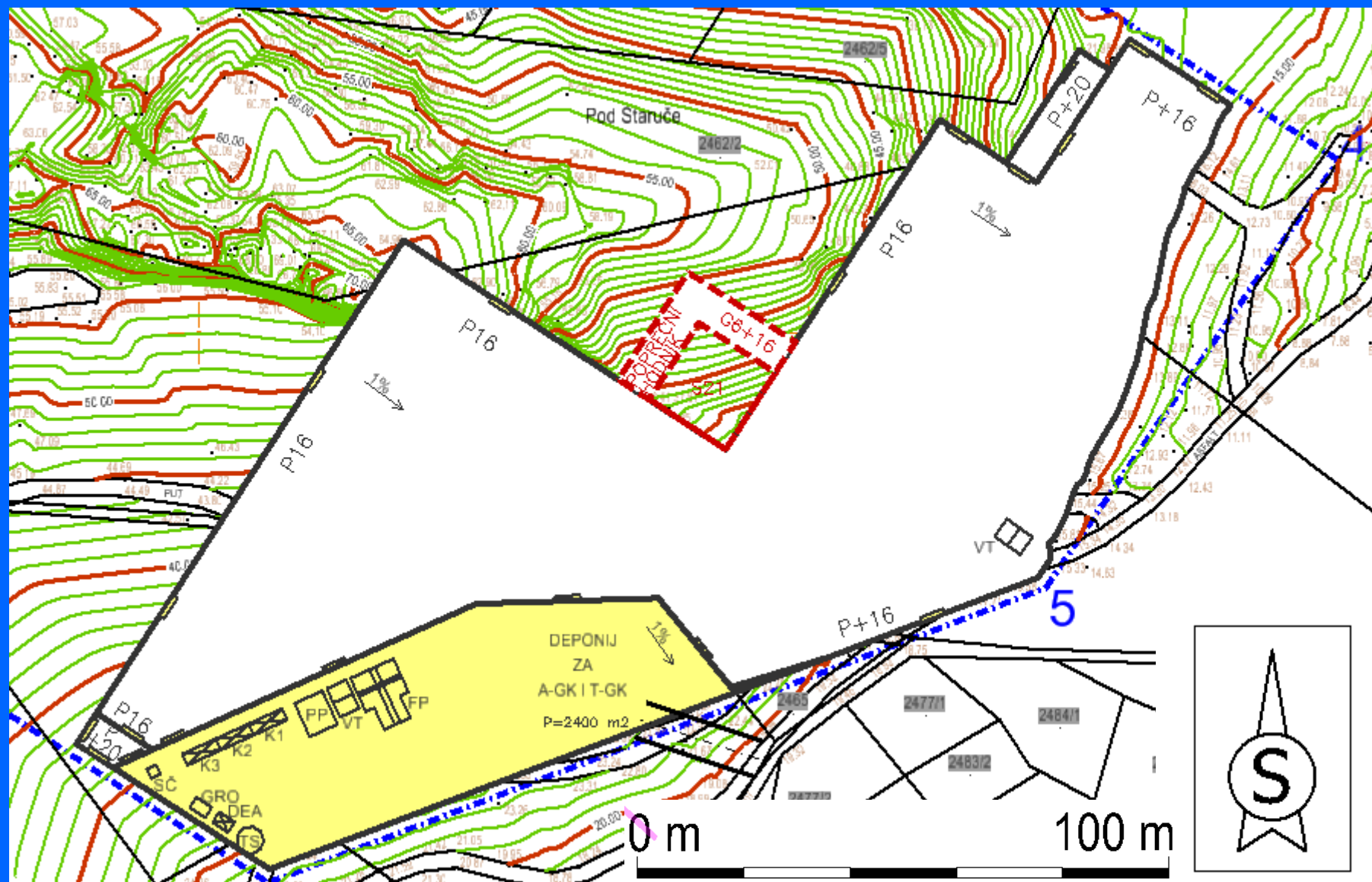
Slika 8.3.56 Jezgre iz strukturne istražne bušotine B-9



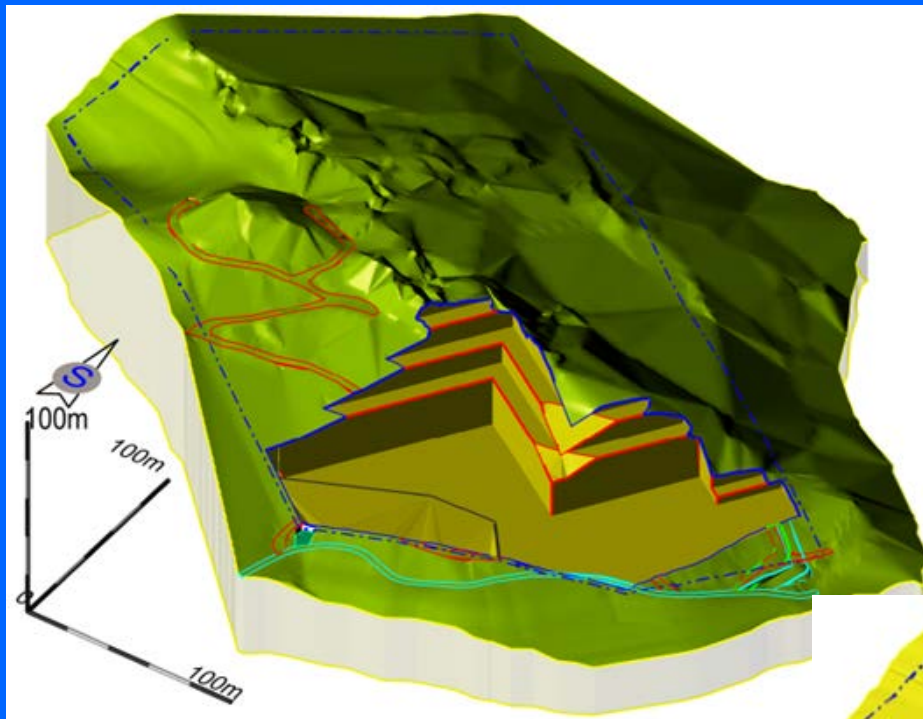
Slika 8.3.57 Istražni usjeci i probne galerije



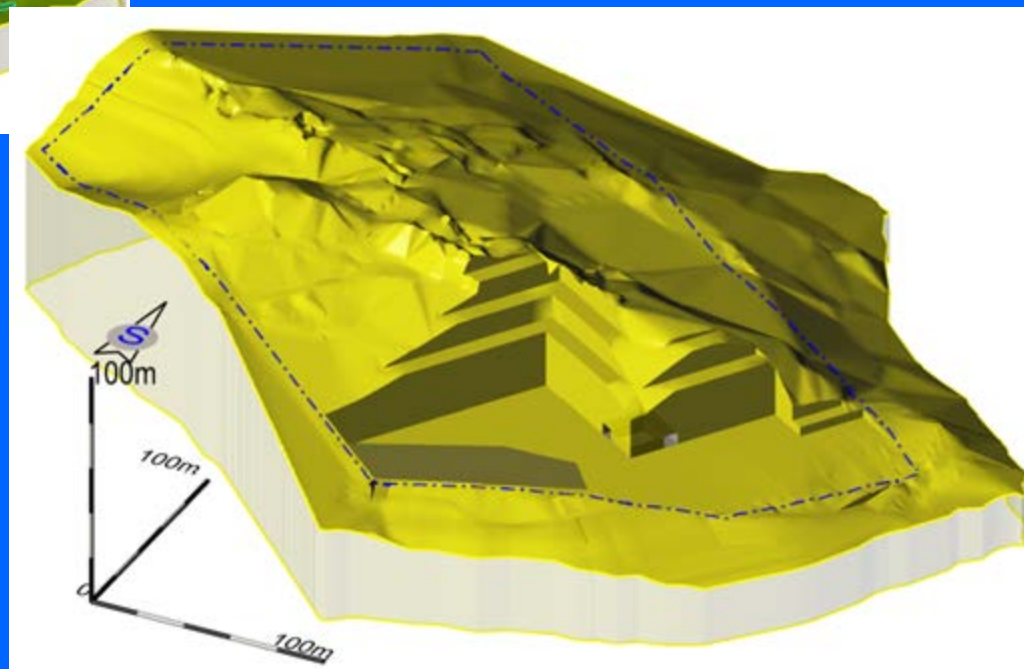
Slika 8.3.58 Idejno rješenje prve faze podzemne eksploatacije – pripremni plato



Slika 8.3.59 Idejno rješenje prve faze podzemne eksploatacije
– otvaranje jedne galerije

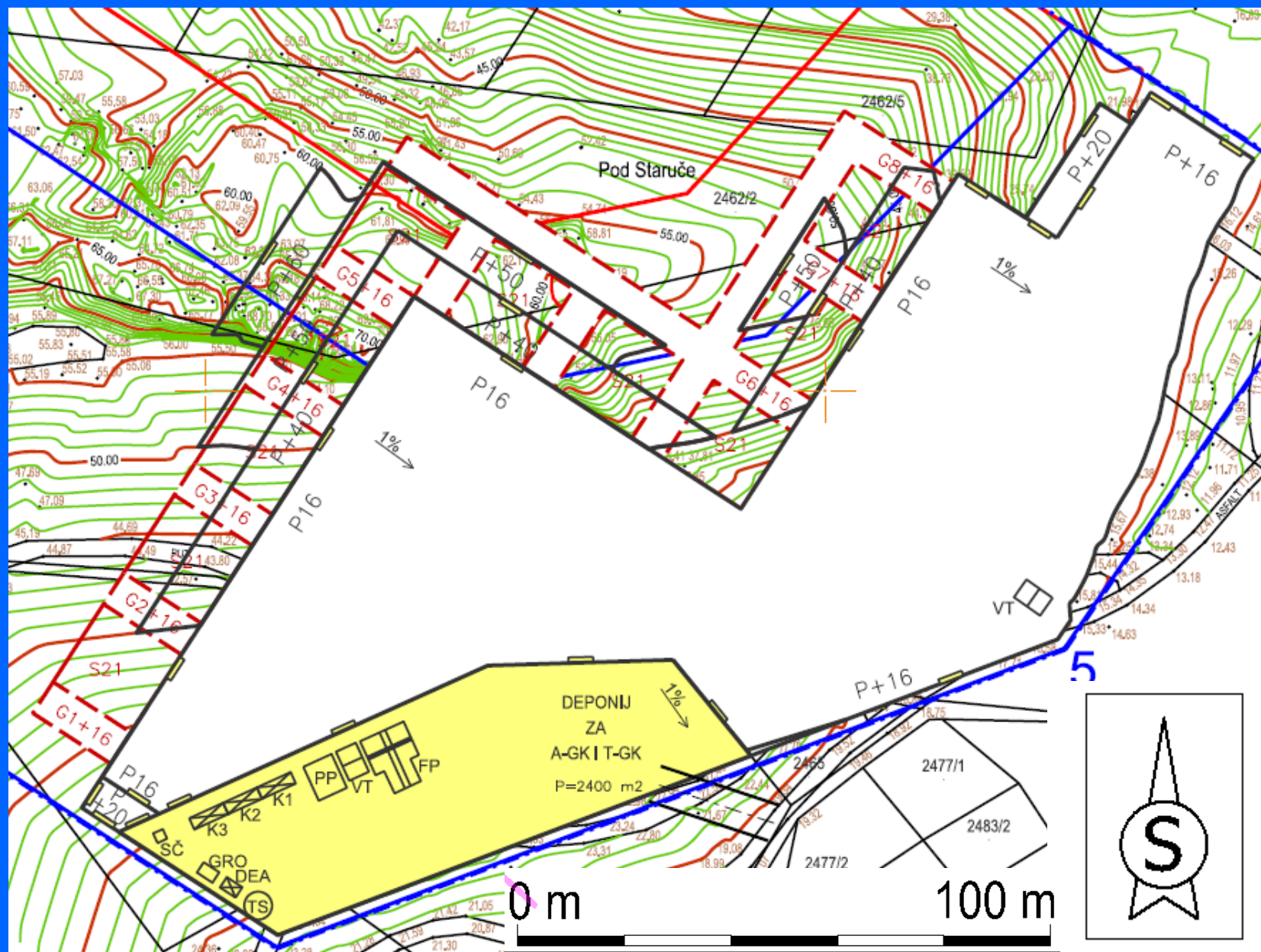


pripremni plato

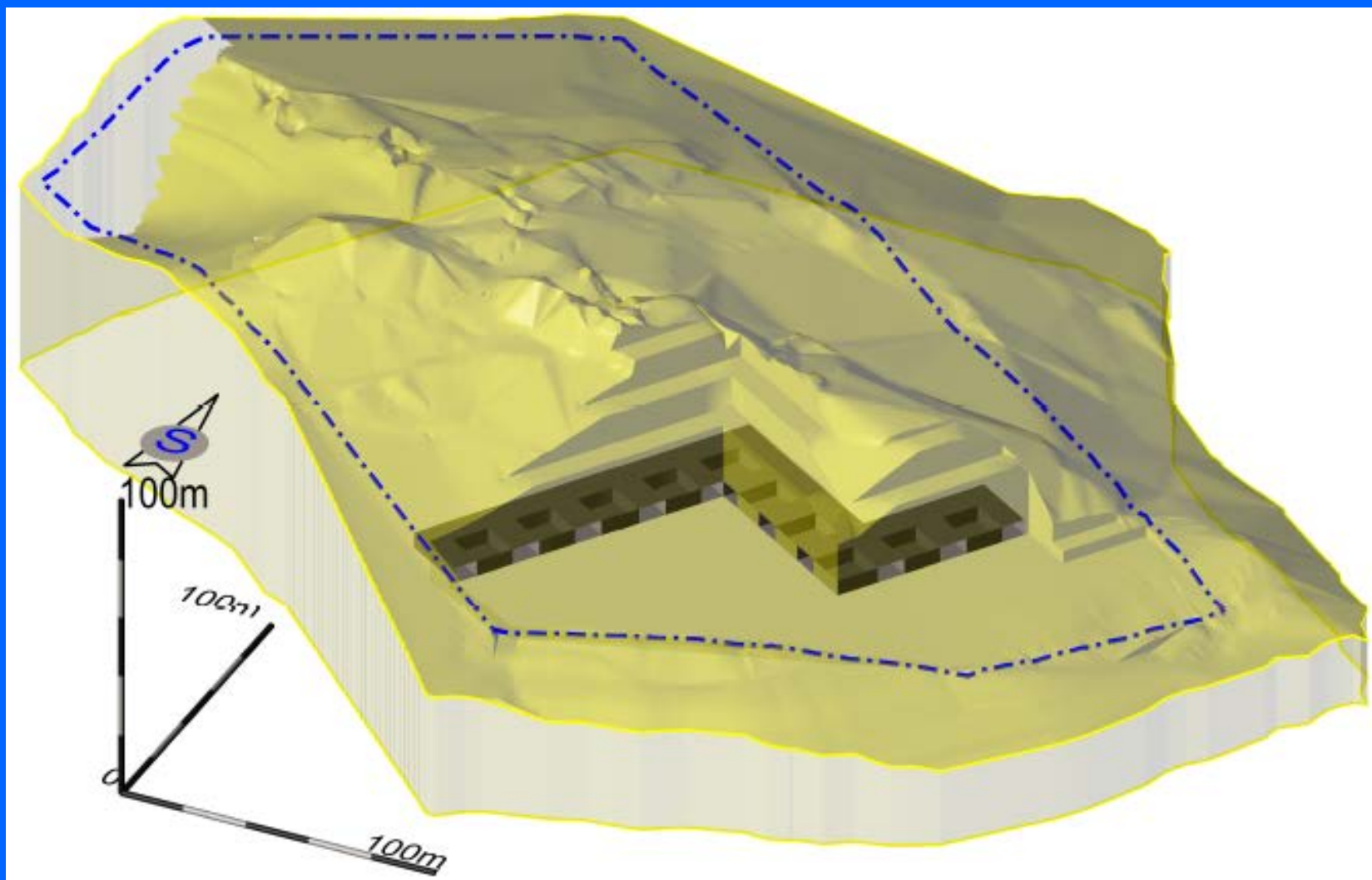


otvaranje jedne galerije

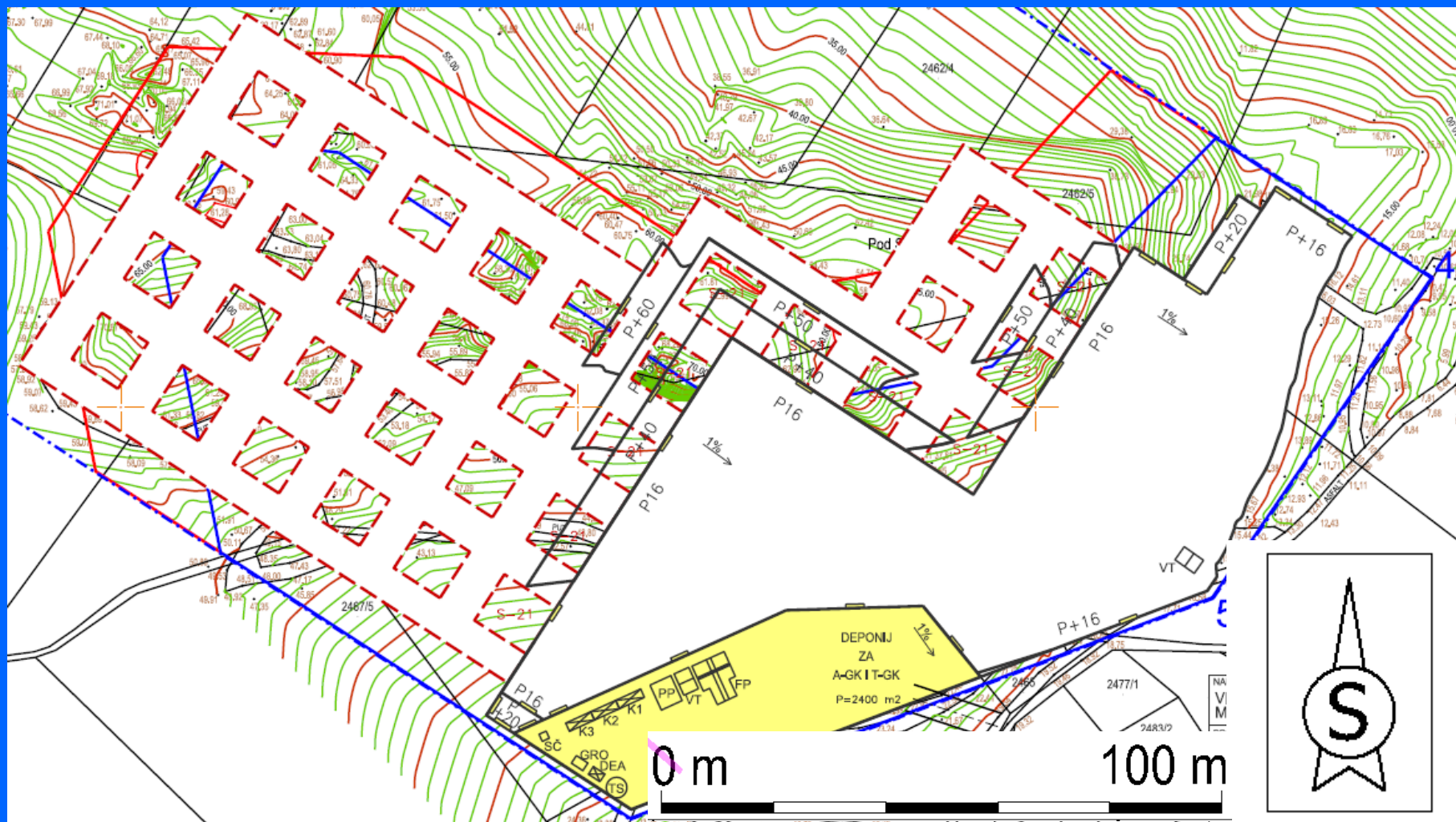
Slika 8.3.60 3D model prve faze podzemne eksploatacije – otvaranje jedne galerije



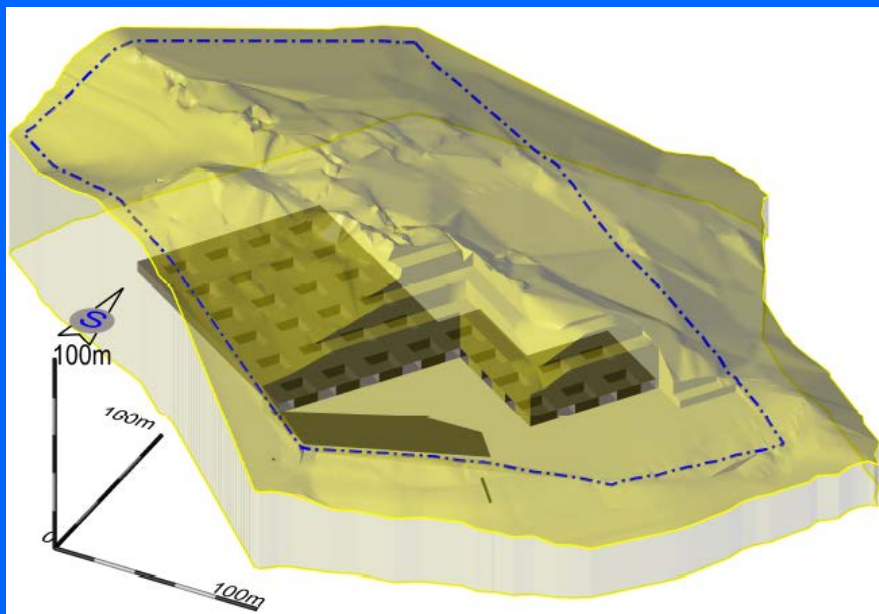
Slika 8.3.61 Idejno rješenje druge faze podzemne eksploatacije – otvaranje svih galerija



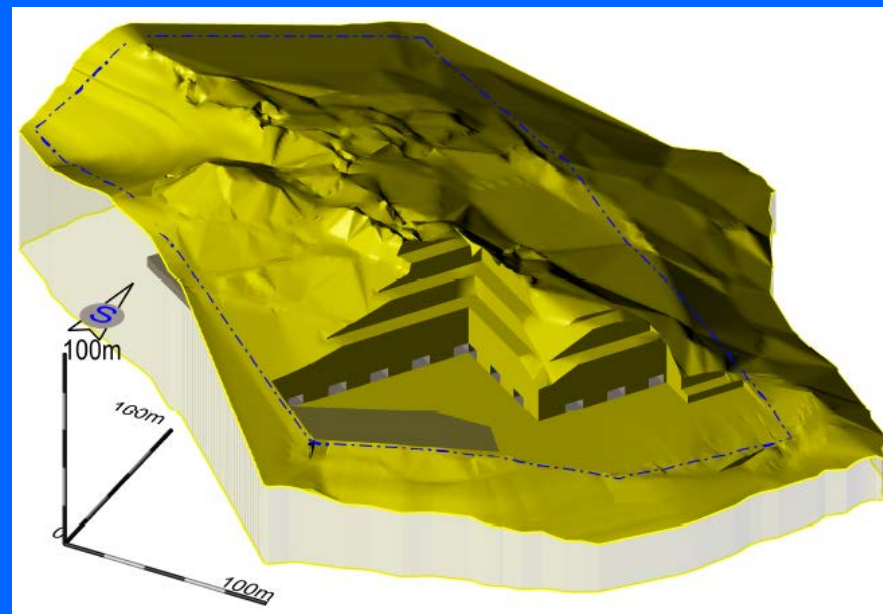
Slika 8.3.62 3D model otvaranja svih galerija



Slika 8.3.63 Idejno rješenje treće faze podzemne eksploatacije
– razvoj svih galerija na razini +16 m



prozirni pogled galerija

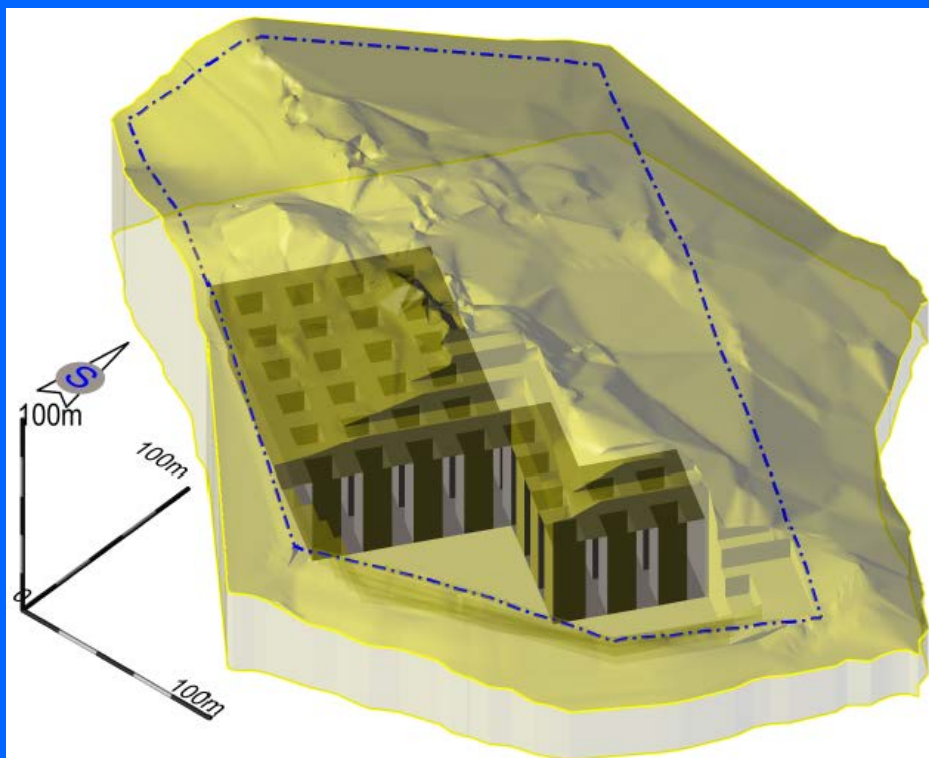


stvarni pogled galerija

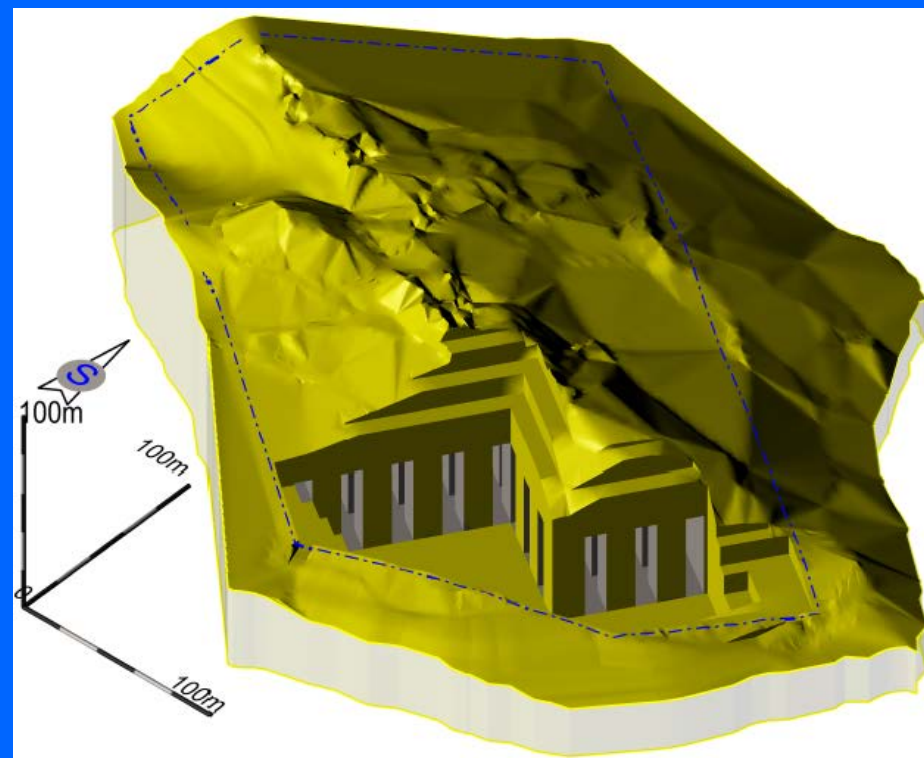
Slika 8.3.64 3D model razvoja svih galerija na +16 m



Slika 8.3.65 Idejno rješenje završne faze podzemne eksploatacije
– razvoj svih galerija na razini -20 m

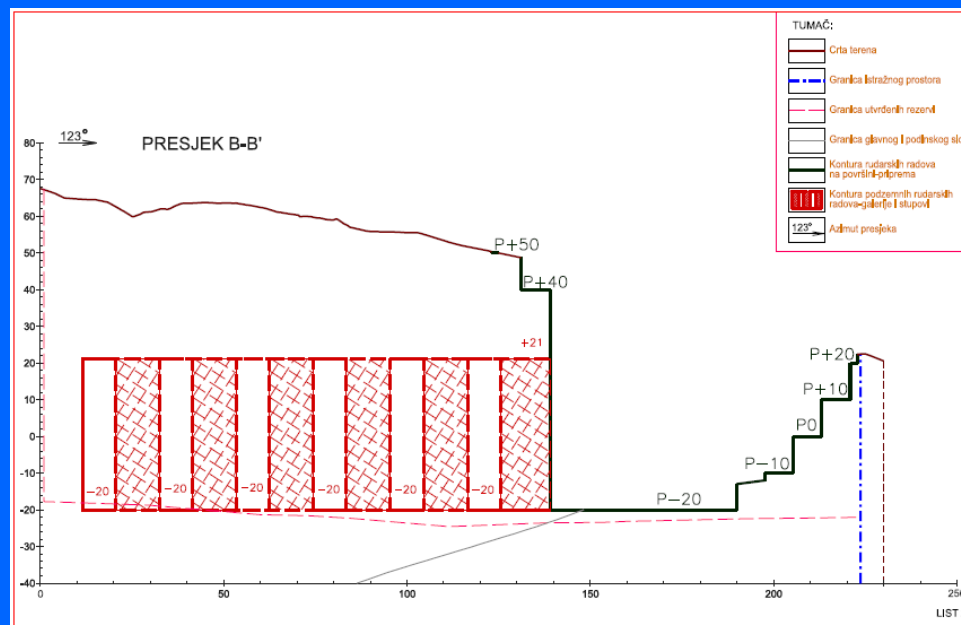
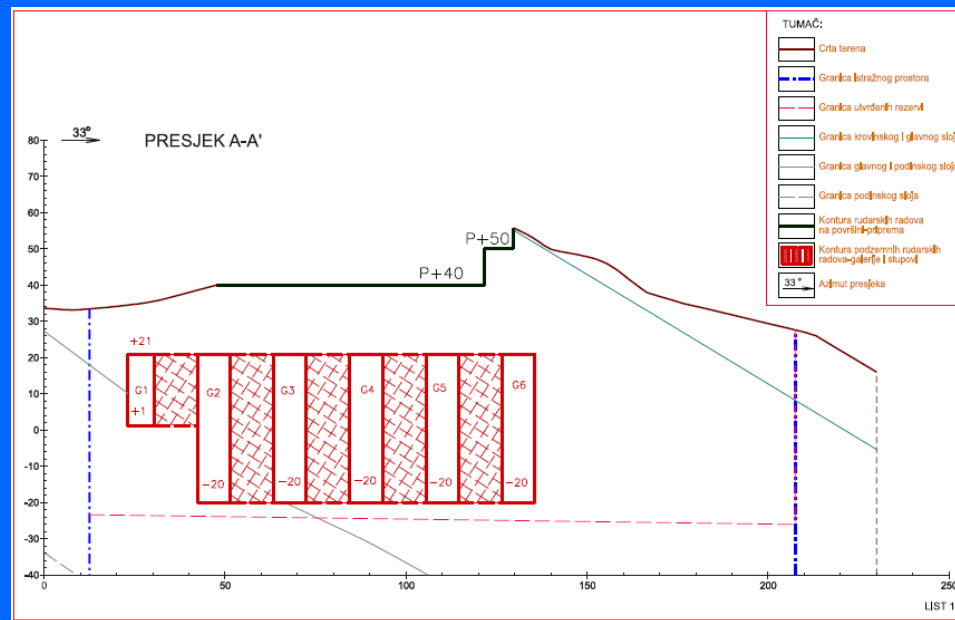


prozirni pogled galerija



stvarni pogled galerija

Slika 8.3.66 3D model razvoja svih galerija na -20 m



Slika 8.3.67 Poprečni presjeci galerija-završna faza