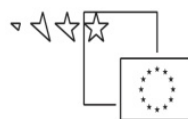




REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA ŠOLSTVO IN ŠPORT



Naložba v vašo prihodnost
OPERACIJO DELNO FINANCIRA EVROPSKA UNIJA
Evropski socialni sklad

MINIRANJE V RUDARSTVU IN GRADBENIŠTVU

BOGDAN MAKOVŠEK

Višješolski strokovni program: Geotehnologija in rudarstvo

Učbenik: Miniranje v rudarstvu in gradbeništvu

Gradivo za 1. letnik

Avtor:

mag. Bogdan Makovšek
Šolski center Velenje
Višja strokovna šola



Velenje, 2008

© Avtorske pravice ima Ministrstvo za šolstvo in šport Republike Slovenije.

Gradivo je sofinancirano iz sredstev projekta Impletum Uvajanje novih izobraževalnih programov na področju višjega strokovnega izobraževanja v obdobju od 2008 do 2011.

Projekt oziroma operacijo delno financira Evropska unija iz Evropskega socialnega sklada in Ministrstvo RS za šolstvo in šport. Operacija se izvaja v Operativnem programu razvoja človeških virov za obdobje od 2007 do 2013, razvojne prioritete Razvoj človeških virov in vseživljenjskega učenja in prednostne usmeritve Izboljšanje kakovosti in učinkovitosti sistemov izobraževanja in usposabljanja.

Vsebina tega dokumenta v nobenem primeru ne odraža mnenja Evropske unije. Odgovornost za vsebino dokumenta nosi avtor.

KAZALO VSEBINE:

1	UVOD V MINIRANJE	1
2	RAZSTRELIVA	2
2.1	UVOD.....	2
2.2	HITROST IZGOREVANJA.....	2
2.3	SUROVINE, KI SE UPORABLJAJO V PROIZVODNJI GOSPODARSKIH RAZSTRELIV	2
2.3.1	Amonijev nitrat NH_4NO_3	2
2.3.1.1.	<i>Topnost amonijevega nitrata v odvisnosti od temperature</i>	<i>3</i>
2.3.2	Natrijev nitrat NaNO_3	4
2.3.3	Trinitrotoluen.....	4
2.3.4	Lesno žaganje	5
2.3.5	Vretensko olje.....	6
2.3.6	Kuhinjska sol	6
2.4	DELOVNE OPERACIJE PRI IZDELAVI GOSPODARSKIH RAZSTRELIV	7
2.4.1	Drobljenje in tehtanje amonijevega nitrata.....	7
2.4.2	Tehtanje TNT-ja	7
2.4.3	Priprava žaganja	7
2.4.4	Sušenje CMC (karboksitnetilceluloza).....	8
2.4.5	Drobljenje in sušenje ksilita	8
2.4.6	Doziranje surovin	8
2.4.7	Predelava surovin v kolodrobu	8
2.4.8	Počivališče razstreliva (hlajenje).....	9
2.4.9	Drobljenje razstreliva	9
2.4.10	Patroniranje razstreliv	9
2.4.11	Pakiranje razstreliva	10
2.5	ANFO RAZSTRELIVA	10
2.6	VODOPLASTIČNA RAZSTRELIVA	11
2.6.1	Priprava surovin za vodoplastična razstreliva	11
2.6.1.1.	<i>Izdelava vodoplastičnih razstreliv.....</i>	<i>11</i>
2.6.1.2.	<i>Patroniranje in pakiranje vodoplastičnih razstreliv</i>	<i>12</i>
2.7	TEHNIČNE LASTNOSTI RAZSTRELIV	12
2.8	SREDSTVA ZA VŽIGANJE RAZSTRELIV	14
2.8.1	Počasi goreča vžigalna vrstica.....	14
2.8.2	Detonacijska vžigalna vrstica.....	15
2.8.3	Vžigalna kapica	16
2.8.4	Električni detonatorji	16
2.8.5	Busterji	17
2.9	PRIBOR ZA AKTIVIRANJE ELEKTRIČNIH DETONATORJEV	18
2.9.1	Električni vžigalni strojček.....	18
2.9.2	Ohmmeter	19
2.9.3	Kabli za vžiganje min	21

2.9.4	Palica za polnjenje vrtin.....	21
2.9.5	Šilo za izdelavo lukenj v patrone	21
2.10	POVZETEK.....	22
2.11	VPRAŠANJA ZA OBNOVITEV ZNANJA.....	22
3	OPIS IN UPORABA NEELEKTRIČNEGA INICIALNEGA SISTEMA	23
3.1	UVOD.....	23
3.1.1	Nonel detonator.....	23
3.1.2	Vžigalna cevka.....	23
3.1.3	Detonator.....	24
3.1.4	Konektorji	24
3.1.5	Sponke.....	24
3.1.6	Vžigalna naprava za NONEL detonatorje	25
3.2	UPORABA NONEL SISTEMA	25
3.2.1	Prednosti NONEL detonatorjev	25
3.2.1.1.	<i>Varnostne prednosti</i>	25
3.2.1.2.	<i>Ekološke prednosti</i>	25
3.2.1.3.	<i>Tehnološke prednosti</i>	26
3.2.2	Glavna področja uporabe NONEL detonatorjev.....	26
3.3	POVZETEK.....	27
3.4	VPRAŠANJA ZA OBNOVITEV ZNANJA.....	27
4	VRTANJE MINSKIH VRTIN.....	28
4.1	UVOD	28
4.2	UDARNO VRTANJE	29
4.3	ROTACIJSKO VRTANJE.....	30
4.4	UDARNO ROTACIJSKO VRTANJE.....	31
4.4.1	Osnove udarno – rotacijskega vrtnja.....	32
4.5	POVZETEK	34
4.6	VPRAŠANJA ZA OBNOVITEV ZNANJA	34
5	OSNOVE MINIRANJA	35
5.1	UVOD	35
5.2	VRTANJE MINSKIH VRTIN	35
5.3	PROSTA PLOSKEV	35
5.4	IZBOJNICA	35
5.5	PRIPRAVA UDARNEGA NABOJA	36
5.5.1	Polnjenje minskih vrtin	36
5.5.2	Mašenje minskih vrtin.....	36
5.5.3	Vezava minskega polja	37
5.6	NAČINI Odstreljevanja.....	40
5.6.1	Splošni model za načrtovanje razstreljevalnih del.....	41
5.6.2	Razstreljevanje s kratkimi minskimi vrtinami	41
5.6.3	Razstreljevanje dolgih minskih vrtin	42
5.6.4	Napake pri odstreljevanju	44
5.6.5	Shranjevanje in uničevanje razstrelilnih sredstev	45
5.6.6	Varnost pri delu z eksplozivnimi sredstvi.....	45
5.7	NEVARNOSTI PRI MINIRANJU	46
5.7.1	Potres.....	46
5.7.2	Razmet	47
5.7.3	Zračni udar	47
5.8	VPRAŠANJA ZA OBNOVITEV ZNANJA.....	47

6	KONTURNO MINIRANJE	48
6.1	UVOD.....	48
6.2	PREDHODNO LOMLJENJE (PRE-CUTTING BLASTING).....	48
6.2.1	Predminiranje ali predlomljenje	49
6.2.2	Teorija predminiranja	50
6.2.2.1.	<i>Praktično izvajanje predminiranja.....</i>	<i>53</i>
6.3	GLADKO LOMLJENJE (SMOOTH BLASTING).....	54
6.3.1	Gladko miniranje.....	54
6.3.2	Dušeno miniranje (cushion blasting).....	55
6.3.3	KOMBINIRANO KONTURNO MINIRANJE	57
6.4	POVZETEK	58
6.5	VPRAŠANJA ZA OBNOVITEV ZNANJA	58
7	UPORABA PRE-SPLITTINGA IN GLADKEGA MINIRANJA V TUNELOGRADNJI.....	59
7.1	UVOD.....	59
7.2	VPLIVNI OBSEG OBMOČJA RAZSTRELJEVANJA	59
7.2.1	Pre-splitting razstreljevanje	60
7.2.2	Gladko razstreljevanje (miniranje).....	61
7.2.3	Podzemni prostor (izdelava zaloma)	62
7.3	VPRAŠANJA ZA OBNOVITEV ZNANJA	66
8	RUŠENJE ZGRADB Z MINIRANJEM	67
8.1	UVOD.....	67
8.2	SPLOŠNA NAČELA RUŠENJA GRADBENIH KONSTRUKCIJ Z RAZSTRELJEVANJEM.....	67
8.2.1	Parametri, ki vplivajo na določitev količine razstreliva za porušitev objekta	68
8.2.2	Učinkovitost razstreljevanja – medsebojne vrednosti	69
8.2.3	Empirični izračun geometričnih parametrov in količine razstreliva za porušitev	69
8.2.4	Prednosti rušenja z razstreljevanjem	77
8.2.5	Slabe strani rušenja z razstreljevanjem.....	77
8.2.6	Varnostne mere pri rušenju z razstreljevanjem	77
8.3	RUŠENJE DIMNIKOV IN STOLPOV	77
8.3.1	Usmerjeno razstreljevanje s popolnim padcem.....	78
8.3.2	Usmerjeno razstreljevanje z omejenim padcem	78
8.3.3	Razstreljevanje s sesedanjem.....	79
8.4	POVZETEK	79
8.5	VPRAŠANJA ZA OBNOVITEV ZNANJA	79
9	PODVIDNO MINIRANJE.....	80
9.1	UVOD.....	80
9.2	VRTANJE IN POLNJENJE VRTIN POD VODO IZ SPLAVA	81
9.3	VRTANJE S POMOČJO POTAPLJAČEV.....	81
9.4	POLAGANJE KUMULATIVNIH MIN	82
9.4.1	Kumulativno polnjenje	82
9.5	VRTANJE IN POLNJENJE VRTIN SKOZI NASUTI MATERIAL.....	83
9.6	ZAŠČITNI UKREPI ZA UMIRITEV UDARNIH VALOV	83
9.7	POVZETEK	85
9.8	VPRAŠANJA ZA OBNOVITEV ZNANJA	85
10	UPORABA SPECIALNIH TEHNIK MINIRANJA	86
10.1	UVOD.....	86

10.2	MASOVNI Odstrel v kamnolomu kamenih agregatov	86
10.3	Rušenje AB pregrade v sklopu izgradnje nove hidroelektrarne.....	87
10.4	Poglabljanje struge v okviru izkoristka obstoječe hidroelektrarne.....	87

KAZALO SLIK:

Slika 1: Trauzlov možnar	13
Slika 2: Počasi goreča vžigalna vrstica in način pakiranja.....	15
Slika 3: Detonacijska vžigalna vrstica	15
Slika 4: Serija milisekundnih električnih detonatorjev.....	17
Slika 5: Buster	18
Slika 6: Dva tipa ohmmetra	20
Slika 7: Kabli za vžiganje.....	21
Slika 8: NONEL detonatorji	23
Slika 9: Konektorji	24
Slika 10: Vrtalna dleta	31
Slika 11: Shema izbojnice	32
Slika 12: Različne vrste zalomov	33
Slika 13: Različne vezave minskega polja z detonacijsko vrstico	37
Slika 14: Zaporedna vezava minskega polja	39
Slika 15: Vzoredna vezava minskega polja.....	39
Slika 16: Kombinirana vezava minskega polja	40
Slika 17: Razporeditev vrtin pri odstreljevanju v jami.....	43
Slika 18: Konturno miniranje z linijskim vrtanjem in eksplozivnim polnjenjem	49
Slika 19: Shematski prikaz razpoke.....	49
Slika 20: Primer varovanja objekta	50
Slika 21: Eksploziv za predminiranje.....	53
Slika 22: Dušeno – linijsko miniranje, dušeno miniranje z vrtinami različnih premerov	55
Slika 23: Konturno miniranje	55
Slika 24: Izkop gradbene jame	56
Slika 25: Konstrukcija eksplozivne polnitve pri dušenem miniranju.....	56
Slika 26: Žlebičenje	57
Slika 27: Razstrelivo za konturna miniranja.....	60
Slika 28: Prikaz minskih vrtin pri uporabi pre-splitting metode razstreljevanja.....	60
Slika 29: Shematski prikaz proste ploskve	61
Slika 30: Primerjava med gladkostjo brežine izdelane s pomočjo pre-splitting metode.....	62
in brez nje	62
Slika 31: Shematski prikaz minske sheme pri miniranju celega profila jamskega prostora	63
Slika 32: Faze večanja prostih ploskev profila pri pre-splitting metodi miniranja tunelov	65
Slika 33: Usmerjanje zgradbe ob priliki rušenja z miniranjem	69
Slika 34: Potek porušitve zidov	71
Slika 35: Primer geometrije vrtanja in polnitve.....	72
Slika 36: Vrtanje armirano betonskih stebrov	74
Slika 37: Polnitev gredi	76
Slika 38: Jekleni profil.....	76
Slika 39: Primer rušenja opečnega dimnika s premikom težišča	78
Slika 40: Razstreljevanje s sesedanjem	79
Slika 41: Splav, opremljen za podvodno vrtanje.....	81
Slika 42: Podvodno razstreljevanje	81
Slika 43: Princip dejstva kum. polnjenja in primerjava delovanja različnih pristopov minir. .	82
Slika 44: Princip vrtanja skozi nasip in cevitev vrtine	83
Slika 45: Varovanje pred udarnim valom.....	84

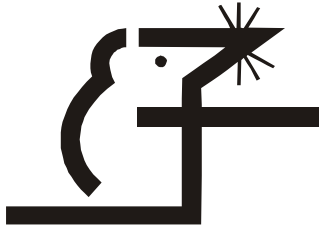
KAZALO GRAFOV:

Graf 1: Vpliv sile pritiska na dleto, na hitrost vrтанja.....	30
Graf 2: Vpliv pritiska na hitrost vrтанja.....	31
Graf 3: Naraščanje dinam. pritiska p na steno vrtine kot funkcija časa po aktiviranju mine ..	50
Graf 4: Potek udarnega vala v odvisnosti prenese kamnino iz stisljivega v raztežno stanje ...	51
Graf 5: Hipotetični prikaz dinamike predminiranja.....	51

KAZALO TABEL:

Tabela 1: Detonacija eksploziva glede na višino padajoče uteži.....	13
Tabela 2: Poraba razstreliva.....	42
Tabela 3: Praktični parametri za predminiranje.....	52
Tabela 4: Praktični parametri za predminiranje.....	53
Tabela 5: Osnovni parametri rušenja z eksplozivi.....	70
Tabela 6: Parametri za rušenje zidu.....	70
Tabela 7: Parametri za rušenje betoniranih zidov.....	72
Tabela 8: Parametri za rušenje beton. stene zalite v temelj (vertikalne vrtine, dolžine $\geq 1,5$)	73
Tabela 9: Parametri za rušenje betonskih plošč.....	75
Tabela 10: Parametri za rušenje stropov.....	75

1 UVOD V MINIRANJE



Od vseh eksplozivnih materialov je bil najprej poznan črni smodnik, to je mehanična zmes kalijevega nitrata, žvepla in oglja. Po odkritju črnega smodnika so ga 300 let uporabljali samo v vojne namene.

Šele okoli leta 1627 je tirolski rudar Kasper Weindl izvršil prve preizkuse miniranja s črnim smodnikom v nekem madžarskem rudniku. Ker je miniranje s črnim smodnikom pokazalo velike prednosti v primerjavi z ročnim delom, so

ga začeli takoj uporabljati kot razstrelivo.

Toda razvoj je šel naprej in že leta 1832 so Francozi odkrili nitrocelulozo, iz katere so kasneje začeli izdelovati tako imenovane brezdimne smodnike.

V zgodovini rudarskih razstreliv je pomemben datum 15. februar 1847, ko so objavili nitroglicerina. 20 let pozneje se je posrečilo A. Nobelu najti način, kako spraviti nitroglicerin v stanje, v katerem se ta lahko uporablja za miniranje. Alfred Nobel je odkril tudi strelno kapico (detonator), s katero so lahko na osnovi nitroglicerina pripravljena razstreliva pripravili do detonacije.

Ob koncu 19. stoletja so bila odkrita tudi skoraj vsa ostala razstreliva, ki so jih uporabljali v obeh svetovnih vojnah, kot so trinitrotoluol (TNT), pentrit in heksogen, ki je v drugi svetovni vojni odigral pomembno vlogo kot najmočnejše klasično razstrelivo.

Med drugo svetovno vojno so v laboratorijih ZDA in SZ začeli z raziskovanji, kako izkoristiti ogromne energije, ki so nastale pri celjenju atomskega jedra U-235. Delo na tem področju je bilo zelo intenzivno in je pripeljalo do atomskih bomb, katerih prva je bila preizkušena 16. julija 1945 v puščavi Alamogarda v Novem Mexicu, drugi dve pa sta že sejali smrt med Japonci (avgusta 1945 so jih vrgli na Hirošimo in Nagasaki) (*povzeto po Belšak, str. 4, 1978*).

2 RAZSTRELIVA

2.1 UVOD



Razstreliva so zmesi kemičnih spojin, ki so nevarna pri ravnanju z njimi in se pri vžigu na enem mestu hitro razkrajajo v plin ter pri tem razvijajo velike količine toplote. Razkroj se od mesta vžiga hitro prenaša na vso neomejeno količino eksploziva.

V poglavju so predstavljene glavne vsebine s področja razstreljevanja in sicer, vrste razstreliv, delovne operacije pri procesu razstreljevanja, tehnične lastnosti razstreliv ter pribori za vžiganje.

2.2 HITROST IZGOREVANJA

Vsa eksploziva ne eksplodirajo enako hitro in to s pridom izkoriščamo pri praktični uporabi. Glede na hitrost izgorevanja ločimo:

- ❖ deflagrantna razstreliva
- ❖ brizantna razstreliva

Deflagrantna razstreliva izgorevajo s hitrostjo manjšo od 1000 m/s (črni smodnik 400 m/s).

Brizantna razstreliva izgorevajo s hitrostjo, večjo od 1000 m/s (amonitrat 4000 m/s, dinamit do 6000m/s).

Deflagrantna razstreliva kamnino razrivajo, brizantna pa jo zdrobijo.

Deflagracija je eksotermični proces, pri katerem je prenos reakcije predvsem na termični prevodnosti razstreliva, hitrost napredovanja deflagracijske fronte je manjša od 1000 m/s.

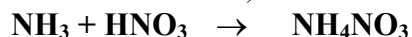
Detonacija je fizikalno – kemični proces, za katerega je značilna velika reakcijska hitrost in velika količina plinov z visoko temperaturo in veliko silo.

2.3 SUROVINE, KI SE UPORABLJAJO V PROIZVODNJI GOSPODARSKIH RAZSTRELIV

2.3.1 Amonijev nitrat NH₄NO₃

Amonijev nitrat je sol dušikove kisline (HNO₃) in amoniaka (NH₃). Pridobivamo ga na način, da pustimo učinkoviti solitrno kislino na amoniak v plinskem stanju ali v raztopini.

Kemična enačba za pridobitev amonijevega nitrata iz amoniaka je naslednja (*povzeto po Belšak, 1978, str. 15*):



Poleg za razstreliva se uporablja v veliko večji meri kot sestavina umetnih gnojil, kjer služi zato, da pospeši rast rastlin.

Če si hočemo ogledati vlogo amonijevega nitrata v razstrelivih, moramo najprej poznati njegove kemične in fizikalne lastnosti.

Amonijev nitrat je bela kristalična snov, ki je zelo higroskopna, to se pravi, da v vlažnem ozračju pritegne vodo, oz. vlago, ki se v ozračju nahaja, nase v taki meri, da se sol, t.j. amonijev nitrat stopi. Ta pojav higroskopnosti, kot ga s tujko imenujemo, je zelo važen in povzroča, kot bomo videli pozneje, velike težave pri proizvodnji amonitratnih razstreliv, t.j. strjevanje.

Kot to vsakodnevno pri praktičnem delu opazamo, se amonijev nitrat zelo rad topi v vodi, saj je dovolj samo zračna vlaga, da se amonijev nitrat, ki ni proti vlagi zaščiten, stopi. Topnost amonijevega nitrata pa ni odvisna samo od količine vode, ki je za topljenje na razpolago, ampak tudi od temperature vode, ki topi amonijev nitrat.

2.3.1.1. Topnost amonijevega nitrata v odvisnosti od temperature

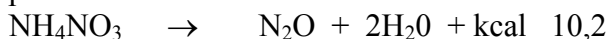
T (stopinj C)	0	12,2	25,4	30	36	40
g NH ₄ NO ₃ v 100 g vode	117,3	153,4	214,2	241,8	271,1	297

(povzeto po Božič, 1998, str. 9)

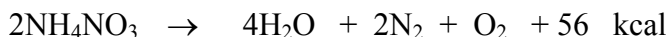
Kot je razvidno iz gornje tabele, se topnost amonijevega nitrata z naraščajočo temperaturo zelo poveča. Iz gornje tabele vidimo, da se pri 40 stopinj C stopi 2,5 krat več amonijevega nitrata kot pri 0 stopinj C.

Tudi ta pojav igra pri izdelavi razstreliv na bazi amonijevega nitrata važno vlogo, kot bomo slišali pozneje, ko bomo govorili o pridobivanju in lastnostnih razstreliv.

Kako se obnaša amonijev nitrat pri segrevanju? Pri segrevanju amonijevega nitrata od 90 – 100 stopinj C prične ta počasi izgubljati na teži, s povečanjem temperature na približno 170 stopinj C (tališče) se stopi. Pri nadaljnjem segrevanju substanca, t.j. amonijev nitrat razpade po enačbi:



S povečanjem temperature preko 310 stopinj C lahko razpad amonijevega nitrata poteče eksplozivno po enačbi:



Prednja enačba t.j. enačba eksplozivnega razpada je važna, ker po njej razpade amonijev nitrat tudi pri detonaciji razstreliva.

Če si enačbo malo natančneje ogledamo vidimo, da pri eksplozivnem razpadu amonijevega nitrata nastane tudi kisik. To je pa tudi zelo važno in eden od vzrokov, ki usposablajo amonijev nitrat kot sestavino razstreliv.

Kot bomo kasneje videli, imajo vse druge sestavine naših razstreliv negativno bilanco kisika, to se pravi, da za popolno zgorevanje rabijo več kisika, kot ga substanca sama vsebuje. Kaj pravzaprav razumemo pod bilanco kisika? Poznano je, da rabijo vse organske snovi za gorenje kisik, saj je zgorevanje pravzaprav samo spajanje organskih substanc s kisikom. Ker je tudi eksplozija v nekem smislu hitro zgorevanje sestavin razstreliva, je jasno, da snovi, ki se v sestavi razstreliva nahajajo, potrebujejo za gorenje kisik, če ga same nimajo dovolj. Snovem, ki se v naših razstrelivih nahajajo, da potreben kisik na razpolago amonijev nitrat, ki ima pozitivno bilanco kisika, to se pravi, da pri eksplozivnem razpadu po enačbi (2) na

razpolago kisik, ki se uporabi za oksidacijo (to je spajanje s kisikom) ostalih sestavin razstreliva, ki ga same ne vsebujejo v zadostni količini.

Do prve svetovne vojne so smatrali amonijev nitrat za nenevarno substanco. Toda težke nesreče, katere so nastale zaradi podcenjevanja njegovih eksplozivnih lastnosti, so kmalu privedle do cele vrste varnostnih ukrepov pri delu z njim.

Že poprej smo omenili obnašanje amonijevega nitrata pri segrevanju, iz katerega je bilo razvidno, da pri višjih temperaturah amonijev nitrat eksplozivno razpade z vsemi posledicami eksplozije. Nevarnost eksplozije je v toliko večja, v kolikor je pritisk okolice, v kateri se vrši razpad amonijevega nitrata, večji.

Zato je tudi prvi ukrep mera, ki ga je treba pri gašenju požarov v skladiščih, v katerih je amonijev nitrat povzeti, da se razbijejo okna, odprejo vrata, v cilju zmanjšanja pritiska pri razpadu nastalih plinov. Najboljše sredstvo za gašenje požarov so v tem primeru zadostne količine vode. Amonijev nitrat je občutljiv tudi napram udaru. Njegova občutljivost sicer ni tako velika kot občutljivost črnega smodnika ali trinitrotoluena, vendar ne smemo pozabiti, da se ga da z močnim udarcem pripraviti do detonacije.

Pri gorenju oz. razpadu amonijevega nitrata se razvijejo strupeni dušikovi oksidi, na kar moramo pri gašenju požarov paziti, t.j. pri gašenju moramo uporabljati masko. Amonijev nitrat detonira s hitrostjo 2000 – 3000 m/s, v odvisnosti od moči, s katero ga iniciramo. Če ga primerjamo z ostalimi razstrelivi, vidimo, da je nekaj slabši od metankamniktita.

2.3.2 Natrijev nitrat NaNO_3

Imenuje se tudi čilski soliter in sicer zato, ker se je v glavnem pridobival na zahodnih obalah južne Amerike, Argentini, Kaliforniji, kjer leži v zemeljskih plasteh v obliki izsušenih bazenov. Te plasti zemlje vsebujejo do 30 % natrijevega nitrata. Pridobiva pa se tako, da se te plasti zemlje razstrelijo, zdrobijo in nato izpirajo NaNO_3 , ki ga v posebnih bazenih prekrizalizirajo in s tem očistijo od drugih soli.

NaNO_3 kristalizira v belih kockastih kristalih, ki se v vodi izredno dobro topijo: 100 g vode pri 20 stopinj C stopi 80 g NaNO_3 . Pri 316 stopinj C razpade v kisik in NaNO_2 . V velikih količinah se rabi za umetna gnojila. Dobimo ga lahko sintetično iz dušikovih oksidov in natrijevega luga ali iz natrijevega sulfata, oz. klorida in solitrne kisline.

Pri nas smo ga v industriji razstreliv začeli uporabljati šele s pričetkom proizvodnje vodoplastičnih razstreliv. Dodajamo ga zato, ker nam poveča gostoto in uravnava bilanco kisika. On je namreč boljši nosilec kisika kot amonijev nitrat.

2.3.3 Trinitrotoluen

Trinitrotoluen je edino brizantno razstrelivo, katero vsebujejo kamniktit, da se poveča njih občutljivost napram iniciranju, brizanca zavaruje potreben prenos detonacije iz ene patrone razstreliva na drugo in poveča moč teh razstreliv.

Trinitrotoluen se dobi z nitriranjem toluena.

Toluen se dobi z destilacijo katrana, ki nastane pri koksanju črnega premoga. Poleg tega, da se uporablja za rudarska razstreliva, je trinitrotoluen najvažnejše vojaško razstrelivo, ker se sam ali v zmesi z amonijevim nitratom uporablja za polnjenje granat, bomb itd. Če TNT segrevamo, vidimo, da se ta v odvisnosti od čistoče topi pri 77 stopinj C - 80 stopinj C. TNT,

kateri se uporablja v vojne namene, mora imeti stališče pri 80 stopinj C, medtem ko lahko za izdelavo rudarskih razstreliv uporabljamo TNT, ki se tali že pri 77 stopinj C.

Poleg trdega TNT-ja pa poznamo tudi tekoči TNT, ki ga imenujemo tudi Triolje in je zmes izomer TNT-ja, ki pri nitriranju nastanejo.

Pri nadaljnjem segrevanju preko 100 stopinj C začne TNT razpadati, t.j. pri segrevanju se pojavijo strupeni dušikovi oksidi. Pri še višjih temperaturah TNT eksplodira.

TNT detonira pri gostoti $1,59\text{g/cm}^3$ s hitrostjo 6800 m/sek.

Je veliko bolj občutljiv napram udaru kot amonijev nitrat, detonira že, če pade nanj utež, težka 2 kg iz višine 80 cm.

Razširitev svinčenega bloka po Trauzlu znaša pri TNT-ju cca $285\text{ cm}^3/10\text{g}$.

TNT ima zelo negativno bilanco kisika, kar pomeni, da za zgorevanje sam ne vsebuje dovolj kisika in da mora v rudarskih razstrelivih dobiti kisik od neke druge substance, če hočemo, da pri eksploziji ne bi nastali toksični plini (npr. ogljikov monoksid in dušikovi oksidi)

V naših razstrelivih dobi kisik od amonijevega nitrata, ki je količinsko vzeto glavna sestavina naših razstreliv. Mešanica, ki vsebuje 80 % amonijevega nitrata in 20 % TNT-ja ima uravnoteženo bilanco kisika, to se pravi, da vsebuje za gorenje oziroma eksploziven razpad toliko kisika, kolikor se ga za oksidacijo prisotnih komponent rabi.

TNT ni higroskopnen, to se pravi, da ne vpija vlage iz vlažnega zraka.

TNT se pakira v zaboje, vreče ali sode. Pri pakiranju je treba paziti, da so zaboji oziroma sodi tako zaprti, da se luske TNT-ja ne raztrosijo po vagonu, kar predstavlja stalno nevarnost eksplozije.

Do zastrupitve s TNT-jem pride lahko z vdihavanjem le-tega.

Osnovni simptomi pri zastrupljanju s TNT-jem so glavobol, vrtoglavica, splošna slabost in izguba apetita. Povzroča tudi okvaro jeter, čeprav so pred vojsko mislili, da okvaro jeter povzroča samo tetranitrometan.

2.3.4 Lesno žaganje

Ker vsebujejo naša razstreliva v glavnem amonijev nitrat, za katerega vemo, da ima pozitivno bilanco kisika, to se pravi, da pri eksplozivnem razpadu poleg ostalih plinov nastane tudi kisik, lahko ta kisik uporabimo pri gorenju ostalih sestavin naših razstreliv. Iz tega razloga lahko dodajamo razstrelivu žaganje, ki ima negativno bilanco kisika. Žaganje poveča toplotni efekt razstreliva, poleg tega pa deluje tudi v smislu manjšanja strjevanja naših razstreliv.

Vpliv žaganja na strjevanje je dvojen:

- Poznano je, da se lahko suho žaganje do gotovega odstotka svoje teže navzame vode. Količina vlage, katero žaganje lahko vpije je tem večja, čim večja je površina žaganja (tj. čimbolj drobno je žaganje) in čimbolj suho je žaganje. Mi vemo, da je eden od vzrokov strjevanja naših razstreliv ta, da se amonijev nitrat stopi in da ta raztopina poveže posamezne delce amonijevega nitrata, kar napravi patrono trdo.

Vpliv žaganja na strjevanje naših razstreliv je torej v tem, da žaganje vpije del vode ter je na ta način na razpolago manj vode za topljenje amonijevega nitrata in s tem je tudi intenziteta strjevanja manjša.

- Žaganje tudi čisto mehansko preprečuje zlepljenje zrn amonijevega nitrata s tem, da se pri predelavi uvrsti med posamezna zrna tega. Žaganje vpliva tudi na gostoto razstreliva t.j. čim težji les uporabljamo, tem večja je gostota razstreliva in obratno.

2.3.5 Vretensko olje

Kakor žaganje, uporabljamo tudi vretensko olje zato, da se uporabi kisik, ki ga da pri eksplozivnem razpadu amonijev nitrat na razpolago.

Poleg tega naj bi vretensko olje tudi preprečilo prašenje razstreliva, česar pa s količinami, katere dodajamo sedaj, ne moremo doseči.

2.3.6 Kuhinjska sol

Kuhinjsko sol dobimo iz morja ali pa iz podzemeljskih skladov, od koder jo lahko dobimo na dva načina:

- ❖ na rudarski način,
- ❖ da sol v solnih slojih stopimo v vodi in slanico črpamo na površino, kjer vodo uparimo in dobimo na ta način čisto sol.

V razstrelivih dodajamo kuhinjsko sol samo metankamniktitu, t.j. razstrelivu, kateri se uporablja v metanskih rudnikih, kjer je eksploziven premogov prah in plin metan.

Sol dodajamo metankamniktitu zaradi tega, ker je izkustveno ugotovljena njena sposobnost za hlajenje vročih plinov, ki pri eksploziji nastanejo. S hlajenjem teh plinov se pa tudi zmanjša nevarnost eksplozije metana ali premogovega prahu.

Kuhinjska sol je higroskopna substanca – snov, čeprav sama sol ni tako higroskopna kot amonijev nitrat. Interesantno je to, da je sol v zmesi z amonijevim nitratom bolj higroskopna kot posamezne komponente, katere zmes sestavljajo.

Kuhinjska sol se tali pri 800 stopinj C in je zelo topna v vodi, pri 15 stopinj C se 65,6 g soli topi v 100 g vode.

Poleg naštetih osnovnih surovin za proizvodnjo razstreliv uporabimo še CMC ali karboksimetilcelulozo, ki je bela snov in jo je potrebno osušiti na minimalno vlago. CMC ima to lastnost, da vpija vodo iz vlažnega amonitrata in s tem preprečuje strjevanje razstreliva. CMC, pomešana z večjimi količinami vode, se uporablja tudi kot lepilo.

V proizvodnji razstreliv se uporablja še Ca-stearat, ki pa ima to lastnost, da preprečuje vstop zračne vlage ali vode v samo razstrelivo in s tem preprečuje strjevanje razstreliva, obenem jim pa daje lastnost obstojnosti v vlažnih in mokrih vrtnah.

2.4 DELOVNE OPERACIJE PRI IZDELAVI GOSPODARSKIH RAZSTRELIV

2.4.1 Drobljenje in tehtanje amonijevega nitrata

Najbolje je, da se amonitrat čim bolj zdrobi v čim finejšo granulacijo, kar omogoča med drugim tudi skrajšano obdelavo v kolodrobu.

Na splošno je zaželeno, da so vse surovine in razstreliva čim bolj zdrobljena v prah in suha.

Običajno se amonijev nitrat drobi na posebnih napravah, ki so sestavljene iz grobega mlina, kjer se najprej odstrani polietilenska embalaža in velike kepe zdrobijo na velikost oreha, nato pa v posebnih perplex mlinih najprej zmeljejo v fin prah.

Fino mleti amonitrat se nato tehta na avtomatski tehtnici za posamezne sarže.

V našem primeru to dvojno mletje še ni zadovoljivo rešeno in v glavnem zdrobimo (ročno) večje kepe v manjše, da ne motijo pri nadaljnji predelavi v kolodrobu in natehtamo skupaj z ostalimi surovinami v posebne prekucnike za vsak kolodrob posebej.

Nekatere surovine, kot so TNT in ksilit, se natehtajo skupaj z amonitratom v prekucnih in se istočasno stresejo v kolodrob, nekatere pa posebej in se dodajajo po določenem časovnem zaporedju, kot predvideva tehnološki postopek med obratovanjem kolodroba.

Ker je obvezno, da so vse surovine za razstrelivo brez primesi in tujkov, ki lahko povzročijo nesrečo, je potrebno paziti, da se eventualni tuji deli (kovine, itd.) odstranijo. Običajno se to doseže s sejanjem teh surovin, če so primerno mlete, lahko pa tudi z iskalcem kovin.

2.4.2 Tehtanje TNT-ja

Ker je TNT že v primerni granulaciji in suh, ga pred tehtanjem samo izstresamo iz jute vreč ali sodčkov v zalogovnik in ga ročno tehtamo v posebne posode, od koder se iztresa v prekucnike.

To delo se opravlja v posebnem ločenem prostoru.

2.4.3 Priprava žaganja

Za proizvodnjo razstreliv se uporablja žaganje iglavcev, ki ga dobimo na domači žagi.

Ker surovo žaganje vsebuje tudi preko 30 % vlage in veliko večjih delcev lesa in tudi druge tujke, ga je pred sušenjem potrebno presejati na grobi mreži.

Tudi za žaganje velja, da je najboljšo čim bolj suho in zdrobljeno žaganje, najboljša pa bi bila tako imenovana lesna moka, ki ima zelo majhno volumensko težo in čim več drobnih delcev na enoto volumna. Suho žaganje v razstrelivu služi kot gorivo, po drugi strani pa vpija vlago iz amonitrata in se pomeša med delce amonitrata in s tem preprečuje strjevanje razstreliva. Žaganje pa služi tudi za uravnavanje gostote razstreliva, ki je važen faktor za njegovo kvaliteto. Zaradi tega žaganje sušimo in meljemo.

Sušimo ga v sušilnicah na paro pri temperaturi približno 150 stopinj C. Čas sušenja je odvisen od vlage žaganja in stopnje vlage, do katere ga želimo osušiti. Dobro osušeno žaganje meljemo na posebnem mlinu, kjer se še od njega ločijo eventualni drobni tujki, fin prah pa

lovimo v ciklonu in ga skladiščimo v večjih pokritih pločevinastih sodih od koder ga natehtamo po potrebi v vreče za posamezne sarže.

2.4.4 Sušenje CMC (karboksitnetilceluloza)

CMC sušimo na istih sušilnih napravah kot žaganje. Običajno ima CMC tudi do 10 % vlage, zato ga je potrebno osušiti na čim manjšo vlago, da boljše služi svojemu namenu.

2.4.5 Drobljenje in sušenje ksilita

Ksilit je pravzaprav premog lignit in ga dodajamo nekaterim vrstam razstreliva, vrši pa enako funkcijo kot mleto žaganje. Ker se ksilit nahaja v kosih, ga najprej zdrobimo v kolodrobu in ga nato presejemo na milimetrskem situ. Ker ta ksilit vsebuje tudi preko 30 % vlage, ga nato sušimo na istih sušilnih napravah kot žaganje in CMC na čim manjšo vlago. Tako osušen svež ksilit pa se zelo rad sam vžge na zraku, zato ga hranimo v večjih pločevinastih sodih in ga pokrijemo s tanjšo plastjo starega ksilita in pokrijemo s pokrovom, da preprečimo dostop zraka. Tak ksilit mora ostati najmanj 3 – 5 dni, da ni več nevaren za samovžig.

2.4.6 Doziranje surovin

Ker ima vsaka vrsta razstreliva drugačno sestavo in tudi različne surovine, natehtamo to po določeni recepturi za posamezno saržo.

Nekaj jih natehtamo direktno v prekucnik, ostale pa v posebne vreče ali posode in se dodajajo v kolodrob po določenem časovnem zaporedju med predelavo v kolodrobu.

2.4.7 Predelava surovin v kolodrobu

Pri našem tehnološkem postopku je kolodrob najvažnejši stroj za izdelavo razstreliv.

Pri predelovanju surovin v kolodrobu se vrši več operacij istočasno in sicer:

- a) Znano je, da se amonijev nitrat, kakor tudi TNT, preden ga damo v kolodrob ne nahaja v obliki prahu, ampak v obliki večjih ali manjših delcev, na katere smo ga razbili med doziranjem. Po predelavi v kolodrobu pa dobimo surovine, katere smo dali v kolodrob zmlete skoraj do prahu. Prvo delo, ki ga torej kolodrob pri predelavi surovin opravi je, da te zmelje do prahu.
- b) Vemo, da surovine, ko jih damo v kolodrob še niso pomešane in lahko še s prostim očesom razlikujemo TNT od amonijevega nitrata itd.
Pri predelavi v kolodrobu ne moremo s prostim očesom več razlikovati posameznih surovin med seboj, ker so te že zdrobljene in zmešane. Drugo delo, ki ga kolodrob torej opravi je, da surovine dobro zmeša, to se pravi, da se v vsakem delu zmesi, ki jo dobimo iz kolodroba, nahajajo surovine v takem razmerju, kot smo ga z doziranjem določili.
- c) Poleg drobljenja in homogeniziranja pa se pri predelavi v kolodrobu godi še naslednje: če pogledamo surovine, ki jih damo v kolodrob vidimo, da je skodela kolodroba skoraj do polovice napolnjena z njimi. Pri predelavi vidimo, da se je volumen surovin zmanjšal, t.j., da smo dobili le nekaj cm debel kolač.

Surovine se pri predelavi v kolodrobu torej zgostijo, razstrelivo dobi potrebno gostoto, ki je važna karakteristika vseh razstreliv.

Razumljivo je, da je gostota razstreliva tem večja, čim dalj časa ga predelujemo v kolodrobu. Lahko bi si torej mislili, da bo tudi razstrelivo tem bolj kvalitetno, čim večjo gostoto bo imelo. Temu pa ni tako. Amonitratna razstreliva imajo namreč lastnost, da pri večjih gostotah npr. $1,3 \text{ g/cm}^3$ in večjih, z navadno strelno kapico št. 8 ne detonirajo. Isti pojav opazamo tudi, če je razstrelivo predolgo v kolodrobu, zato je tudi določen čas za predelavo v kolodrobu tj. približno 1 ura.

2.4.8 Počivališče razstreliva (hlajenje)

Ker se razstrelivo pri obdelavi v kolodrobu posebno v letnem času segreje tudi preko 50 stopinj C, ga je potrebno pred patroniranjem (posebno v male kalibre) predhodno ohladiti. Zato razstrelivo v bačvah pustimo stati v posebnem prostoru, da se čim bolj ohladi in s tem preprečimo strjevanje razstreliva v patronah.

2.4.9 Drobljenje razstreliva

Ker se razstrelivo pri obdelavi v kolodrobu običajno (poleti) strjuje v večje kepe in tudi v bačvah, kar bi motilo pri patroniranju, ga je potrebno pred patroniranjem zdrobiti.

Drobimo ga v krogličnih mlinih (mešalnice), kjer se razstrelivo vrti v bobnu skupaj s tekstolitnimi krogli in drobi, tako zdrobljeno razstrelivo pa se preseje skozi mreže, ki so na obodu bobna, od koder se preko transportnega polža polni v vreče, za večje kalibre pa se običajno ne pušča ohlajati toliko časa in se po drobljenju delno ohladi na posebnem hladilno – transportnem traku, kjer se v taki plasti transportira in od spodaj hladi z vodo. Ta hladilni trak je narejen iz posebne nerjaveče pločevine. Iz traku pada skozi celične zapore v vreče, v katerih se po transportnem traku transportira v patronirnico. Pri nakladanju vreč na transportni trak je potrebno paziti, da se spuščajo v predpisanem razmaku, posebno pozornost pa je potrebno posvetiti, da se posamezne vreče z različnim materialom ne pomešajo med seboj. Drobilni bobni imajo obenem tudi funkcijo sejanja in s tem ločevanja eventualnih tujkov, ki bi predstavljali nevarnost pri patroniranju.

2.4.10 Patroniranje razstreliv

Običajno se razstrelivo uporablja v patronah, katerih debelina in teža pa je odvisna od potrošnika, oz. od vrste miniranja.

Pri nas patroniramo razstrelivo v premeru 28/100, 28/200 in 38/200 v parafiniran papir in to večino na avtomatskih patronirkah tipa Wasag, večja patrona od 50/1000 do 140/12500 pa v polietilensko embalažo, ki se na obeh koncih zapira z aluminijevimi sponkami. V premeru 60/1000 se patronira na avtomatu Nieppmann, vse ostale kalibre pa patroniramo na ročnih patronirkah. Parafiniran papir ali PE črevo služita med drugim tudi zato, da zaščitita razstrelivo pred zunanjo vlago. Princip polnjenja je enak povsod in sicer se iz posebnega zalogovnika, kamor se iztresa razstrelivo, potiska skozi medeninasto pušo s posebnim gnanim polžem razstrelivo v papirnato stročnico ali polietilensko črevo.

Za različne premere patron se uporabljajo različne puše in polži ter polietilenske vreče. Pri patroniranju je potrebno paziti, da so naboji pravilne teže, pravilne gostote, dobro zaprti in označeni z vrsto razstreliva.

V novejšem času želimo patroniranje čim bolj avtomatizirati, kar omogoča večjo produktivnost in olajša pogoje dela.

2.4.11 Pakiranje razstreliva

Razstreliva spatroniramo v patrone do 38 mm, ki so patronirane v parafiniran papir in običajno spatronirane na avtomatih se takoj vlagajo v PE vrečke po 2,5 kg in 5 kg in se zavarijo, te vrečke pa se naknadno vlagajo v kartonske škatle do 25 kg. Patrone premerov večjih od 50 mm se vlagajo brez dodatnih PE vrečk v kartone po 24 oz. 25 kg. Vsaka embalažna enota po 24, oz. 25 kg mora na vidni strani nositi etiketo s sledečimi podatki:

- ❖ ime proizvajalca,
- ❖ vrsta razstreliva,
- ❖ oznaka nevarnost (bombica),
- ❖ premer in teža naboja ter teža kartona,
- ❖ zaporedna številka kartona,
- ❖ datum proizvodnje,
- ❖ v kartonu pa posebna tiskana navodila za uporabo in uničevanje razstreliva.

Pakiranje razstreliv se vrši v posebnem objektu od koder se zapakirano razstrelivo v kartonih spušča po valjni progji v priročno skladišče, kjer se nalaga na palete in odvaža v glavno skladišče.

Razstreliva, izdelana za izvoz nosijo posebno oznako in so kvalitetneje zapakirana, v priročnem skladišču pa se povezujejo na posebne palete za mednarodni transport.

2.5 ANFO RAZSTRELIVA

V zadnjih 25 letih se v svetu posebno pa v Ameriki in Kanadi uporabljajo v vedno večji meri ANFO in Slury razstreliva, saj je njihova uporaba močno izpodrinila praškasta razstreliva in dinamite in po nekaterih državah že dosega 60 % vse porabe razstreliv.

Pri nas izdelujemo le vodoplastična Slury razstreliva, ki bodo opisana pozneje, od AMFO razstreliv pa se bomo spoznali z Anfexom, ki ga proizvajamo tudi pri nas.

Prednost ANFO in Slury razstreliv je v tem, da je njihova proizvodnja izredno mehanizirana in rabi zelo malo delovne sile in pa izredno varna proizvodnja, kar je posebno pomembno. Prednost je tudi v tem, da se lahko izdelujejo tudi na mestu uporabe.

ANFO razstreliva so v bistvu zmes granuliranega amonitrata (ki ima to lastnost, da lahko vpija tudi do 20 % tekočih goriv) in pa tekočih in trdih goriv. Ne vsebujejo pa brizantne primesi kot je TNT ali nitroglicerina. Zato je njihova proizvodnja in uporaba tudi varnejša.

Pri nas izdelujemo Nitrol, ki vsebuje poleg amonitrata še do 6 % vretenskega olja ali nafte in pa trdno gorivo ksilit. To razstrelivo tudi patroniramo. Poleg tega pa izdelujemo še Anfex in to brez kolodroba. Granulirani amonitrat v posebnem mešalcu zmešamo s tekočim gorivom in ga pakiramo po 25 kg v vreče in kartone. Anfex lahko pojačamo še z dodatkom aluminijevega prahu. Poleg naštetih prednosti tega razstreliva je še pomembna njegova nizka cena, slabe lastnosti pa so v tem, ker ni vodoobstojno in se ne more uporabljati v mokrih vrtinah, pa tudi njegova uporaba je večja, ker ni patronirano in se direktno nasipa v vrtine. ANFO razstreliva niso primerna za miniranje v vrtinah manjšega premera od 50 mm, v večjih primerih pa dosega iste učinke kot ostala razstreliva.

2.6 VODOPLASTIČNA RAZSTRELIVA

Vodoplastična razstreliva spadajo v skupino »Slury« razstreliv (tekoča, kašasta zmes), ki se uporabljajo v novejšem času, njihova sestava pa se stalno spreminja in izpopolnjuje, zato jih poznamo več generacij. Kot je že omenjeno, je proizvodnja teh razstreliv izredno mehanizirana in moderna, žal pa za novejše vrste teh razstreliv rabimo surovine, ki se pri nas ne proizvajajo. Zato je za njihovo proizvodnjo potreben nakup licence in uvoz pretežnega dela surovin, kar je za nas izredno drago, skoraj nedosegljivo.

Pri nas proizvajamo prvo generacijo teh razstreliv, takoimenovana vodoplastična razstreliva pod imenom Geokamex in Geokamex-1. Geokamex je v bistvu mešanica anorganskih nitratov (amonnitrat in natrijev nitrat) in nitroceluloznih, nitroglicerinskih in nitroguanidinskih smodnikov z dodatkom do 13 % vode.

Poleg tega se še dodajajo dodatki, ki povečujejo plastičnost in obstojnost mešanice.

Geokamex je mešanica natrijevega nitrata, amonitrata, mletega TNT, aluminijevega prahu in vode.

Prednost teh razstreliv pred paškastimi je v tem, ker imajo večjo energijo, večjo gostoto polnjenja. Zaradi tega je pri miniranju na enoto volumna veliko večja energija in se zato koristno uporabljajo predvsem pri miniranju kamnolomov in trdnih rudnin. Hitrost detonacije dosega tudi do 6000 m/s, pri praškastih pa največ 4500 m/s. So izredno varna in neobčutljiva na običajni detonator št. 8.

2.6.1 Priprava surovin za vodoplastična razstreliva

Amonnitrat se uporablja običajno granulirani, ki se rad topi ali pa fino mleti.

TNT se uporablja suho mleti v kolodrobu in presejan in pa mokro mleti TNT.

Brezdimni smodniki so običajno različnih oblik in luskic, lističev, trakov in valjčkov in jih je potrebno predhodno zmleti. Ker so ti smodniki sami po sebi razstrelivo, je njihovemu mletju potrebno posvetiti veliko pozornosti. Meljejo se na posebnem mlinu, dezintegratorju z mrežo, s katero uravnavamo granulacijo mletih smodnikov. Mletje se vrši pod stalnim pretokom vode, pa tudi sam smodnik se mora pred mletjem omočiti, po mletju pa tudi ne sme vsebovati manj kot 8 % vlage. Predhodno je smodnik potrebno presejati zaradi eventualnih tujkov. Ker so smodniki različnih kaloričnih vrednosti (od 720 –1200 kcal/kg), jih je potrebno med seboj mešati, da dobimo približno 950 kcal/kg, pa tudi sama granulacija je važna in ne sme biti prefina in ne pregroba. Ker se smodnik melje pod stalnim pretokom vode (250 l/minuto), je potrebno zmleti smodnik centrifugirati, da odstranimo odvečno vodo.

2.6.1.1 Izdelava vodoplastičnih razstreliv

Ta razstreliva se izdelujejo v posebnem gnetilcu, ki je ogrevan s toplo vodo na 75 stopinj C, da se nitrati lažje topijo. Gnetilec ne drobi dodatnih surovin, ampak jih samo meša in gnete, nato pa s posebnim polžem izprazni.

Enkratna polnitev gnetilca znaša od 600 – 800 kg, čas mešanja pa traja 45 minut. Dodajanje surovin poteka po določenem vrstnem redu, najprej se dodajo nitrati, nato ostale surovine po določenem zaporedju, po potrebi pa še dodajamo vodo. Polnjenje gnetilca se vrši samo skozi

nameščeno zaščitno mrežo, ki preprečuje možnost, da bi v gnetilec padla vreča ali celo delavec.

Med mešanjem sta vklopljeni obe mešali in polž, pokrov pa mora biti zaprt. Izmešano razstrelivo se nato prazni v posebne pločevinaste posode in se transportira na patroniranje.

2.6.1.2. Patroniranje in pakiranje vodoplastičnih razstreliv

Patroniranje se vrši v posebnem objektu na vodoravnih patronirnih strojih tipa SIPI. To so v bistvu stroji, podobni mesoreznicam in posebni polž potiska maso preko puše v polietilensko vrečko, ki se na obeh straneh zapira z aluminijastimi sponkami. Stroj se poganja in zaustavlja s pritiskom noge na pedala, polni pa ročno z lopato.

Razstrelivo se patronira v patrone 60mm/1500 g – 140mm/12500 g. Pakira se v PE vreče in kartone po 24 oz. 25 kg, ki nosijo vse potrebne oznake, kot praškasta razstreliva. Kartoni se nalagajo na palete in odvažajo v skladišče.

2.7 TEHNIČNE LASTNOSTI RAZSTRELIV

Pri izbiri in uporabi ocenjujemo eksploziva predvsem po naslednjih lastnostih:

- ❖ **Gostota eksploziva:** Merimo jo v g/cm^3 . Je merilo za delovno sposobnost eksploziva. S povečanjem gostote raste tudi njegova delovna sposobnost. Eksplozivo mora imeti pravilno specifično težo ali gostoto. Če je razstrelivo preveč trdo napolnjeno (patronirano), bo prenos delovanja slab. V tem primeru bo v vrtini eksplodiral samo prvi ali drugi naboj, ostali naboji pa delovanje ne bodo sprejeli. Podobno je tudi takrat, če eksploziv vsebuje preveč vlage. Predpisana gostota znaša od 0,95 do 1,1 g/cm^3 , vlaga pa največ do 0,6 %.
- ❖ **Delovni učinek ali moč eksplozije:** Merimo v cm^3 . Ugotavljamo ga na podlagi razširitve votline v Trauzlovem možnarju po eksploziji določene manjše količine eksploziva v odprtini možnarja.
- ❖ **Hitrost detonacije:** Merimo jo v m/s. To je hitrost, s katero se širi detonacijski val od mesta vžiga do neomejene količine razstreliva.
- ❖ **Občutljivost na udar:** Skoraj vsako razstrelivo lahko aktiviramo, če po njem udarimo s primerno silo. Merimo jo s pomočjo Kastovega aparata, v katerem z določenih višin spuščamo uteži 1 kg, 2 kg ali 5 kg na manjšo količino eksploziva. Izražamo jo v kg/cm. Da si lahko ustvarimo pregled občutljivosti v zvezi z udarom pri posameznih eksplozivih, si pogledjmo naslednjo tabelo, iz katere je razvidno, pri kateri višini detonirajo posamezna eksploziva, če pade na njih utež mase 2 kg:

Tabela 1: Detonacija eksploziva glede na višino padajoče uteži

Eksploziv	Višina (cm)
Živosrebrni fulminat	4
Nitroglicerín	6
Črni smodnik	80
Trinitrotoluol	90
Kamikitit preko	40

(Belšak, 1978, str. 36)

- ❖ **Temperatura eksplozije:** Merimo jo v stopinjah Celzija. Temperatura v središču detonacije gospodarskih razstreliv je od 1800 °C do 4200 °C.
- ❖ **Prenos detonacije:** Merimo ga v cm. To je oddaljenost, pri kateri se eksplozija prenese z enega naboja na drugega.
- ❖ **Bilanca kisika:** Za vsa gospodarska razstreliva velja predpis, da se ob detonaciji ne smejo tvoriti strupeni plini. To pomeni, da morajo imeti že poprej v sebi vezanega dovolj kisika za eksplozivo in da ga še nekaj ostane pomešanega med eksplozivnimi plini. Temu pravimo pozitivna bilanca kisika.
- ❖ **Detonacijski pritisk:** Izraža pritisk plinov pri eksploziji in je pri gospodarskih razstrelivih od 2600 do 15000 MPa.
- ❖ **Varnost pred vžigom metana in premogovega prahu:** Določamo jo s količino razstreliva, ki še ne povzroči vžiga metanske mešanice ali zmesi zraka in premogovega prahu pri poizkusnem miniranju v umetni atmosferi.
- ❖ **Odpornost na mraz:** Običajna razstreliva so izdelana tako, da normalno eksplodirajo do -20°C.
- ❖ **Skladiščenje razstreliva in rok uporabe:** Vsako razstrelivo mora biti primerno skladiščeno po navodilih proizvajalca. Rok uporabe je obdobje, v katerem razstrelivo ne sme spremeniti svojih kemičnih, fizikalnih in tehničnih lastnosti.
- ❖ **Temperatura vžiga:** Mora biti po predpisih višja od 160 °C
- ❖ **Patroniranje razstreliv:** Skoraj vsa gospodarska razstreliva so pakirana v obliki nabojev ali patron.



Slika 1: Trauzlov možnar

Vir: Belšak, 1978, str. 14

2.8 SREDSTVA ZA VŽIGANJE RAZSTRELIV

Samo smodnik je možno zanetiti neposredno z odprtim ognjem, vsa brizantna razstreliva pa lahko aktiviramo samo s sredstvi za vžiganje ali iniciranje razstreliv.

Med ta sredstva spadajo:

- ❖ počasi goreča vžigalna vrstica,
- ❖ detonacijska vžigalna vrstica,
- ❖ vžigalna kapica,
- ❖ električni detonator.

2.8.1 Počasi goreča vžigalna vrstica

Počasi goreča vžigalna vrstica je namenjena za prižiganje nabojev, polnjenih z rudarskim smodnikom in za vžiganje detonatorskih kopic.

Sestavljena je iz:

- ❖ smodnikovega jedra,
- ❖ tekstilne nitke,
- ❖ zunanje plašča, ki je impregniran z bitumnom, da je smodnik zaščiten pred vlago.

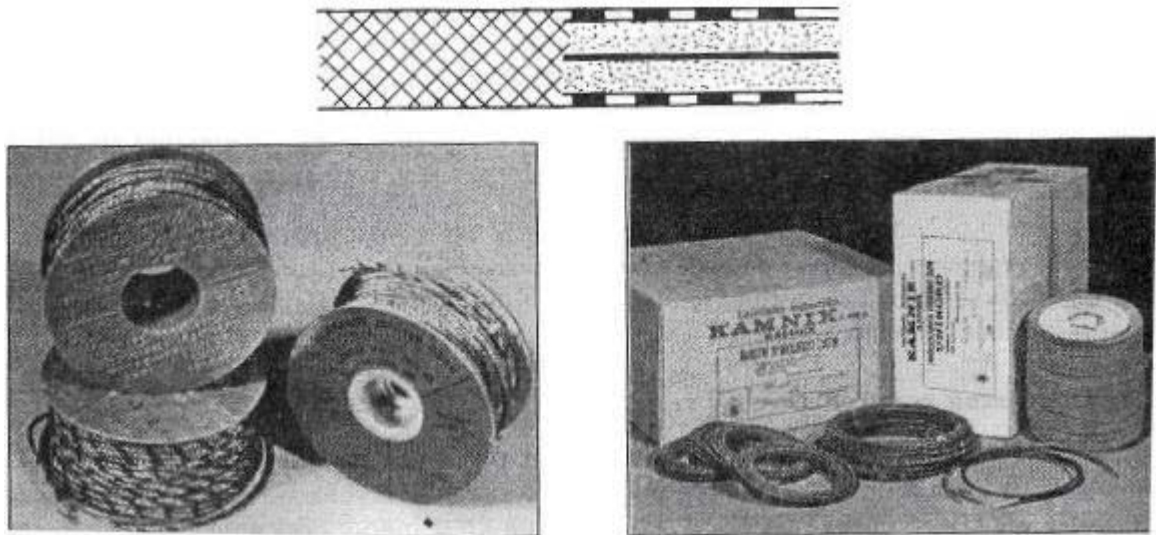
Prižigamo jo z odprtim plamenom z minerskimi vžigalicami ali minerskim satovjem. Uporabljamo jo lahko samo v rudnikih, kjer ni metana ali nevarnega premogovega prahu. Gorenje je ena od najvažnejših lastnosti vžigalne vrstice. Od dobre vžigalne vrstice se zahteva, da ima konstantno hitrost gorenja in da na njo čim manj vplivajo zunanji vplivi (npr. vlaga). Uporaba vžigalne vrstice se je precej zmanjšala z uporabo električnih detonatorjev.

Slabe strani prižiganja min z vrstico:

- ❖ pri gorenju vrstice se tvorijo strupeni plini,
- ❖ je bolj nevarno za minerje (kratka razdalja)

Dobre strani:

- ❖ potrebna je manjša strokovna usposobljenost
- ❖ ne more priti do nesreče s statično elektriko



Slika 2: Počasi goreča vžigalna vrstica in način pakiranja
Vir: Belšak, 1978, str. 17

2.8.2 Detonacijska vžigalna vrstica

Ima jedro, polnjeno z brizantnim eksplozivom (običajno je to pentrit), zato ne gori, pač pa detonira. Hitrost detonacije je od 5000 do 6500 m/s. Aktiviramo jo s kapico številka 8 ali z električnim vžigalnikom. Sestavljena je iz eksplozivnega jedra, bombažnega ovoja ter plastičnega zaščitnega plašča. Rudarska detonacijska vrstica je rumene barve. Pakirana je v kolutih.



Slika 3: Detonacijska vžigalna vrstica
Vir: Belšak, 1978, str. 20

2.8.3 Vžigalna kapica

Vžigalna kapica je izdelana dokaj preprosto. V aluminijastem ali bakrenem tulcu sta dva eksplozijska vložka:

- ❖ zgoraj inicialni vložek
- ❖ spodaj brizantni vložek

2.8.4 Električni detonatorji

Električni detonatorji so v zadnjem času najbolj razširjeno sredstvo za aktiviranje eksploziva. Njihova prednost je v tem, da so zelo varni. Z njimi je mogoče hkrati aktivirati večje število min, kar z uporabo detonatorskih kapic ni možno.

Sam električni vžigalnik aktiviramo s kovinsko nitko, ki po prehodu električnega toka zažari (podobno kot v žarnici) in prižge inicialni eksploziv.

Sestavljen je iz:

- ❖ kovinskega tulca (bakrenega ali aluminijastega),
- ❖ vžigalne glavice,
- ❖ brizantnega eksploziva,
- ❖ žic za priključek na električni kabel.

Važen podatek za električni vžigalnik je njegova upornost ($4,5 \Omega$). Ločimo dve glavni vrsti električnih vžigalnikov:

- ❖ trenutni električni vžigalnik,
- ❖ časovni električni vžigalnik.

➤ Trenutni električni vžigalniki

Z njimi aktiviramo hkrati vse mine v minskem polju. Eksplozija nastane takoj po sklenitvi električnega tokovnega kroga. Dovodni električni žici sta običajno železni ali bakreni, izolacija pa je na eni žici bela, na drugi pa rdeča.

➤ Časovni električni vžigalniki

Časovne električne detonatorje (predvsem milisekundne) v zadnjem času vse bolj uporabljamo in s tem dosežemo:

- večjo varnost,
- hkrati lahko aktiviramo večje število eksplozivnih polnjenj
- čas za pripravo je krajši,
- aktiviranje se lahko izvrši z varne razdalje,
- učinki miniranja so boljši,
- potresi, ki spremljajo miniranje, so mnogo manjši.

Princip delovanja časovnega električnega vžigalnika je v tem, da vžigalnik eksplodira (se aktivira) šele določen čas pozneje, ko smo skozenj spustili električni tok. To omogoča poseben zakasnilni element, ki je vgrajen med inicialnim in brizantnim vložkom. Od dolžine tega elementa, ki je v obliki čepa iz gorljive snovi, je odvisna zakasnitev eksplozije.

Na tržišču dobimo dve vrsti časovnih električnih detonatorjev:

- polsekundne (številke od 1 do 10),

- milisekundne.

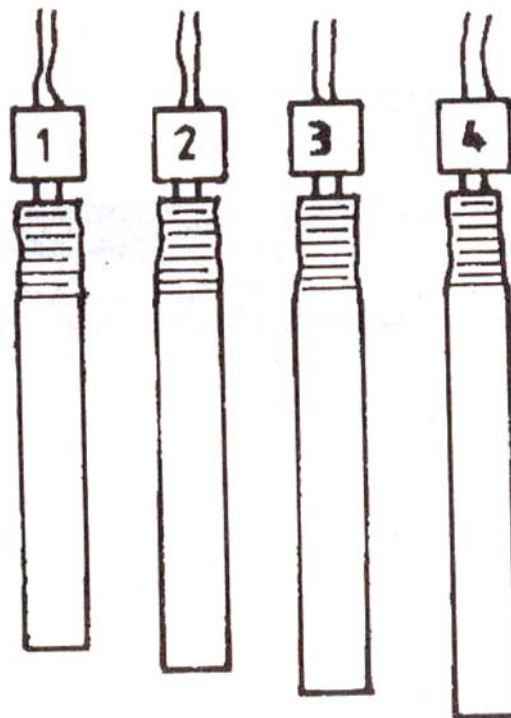
Milisekundni električni detonatorji so v treh izvedbah:

34 MSED-Al milisekundni električni detonatorji, aluminijasti

34 MMED-Cu milisekundni električni detonatorji, bakreni

34 MMED-Cu metanskovarni milisekundni električni detonatorji, bakreni

Zunanji barvi žic pri milisekundnih električnih detonatorjih sta rumena in rdeča (pri navadnih), pri metanskovarnih pa je ena zelena in druga bela. Številka posameznega detonatorja je vtisnjena na dnu tulca in na ploščici, ki je pripeta na žici. V metanskih rudnikih in jamah z nevarnim premogovim prahom lahko uporabljamo samo trenutne in milisekundne metanskovarne električne vžigalnike z bakrenim tulcem z nazivnim intervalom največ 34 milisekund. V premogu smemo vezati največ 5 zaporednih številk detonatorjev (136 ms), v prihrubini pa največ 7 (204 ms).

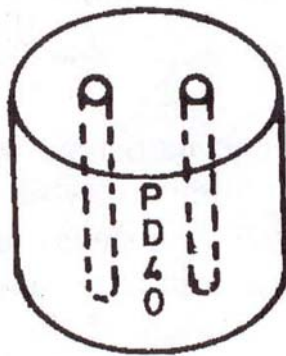


Slika 4: Serija milisekundnih električnih detonatorjev

Vir: Belšak, 1978, str. 21

2.8.5 Busterji

Nekaterih vrst razstreliv ne moremo aktivirati z detonatorsko kapico ali električnim vžigalnikom, ker potrebujejo večji začetni sunek energije. Za vžiganje takšnih razstreliv uporabljamo posebne detonatorje z večjo količino inicialnega eksploziva pentolita (od 40 do 80 g). Tem vžigalnikom pravimo busterji (booster) in jih sprožimo z detonacijsko vrvico.



Slika 5: Buster
Vir: Božić, str. 17, 1998

2.9 PRIBOR ZA AKTIVIRANJE ELEKTRIČNIH DETONATORJEV

Miner, ki bo aktiviral eksploziv z električnim vžigalnikom, potrebuje še pribor:

- električni vžigalni strojček,
- ohmmeter,
- šilo za izdelavo lukenj v patrone razstreliva,
- kable za vžiganje,
- palica za polnjenje vrtin,
- sireno za dajanje signalov (na površini).

2.9.1 Električni vžigalni strojček

Za aktiviranje min, opremljenih z električnimi vžigalniki, je potreben izvor električnega toka, ki ga dobimo iz posebnega strojčka.

Obstajata dve vrsti električnih strojčkov:

- ❖ električni dinamo strojčki,
- ❖ kondenzatorski strojčki.

Električni dinamo strojčki delujejo na osnovi indukcije električnega toka, ko se vrtiljuga v magnetnem polju. V navojih tuljave se v odvisnosti od jakosti magnetnega polja, števila navojev in hitrosti obratov inducira določena električna energija, ki prehaja na sponke strojčka. Na vsakem strojčku je pritrjena tablica z osnovnimi podatki:

- ❖ tip strojčka,
- ❖ inducirana napetost,
- ❖ največji upor, ki ga lahko priključimo,
- ❖ jakost toka pri danem uporu,
- ❖ trajanje impulza v milisekundah,
- ❖ leto izdelave strojčka,
- ❖ številka strojčka.

Kondenzatorski strojčki za aktiviranje električnih detonatorjev se vse bolj uveljavljajo, ker so lažji, imajo močnejši električni impulz in daljšo življenjsko dobo.

Kondenzatorski strelni strojček je sestavljen iz generatorja za nabijanje kondenzatorja, usmerniške naprave, kondenzatorja in vžiga.

Čas impulza je neodvisen od obremenitve in je krajši od 4 ms. Postopek uporabe strelnega strojčka je naslednji:

- na sponki se priključijo tokovodniki

- strelni strojček primemo z levo roko
- z desno roko vstavimo ročico in zavrtimo v smeri urinega kazalca, dokler ne zažari signalna lučka, nato naredimo še 3 do 4 dodatne obrate
- za sproženje impulza obrnemo v nasprotni smeri urinega kazalca za $\frac{1}{2}$ obrata in povzročimo odstrel.

2.9.2 Ohmmeter

Uporabljamo ga kot kontrolni instrument, s katerim ugotavljamo nepravilnosti v vezavi električnega tokovnega kroga, npr. prekinjen tokokrog ali kratek stik. Z njim tudi iščemo in določamo zatajilce. To je v bistvu običajen instrument za merjenje električnega upora, prirejen za uporabo pri miniranju, še posebej pa za metanske jame. V njem je majhen baterijski vložek, ki ga preko sponk na ohmmetru priključimo na električni tokovni krog. Tok steče po žicah, čez vžigalnike, in se vrne v instrument, kjer kazalec pokaže dejanski upor vezave, ki ga poprej izračunamo. Če je vse dobro zvezano, je upor na ohmmetru enak izračunanemu in samo v tem primeru smemo odstreliti.

Z ohm-metrom se meri samo z mesta odstreljevanja:

- ❖ upornost posameznih električnih detonatorjev
- ❖ celotna upornost povezanih električnih detonatorjev v seriji, ki je pripravljena za odstrel

Z ohm-metrom se opravlja naslednje meritve:

- ❖ v začetku izmene in ob vsaki napaki se izmeri oz. preveri električno upornost glavnih tokovodnikov.
- ❖ pred navezavo glavnih tokovodnikov na električni vžigalni strojček se izmeri upornost celotnega tokokroga.
- ❖ ob priliki zatajitve celotnega tokokroga se z ohm-metrom ugotavlja napaka, ki je lahko na tokovodniku ali na posameznih detonatorjih.

Postopek uporabe ohm-metra je naslednji:

- ❖ vodnike dobro privijemo na priključne sponke.
- ❖ za hitro odčitavanje pritisnemo vodnike na kovinske kontrolne ploščice.
- ❖ merilnik se avtomatsko vklopi ob pravilnem priklopu in pokaže izmerjeno upornost.

Pomen odčitkov:

- ❖ če tokokrog ni sklenjen, se na merilniku ne pojavijo številke in je takrat upornost R neskončna.
- ❖ če je tokokrog sklenjen in se na merilni plošči pojavi črna črtica, to pomeni, da je upornost večja od 2000 ohmov.
- ❖ preizkus merilnika pri kratko sklenjenih sponkah (0 ohm).
- ❖ če je tokokrog tokovodnikov in el. detonatorjev sklenjen z merilnikom in se na merilniku niso pojavile številke, pomeni, da je merilni tokokrog prekinjen.
- ❖ če se na merilniku pri sklenjenem tokokrogu pojavi napis »bat« pomeni, da je napetost ohm-metra nezadostna (prazna baterija).

- ❖ če je tokokrog sklenjen, nam mora pokazati tisto številko odčitka na merilni plošči, katera se ujema s predhodno izvedenim izračunom

$$U = \text{Š.D.} \times U.D. + U.T. \text{ (povzeto po Pečovnik, str. 22, 1987)}$$

U = izračunana upornost tokokroga

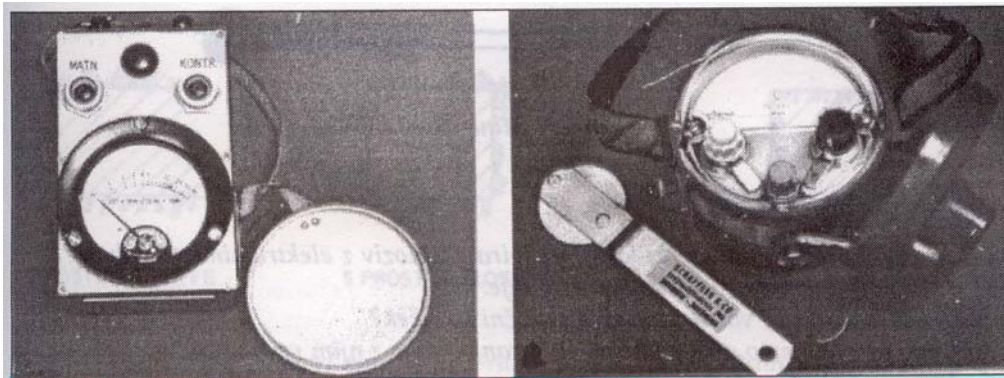
Š.D. = število detonatorjev

U.D. = el. upornost detonatorja, ki je razvidna iz ovitka pakiranja

U.T. = upornost tokovodnika, izmerjenega z ohm-metrom.

Napake:

- ❖ če pokaže ohm-meter večjo napetost, kot je izračunana, pomeni, da je upornost nekega stika prevelika oz. da je spoj zarjavel ali umazan, lahko pa tudi pomeni, da je število detonatorjev večje, kot je bilo upoštevamo v izračunu.
- ❖ če je upornost tokokroga neskončno velika, pomeni, da je tokokrog prekinjen.
- ❖ če je upornost manjša od predvidene, pomeni, da je v tokokrogu kratek stik ali pa da niso v tokokrog povezani vsi električni detonatorji

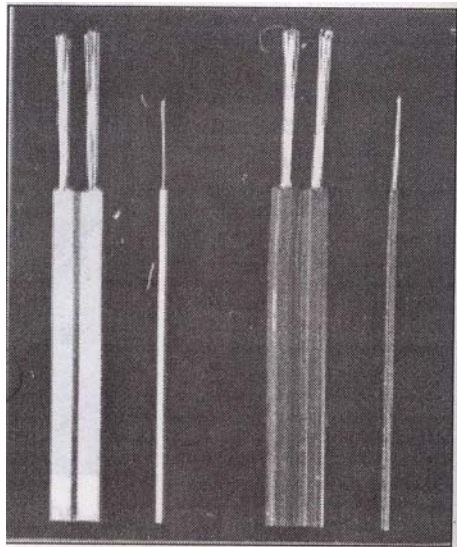


Slika 6: Dva tipa ohmmetra

Vir: Božić, 1998, str. 25

2.9.3 Kabli za vžiganje min

Električni vodniki med strojčkom za vžiganje in minkim poljem so kabli železne ali bakrene žice primerne preseka. Važen podatek za kabel je njegova upornost (pri vseh materialih mora biti enaka). Prez žice mora biti najmanj $0,8 \text{ mm}^2$ z izolacijo iz gume ali PVC. Električni vodniki za vžiganje min ne smejo imeti nobenih golih delov. Konci žic vodnikov in električnih detonatorjev se morajo med seboj trdo in zanesljivo oplesti in spojena mesta izolirati. Električni vodniki morajo biti tako dolgi, da se mine lahko vžgejo – sprožijo iz varnega zaklonišča. Električni vodniki se morajo obešati tako, da se ne dotikajo kovinskih predmetov (tirnic, cevovodov) in da ne potekajo poleg kablov.



Slika 7: Kabli za vžiganje

Vir: Božić, 1998, str. 30

2.9.4 Palica za polnjenje vrtin

Mora biti iz neiskrečega se materiala. Najboljša je lesena. Premer palice mora biti do 2 milimetra večji od premera patron razstreliva. Dolžina palice mora biti prilagojena globini minkih vrtin.

2.9.5 Šilo za izdelavo lukenj v patrone

Potrebujemo ga zato, da vstavimo vžigalnik v patrono razstreliva in s tem naredimo udarno patrono. Izdelano mora biti iz neiskrečega materiala (les, baker, medenina).

2.10 POVZETEK

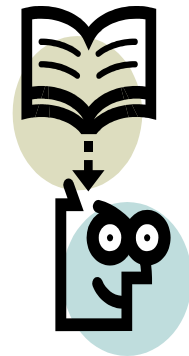


Razstreliva so zmesi kemičnih spojin, ki so nevarna pri ravnanju z njimi in se pri vžigu na enem mestu hitro razkrajajo v plin ter pri tem razvijajo velike količine toplote. Razkroj se od mesta vžiga hitro prenaša na vso neomejeno količino eksploziva.

Z udarom ali povečanjem temperature jih pripravimo do hitrega prehoda v druge stabilnejše spojine (v glavnem pline in paro). Ta prehod je vedno trenuten in združen s povečanjem temperature, ki da pri eksploziji nastalim plinom ali param velikansko energijo. Napetost visoko segretyh plinov povzroča udarne valove, ki delujejo na stene okrog mine in drobijo ter razrivajo hribino. Za eksplozijo ali detonacijo razstreliva je potreben kisik, ki pride iz ozračja v okolici ali pa je kemično vezan v samem razstrelivu. Osnovni elementi, ki sestavljajo razstrelivo so: vodik, kisik, kalcij, natrij, kalij, dušik, ogljik, aluminij, svinec, živo srebro. Eksplozija je nenadna sprostitvev plinov, katerih volumen je veliko večji od prvotnega, ki jo spremlja pok in silovit mehanski učinek.

2.11 VPRAŠANJA ZA OBNOVITEV ZNANJA

1. Delitev razstreliv glede na hitrost izgorevanja!
2. Kaj so busterji?
3. Katere surovine poznaš, ki se uporabljajo v proizvodnji razstreliv? Na kratko jih opiši!
4. Opiši vodoplastična razstreliva!
5. Katere tehnične lastnosti razstreliv poznaš!
6. Opiši sredstva za vžiganje razstreliv! Katere se danes največ uporabljajo?
7. Katere električne vžigalnike lahko uporabljamo v metanskih jamah?



3 OPIS IN UPORABA NEELEKTRIČNEGA INICIALNEGA SISTEMA

3.1 UVOD

Sistem Nonel je neelektrični inicialni sistem za razstreljevanje.

Sistem NONEL je sestavljen iz naslednjih elementov:

- ❖ NONEL detonatorjev,
- ❖ konektorjev,
- ❖ sponk,
- ❖ vžigalne naprave,
- ❖ nizkoenergetske detonacijske vrvice (po potrebi),

V poglavju so predstavljeni njegovi sestavni deli, način uporabe, varnostne, ekološke in tehnološke prednosti ter glavna področja uporabe.

3.1.1 Nonel detonator

NONEL detonator se sestoji iz detonatorja (trenutnega ali časovnega), ki ima vgrajen zasilni element in potrebne dolžine vžigalne cevke. To je osnovni element celega sistema. Vse ostalo služi le za povezovanje in vžiganje mreže. Vžigalna cevka ima podoben namen kot električni vodnik pri električnih detonatorjih. Razlikuje se v tem, da je cevka le ena in da se po njej prenaša udarni val in ne električni tok.

Detonator in vžigalna cevka se kompletirata glede na potrebe (dolžina cevke, vrsta detonatorja). Cevka je na prostem koncu zavarjena, zvita v kolobar in ustrezno označena.

Izvlačna sila vžigalne cevke iz NONEL detonatorja znaša 70 ~ 80 N.



Slika 8: NONEL detonatorji

Vir: Božić, 1998, str. 39

3.1.2 Vžigalna cevka

Vžigalna cevka je izdelana iz posebne kakovostne plastike in ima zunanji premer 3 mm. Masa cevke znaša 5 do 6 g/m. Cevka je po notranji strani prevlečena s tanko plastjo zmesi visokobrizantnih eksplozivov v količini samo 15 do 25 mg/m. Ko na primeren način iniciramo to plast, se pojavi v cevki udarni val, ki se širi po cevki s hitrostjo 1800 do 2000 m/s. Opazovalec vidi ta udarni val le kot blisk, cevka ostane nepoškodovana. Udarni val, ki se

širi po cevki, aktivira detonator, ki je pritrjen na drugem koncu vžigalne cevke. Sama vžigalna cevka ne more inicirati nobenega razstreliva, ki se običajno uporablja za razstreljevanje, pri tem ne poškoduje stebra razstreliva v vrtini ali mašila. Ker je natezna trdnost cevke cca. 140 N, lahko udarno patrono spustimo v vrtino brez pomožne vrvice, saj ni nevarnosti, da bi se ta pretrgala ali poškodovala.

3.1.3 Detonator

Detonator, ki je pritrjen na vžigalno cevko, je v principu običajen detonator z ali brez zakasnilnega vložka. Sestoji se iz naslednjih sestavnih delov:

- ❖ Cu ali Al lončka,
- ❖ primarne inicialne polnitve,
- ❖ sekundarne inicialne polnitve, ki ustrezajo jakosti detonatorja št. 8,
- ❖ pokrovčka z odprtino,
- ❖ zakasnilnega vložka (ni potreben pri trenutnih detonatorjih),
- ❖ tesnilnega čepa.

NONEL detonatorji imajo cevke standardnih dolžin (2,0 m; 3 m;.....10 m; 20 m,..). Sami detonatorji so lahko trenutni ali z zakasnilnim učinkom (milisekundni., polsekundni, itd.).

3.1.4 Konektorji

Ker direkten prenos udarnega vala z ene cevke NONEL detonatorja na drugo ni mogoč (na primer z vozlom kot pri detonacijski vrvice), so potrebni posebni konektorji. To so plastični elementi, ki vsebujejo inicialno eksplozivno polnitev v obliki detonatorja jakosti št. 8. Običajno je na konektor že pritrjena vžigalna cevka standardne dolžine 1,5 do 6 m.



Slika 9: Konektorji
Vir: Božić,1998, str. 40

3.1.5 Sponke

Pri masovnih razstreljevanjih se pogosto kombinirajo NONEL detonatorji z detonacijsko vrvice, predvsem z nizkoenergetsko detonacijsko vrvice, ki vsebuje do 5 g pentrita na meter. Na detonacijsko vrvice se običajno povežejo vžigalne cevke NONEL detonatorjev, ki gledajo iz vrtin. V ta namen so izdelane posebne plastične sponke, s katerimi hitro in zanesljivo pritrdimo konce vžigalnih cevk na mrežo detonacijske vrvice, v katero lahko po potrebi vgradimo tudi retarderje. Seveda v tem primeru najprej vžgemo detonacijsko vrvice na klasičen način, detonacija vrvice pa preko sponk prenese impulz na vžigalne cevke, te pa na detonatorje, ki inicirajo razstrelivo.

3.1.6 Vžigalna naprava za NONEL detonatorje

Vžigalno cevko oz. NONEL detonator lahko iniciramo na več načinov:

- ❖ s pomočjo navadnega detonatorja in počasi goreče vžigalne vrvice,
- ❖ s pomočjo električnega detonatorja in primerne električne vžigalne strojčka,
- ❖ s pomočjo detonacijske vrvice,
- ❖ s pomočjo drugega NONEL detonatorja,
- ❖ s pomočjo posebnega vžigalnega strojčka za NONEL detonatorje.

Za vžiganje NONEL detonatorjev in vžigalne cevke so namenjeni posebni vžigalni strojčki, ki so lahko različne konstrukcije in izvedbe.

Pri vžiganju mreže NONEL detonatorjev s pomočjo električnega detonatorja moramo seveda upoštevati, da postane s tem mreža občutljiva na vse nevarnosti, ki so sicer izključene pri NONEL sistemu.

Pri vžiganju vžigalnih cevk z detonacijsko vrvico lahko uporabimo posebno metodo povezovanja v sveženj, ki vsebuje največ do 20 vžigalnih cevk. Sveženj fiksiramo z lepilnim trakom na dveh mestih, ki sta oddaljeni cca. 30 cm ter ga ovijemo z detonacijsko vrvico s polnitvijo 12 g/m, ki jo pritrdimo z vozli ali lepilnim trakom.

3.2 UPORABA NONEL SISTEMA

NONEL detonatorje lahko uporabljamo posamezno ali povezane v mrežo. Mrežo lahko kombiniramo tudi z detonacijsko vrvico polnitve 5 do 13 g/m. Sistem je uporaben na vseh deloviščih na površini ali pod zemljo, razen na deloviščih, kjer se pojavlja metan ali nevaren premogov prah.

Uporaba NONEL detonatorjev je umestna povsod tam, kjer električno vžiganje ni dovoljeno, drugi načini iniciranja pa so neustrezni zaradi premalo točnega tempiranja.

3.2.1 Prednosti NONEL detonatorjev

Če primerjamo detonatorje z električnimi, detonacijsko vrvico $C \sim 12$ ali z navadnimi rudarskimi kopicami, ki jih vžigamo s počasi gorečo vžigalno vrvico, potem lahko ugotovimo prednosti NONEL detonatorjev pri vseh bistvenih točkah dela z razstrelivi (varnost pri razstreljevanju, varstvo okolja, tehnološko in ekonomsko uspešna uporaba razstreliva).

Lahko rečemo, da sistem NONEL združuje prednosti vseh ostalih poznanih inicialnih sredstev, čeprav ima tudi napake. Tako je kontrola oziroma preverjanje posameznih NONEL detonatorjev in celotnega minskega polja možna le vizualno, ker ne razpolagamo z instrumenti v ta namen (kot npr. pri električnem vžiganju).

3.2.1.1 Varnostne prednosti

Neelektrični sistemi iniciranja so se razvili predvsem zaradi neprimernosti električnega načina vžiganja pri gradnji podzemnih objektov v naseljenih področjih (tuneli, podzemne železnice), kjer se pojavljajo intenzivni blodeči tokovi. NONEL sistem je popolnoma neobčutljiv na takšne blodeče tokove, kot tudi na druge električne vire, ki lahko povzročijo predčasen vžig minskega polja (nevihte, bližina oddajnikov in podobno).

3.2.1.2 Ekološke prednosti

Podobno kot z električnimi detonatorji lahko tudi z NONEL detonatorji natančno in po želji izberemo trenutek ter zaporedje vžiga posameznih razstrelilnih polnitev. Na ta način lahko zmanjšamo negativne učinke na okolje (potres, razmet, zračni udar), ki se vedno pojavijo pri razstreljevanju, na najmanjšo možno vrednost. S stališča varstva okolja ima iniciranje z

NONEL detonatorji prednost pred detonacijsko vrstico tudi zaradi manjšega hrupa, ki ga povzroča običajna detonacijska vrstica, položena po površini delovišča.

3.2.1.3. Tehnološke prednosti

Pomembna prednost je ta, da lahko poljubno izbiramo smer iniciranja v vrtini (z dna, iz sredine ali z vrha), s čimer lahko dosežemo planirane tehnološke in varnostne učinke, še posebno pri masovnem razstreljevanju, česar ne moremo pri uporabi detonacijske vrvice.

Vžigalna cevka ne razbije mašila v vrtini, niti ne poškoduje razstreliva, kar se vse dogaja pri uporabi detonacijske vrvice v vrtinah, napolnjenih z modernimi vodoplastičnimi razstrelivi.

Iniciranje novih vrst industrijskih razstreliv, predvsem emulzijskih, ki so senzibilizirana le z votlimi steklenimi kroglicami ali vključenimi zračnimi mehurčki, je uspešno predvsem z električnimi ali NONEL detonatorji. Običajna detonacijska vrstica namreč razbije vključene steklene kroglice, še preden lahko te postanejo t. i. vroče točke, zaradi katerih se prične eksplozivni razpad razstreliva. Posledica je lahko zatajitev detonacije razstreliva v vrtini ali vsaj bistveno manjši učinek razstreljevanja od predvidenega glede na energijo uporabljenega razstreliva.

S kombinacijo NONEL detonatorjev in nizkoenergetske detonacijske vrvice, ki je cenejša in predvsem manj hrupna od običajne 12 gramske, lahko enostavno, varno, okolju prijazno in hkrati zanesljivo izvedemo tudi obsežna razstreljevanja, npr. rušenja večjih objektov.

S kombiniranim povezovanjem samih NONEL detonatorjev lahko teoretično dosežemo neomejeno število zakasnilnih intervalov med posameznimi razstrelilnimi polnitvami (vrtinami), kar je neizvedljivo celo pri električnem načinu vžiganja minskega polja.

3.2.2 Glavna področja uporabe NONEL detonatorjev

Z NONEL detonatorji lahko uspešno zamenjamo doslej poznana inicialna sredstva pri vseh razstreljevanih delih, razen v jamah z metanom in / ali nevarnim premogovim prahom.

NONEL detonatorji pa so idealni za dela pod zemljo in na površini, kjer se redno pojavljajo blodeči električni tokovi. To velja predvsem za izkop tunelov ter objektov na naseljenih urbanih področjih ali v industrijskih območjih.

Inicialni sistem je namenjen tako za klasična industrijska razstreliva kot tudi za nove vrste razstreliv, ki se pojavljajo v Sloveniji. Razvoj v svetu je že šel v smer emulzijskih razstreliv, saj nitroglicerinskih in praškastih razstreliv na osnovi TNT praktično kmalu ne bo več možno dobiti v Zahodni Evropi.

Za iniciranje emulzijskih razstreliv, ki bodo zelo verjetno kmalu zamenjala doslej poznana industrijska razstreliva, so NONEL detonatorji izredno primerni iz naslednjih razlogov:

- ❖ po želji lahko izberemo točno mesto iniciranja v vrtini, ne glede na vrsto razstreliva;
- ❖ vžigalna cevka detonatorja popolnoma nič ne poškoduje niti mašila, niti razstreliva v vrtini;
- ❖ časovne intervale med vrtinami lahko izberemo tako, da so najbolj v skladu z minersko – tehničnimi karakteristikami razstreliva in planiranimi rezultati razstreljevanja.

3.3 POVZETEK



Sistem Nonel je neelektrični inicialni sistem za razstreljevanje.

Sistem NONEL je sestavljen iz naslednjih elementov: NONEL detonatorjev, konektorjev, sponk, vžigalne naprave, nizkoenergetske detonacijske vrvice (po potrebi).

NONEL detonatorje lahko uporabljamo posamezno ali povezane v mrežo.

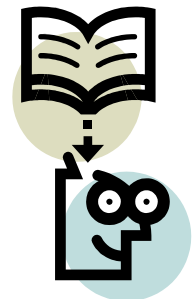
Če primerjamo detonatorje z električnimi, detonacijsko vrstico $C \sim 12$ ali z navadnimi rudarskimi kapicami, ki jih vžigamo s počasi gorečo vžigalno vrstico, potem lahko ugotovimo prednosti NONEL detonatorjev pri vseh bistvenih točkah dela z razstrelivi (varnost pri razstreljevanju, varstvo okolja, tehnološko in ekonomsko uspešna uporaba razstreliva).

Z NONEL detonatorji lahko uspešno zamenjamo doslej poznana inicialna sredstva pri vseh razstreljevanih delih, razen v jamah z metanom in / ali nevarnim premogovim prahom.

NONEL detonatorji pa so idealni za dela pod zemljo in na površini, kjer se redno pojavljajo blodeči električni tokovi. To velja predvsem za izkop tunelov ter objektov na naseljenih urbanih področjih ali v industrijskih območjih.

3.4 VPRAŠANJA ZA OBNOVITEV ZNANJA

1. Na kratko opiši elemente sistema Nonel!
2. Uporaba sistema Nonel!
3. Katere so glavne prednosti?



4 VRTANJE MINSKIH VRTIN

4.1 UVOD



Za vrtanje minskih vrtin v hribini je pomembno poznavanje osnovnih lastnosti hribine.

Hribine klasificiramo glede na njihov nastanek in glede na osnovne fizikalne lastnosti.

Po nastanku ločimo:

- ❖ magmatske hribine
- ❖ metamorfne hribine
- ❖ sedimentne hribine

Lastnosti, ki vplivajo na vrtanje:

- ❖ trdota
- ❖ trdnost
- ❖ elastičnost
- ❖ plastičnost
- ❖ abrazivnost
- ❖ plastovitost
- ❖ struktura

Tehnika vrtanja z razstreljevanjem je večstransko uporabna in razširjena v različnih panogah in pri različnih delih.

V geotehnologiji, gradbeništvu in rudarstvu ima poseben pomen pri gradnji:

- ❖ podzemnih prostorov
- ❖ geotehničnih konstrukcij
- ❖ usekov
- ❖ izkopov
- ❖ in pri pridobivanju rudnin

Poznamo različne načine vrtanja minskih vrtin.

- ❖ mehanski
- ❖ termični
- ❖ hidravlični
- ❖ električni
- ❖ seizmični
- ❖ nuklearni
- ❖ akustični

V vsakodnevni praksi vrtanja in razstreljevanja hribin (kamnin) uporabljamo izključno mehanski način vrtanja minskih vrtin.

V uporabi so naslednji načini mehanskega vrtanja minskih vrtin:

- ❖ udarno
- ❖ rotacijsko
- ❖ udarno - rotacijsko

Vrste vrtanja, uporabljene pri razstreljevanju hribin:

- ❖ ročno
- ❖ mehanizirano (avtomatizirano)
- ❖ vrtanje pri izdelavi podzemnih prostorov
- ❖ vrtanje na odkopih
- ❖ vrtanje pri izdelavi jaškov (vertikalnih podzemnih prostorov)
- ❖ vrtanje pri izvajanju podpornih ukrepov

4.2 UDARNO VRTANJE

Udarno vrtanje temelji na principu dleta in kladiva. Udarno vrtanje je primerno za trdne hribine.

$$P > \delta_p \cdot S[N] \quad (\text{povzeto po Pečovnik, 1987, str. 60})$$

P...sila udarcev (N)
 σ_p ...porušna trdnost hribine (N / m²)
 S...površina, na katero deluje dleto (mm²)
 Globina prodiranja (penetracije) dleta v hribino pri vsakem udarcu je proporcionalna sili udarca in obratno – proporcionalna premeru dleta in trdnosti hribine, kar kaže naslednja enačba:

$$h = \frac{P}{2 \cdot d \cdot \sigma_p} (\text{mm}) \quad (\text{povzeto po Pečovnik, 1987, str. 65})$$

h...globina penetracije pri enem udarcu (mm)
 P...sila udarca (N)
 d...premer dleta (mm)
 σ_p ...trdnost hribine (N/m²)

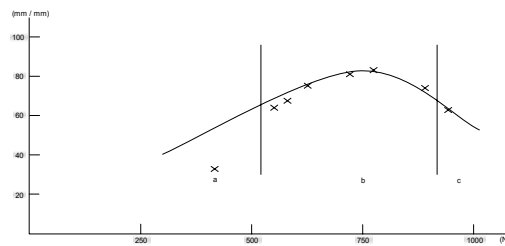
Na globino penetracije dleta v hribino vpliva še kot dleta σ in trenje med dletom in stenami vrtine, ki v enačbi nista upoštevana.

Hitrost napredovanja dleta oz. hitrost vrtanja je obratno sorazmerna koeficientu trdnosti (f) po Protodiakonovu:

$$v = \frac{100}{f} \cdot K (\text{min/min}) \quad (\text{povzeto po Hrastnik, 1978, str. 45})$$

v...hitrost napredovanja dleta (min/min)
 f...koeficient trdnosti po Protodiakonovu
 K...koeficient, odvisen od teže kladiva (0,9 – 1,4)

Graf 1: Vpliv sile pritiska na dleto, na hitrost vrтанja



(Hrastnik, 1978, str. 45)

Področje a:

V tem področju je pritisk na dleto nezadosten, dleto nima pravega stika z dnom vrtine in hitrost vrтанja je majhna.

Področje b:

V tem področju je pritisk na dleto pravilen, hitrost vrтанja je največja.

Področje c:

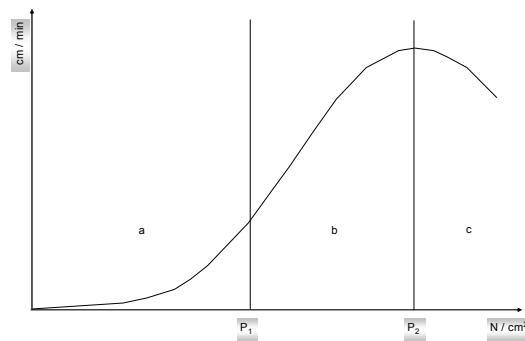
To je področje prevelikega pritiska, hitrost vrтанja se zmanjšuje, ker je otežkočeno obračanje dleta.

4.3 ROTACIJSKO VRTANJE

Rotacijski način vrтанja se razlikuje od udarnega vrтанja po tem, da se hribina ne razbije in drobi, temveč se neposredno reže. Ta način vrтанja se uporablja za vrтанje v zmerno trdnih hribinah, premogih in soli.

Delovni element pri rotacijskem vrтанju je sveder (dleto) določene oblike. Penetracija ali prodiranje svedra (dleta) v hribino narašča z naraščanjem pritiska na dno vrtine, upada pa s premerom vrtalne krone in trdnosti hribine.

Graf 2: Vpliv pritiska na hitrost vrtnja



(Hrastnik, 1978, str. 47)

a) Področje struženja

V področju a je pritisk na dleto oz. na dno vrtine nezadosten.

b) Področje rezanja

Hitrost penetracije dleta v hribino se začne naglo povečevati, ko se doseže in preseže kritičen pritisk P_1 .

c) Področje oviranja



Slika 10: Vrtna dleta

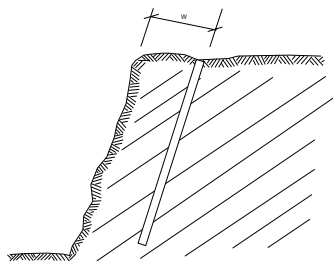
Vir: Božić, 1998, str. 48

Če pritisk na sveder preseže drugo kritično tičko P_2 , krona na dnu vrtine ne more več rezati tako hitro kot ji "narekuje" pritisk.

4.4 UDARNO ROTACIJSKO VRTANJE

Udarno – rotacijsko vrtnje predstavlja kombinacijo udarnega in rotacijskega vrtnja. Zanj je karakteristično periodično udarjanje kladiva pa stalno vrtečem se svedru.

Udarno – rotacijsko vrtnje je primerno za trdne in tudi mehkejše hribine. Hitrost vrtnja je do 5 krat večja kot pri udarnem vrtnju.



Slika 11: Shema izbojnice
Vir: Božić, 1998, str. 15

Udarno - rotacijsko vrtnje je klasičen sistem vrtnja minskih vrtin in tudi najbolj razširjen. Prvi prototip je bil izdelan že leta 1838 na parni pogon. Z uporabo komprimiranega zraka kot vira energije, (pri gradnji predora Mont Cenis 1861) pa se je uporaba udarno – rotacijskega vrtnja zelo hitro razvila pri razstreljevanju hribine v gradbeništvu in rudarstvu. Princip vrtnja sloni na udarcu bata na jekleni vrtni drog, po katerem se prenaša energija na rezilo, ki drobi hribino.

4.4.1 Osnove udarno – rotacijskega vrtnja

Udarno – rotacijsko vrtnje predstavlja kombinacijo naslednjih delovnih faz (*povzeto po Božić, 1998, str. 22*):

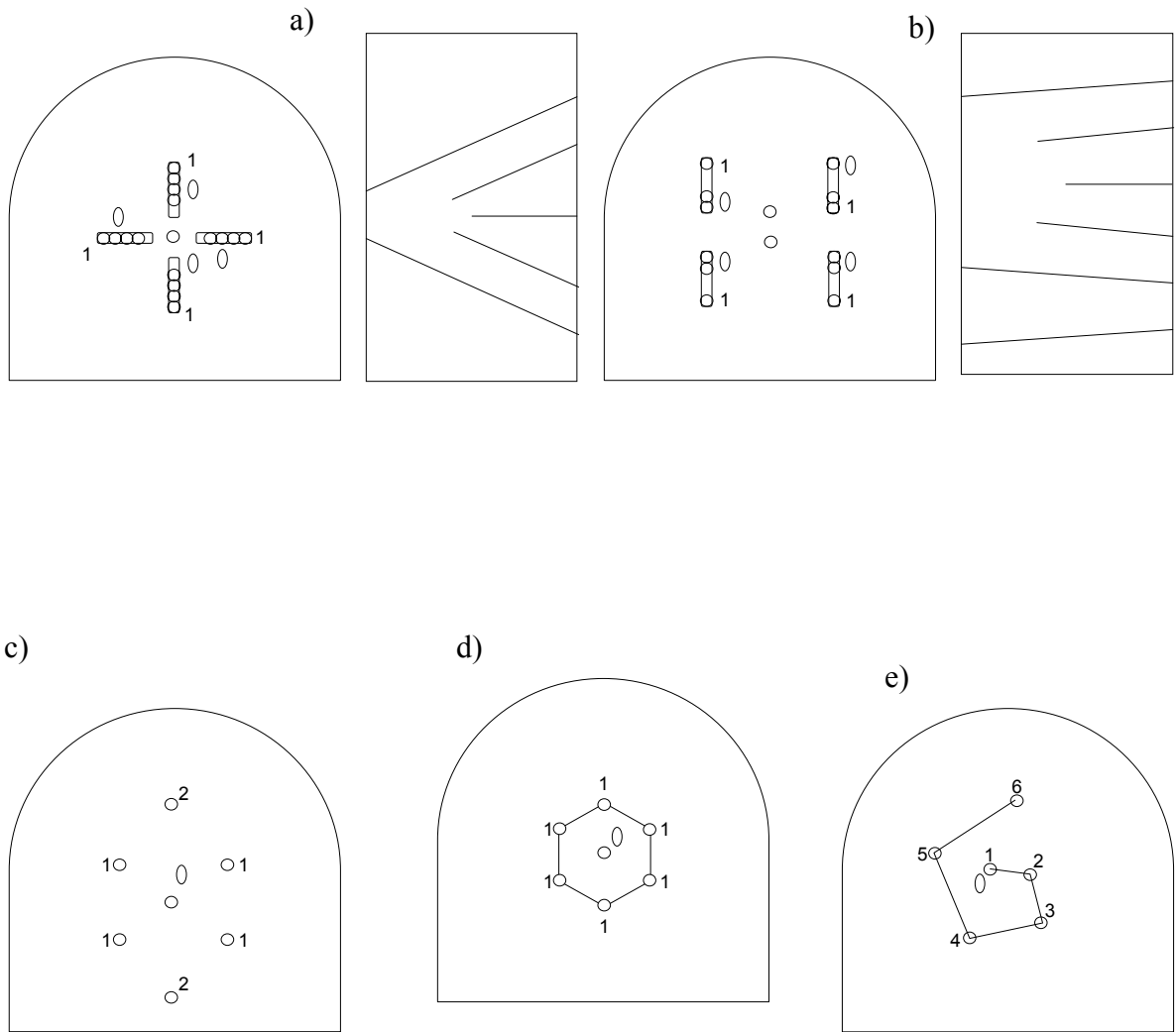
UDAREC	bat v vrtnem kladivu s ponavljajočimi udarci udarja na vrtni drog, ki prenaša silo udarca do rezila vrtnega svedra, ki drobi hribino.
ROTACIJA	z vrtenjem vrtnega svedra, udarja rezilo na hribino v različnih legah
POTISNA SILA	za vzdrževanje stalnega kontakta rezila s hribino je potrebna določena sila, s katero se potiska vrtni sveder proti hribini

UDARNO ROTACIJSKO VRTANJE SE DELI NA DVE VELIKI SKUPINI, ODVISNO OD LOKACIJE VRTALNEGA KLADIVA

- **vrtno kladivo izven vrtine; premer vrtin**
pri površinskih delih 50 – 127mm,
pri podzemnih delih 38 – 65mm.
- **vrtno kladivo v vrtini; premer vrtin**
pri površinskih delih 75 – 200mm
pri podzemnih delih 100 – 165mm

Prednosti udarno – rotacijskega vrtnja minskih vrtin so:

- ❖ velik razpon premera vrtin
- ❖ prilagodljivost in mobilnost vrtna opreme različnim delovnim operacijam
- ❖ enostavno in hitro vzdrževanje
- ❖ sprejemljiva nabavna cena



Slika 12: Različne vrste zalomov

a) piramidni, b) klinasti, c) prizmatični, d) cilindrični, e) spiralni

Vir: Božić, 1998, str. 25

4.5 POVZETEK



Za vrtanje minskih vrtin v hribini je pomembno poznavanje osnovnih lastnosti hribine.

Hribine klasificiramo glede na njihov nastanek in glede na osnovne fizikalne lastnosti.

Udarno vrtanje temelji na principu dleta in kladiva. Udarno vrtanje je primerno za trdne hribine.

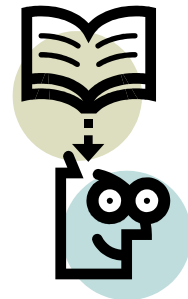
Rotacijski način vrtanja se razlikuje od udarnega vrtanja po tem, da se hribina ne razbije in drobi, temveč se neposredno reže. Ta način vrtanja se uporablja za vrtanje v zmerno trdnih hribinah, premogih in soli.

Udarno – rotacijsko vrtanje predstavlja kombinacijo udarnega in rotacijskega vrtanja. Zanj je karakteristično periodično udarjanje kladiva pa stalno vrtečem se svedru.

Udarno – rotacijsko vrtanje je primerno za trdne in tudi mehkejše hribine.

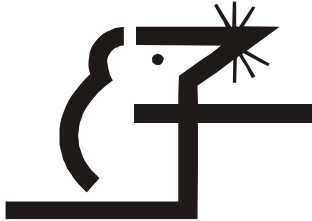
4.6 VPRAŠANJA ZA OBNOVITEV ZNANJA

1. Katere načine vrtanja minskih vrtin poznaš?
2. Kolikšna mora biti sila udarca, koliko pa horizontalna sila pri udarnem vrtanju?
3. Razlika med udarnim in udarno-rotacijskim vrtanjem!
4. Naštej lastnosti kamnin, ki vplivajo na vrtanje!



5 OSNOVE MINIRANJA

5.1 UVOD



Poznavanje osnov miniranja je eden ključnih dejavnikov za zagotavljanje varnega procesa razstreljevanja. V poglavju so predstavljeni naslednji pojmi:

- ❖ Vrtanje minskih vrtin
- ❖ Prosta ploskev
- ❖ Izbojnica
- ❖ Priprava udarnega naboja
- ❖ Načini odstreljevanja
- ❖ Nevarnosti pri miniranju

5.2 VRTANJE MINSKIH VRTIN

Začetek del pri miniranju je vrtanje minskih vrtin. Premer vrtine mora biti takšen, da patrona pri nabijanju gladko zdrsne. Običajno se ravna po premeru patron. Globina vrtine je odvisna od materiala, ki ga odstreljujemo. Jasno je, da so pri mehkih vrtnah daljše vrtine kot pa pri trdih.

5.3 PROSTA PLOSKEV

Prosta ploskev je tista ploskev kamnine ali hribine, ki meji na zrak. V smeri proste ploskve je upor kamnine proti rušenju z eksplozivom najmanjši. Miniranje je tem uspešnejše in poraba eksploziva tem manjša, čim več prostih ploskev ima minsko polje.

5.4 IZBOJNICA

Pravokotno in hkrati najkrajšo razdaljo od minske vrtine ali središča razstrelilnega naboja do najbližje proste ploskve imenujemo izbojnica. Tudi izbojnica ima pri miniranju važno vlogo. Če je prevelika, bo kamnina premalo zdrobljena. Če je izbojnica prekratka, pride do prevelikega drobljenja in razmetavanja materiala. V praksi določamo izbojnico glede na:

- ❖ vrsto kamnine in njeno razpakanost,
- ❖ premer minskih vrtin.

Učinek eksplozije razstreliva je odvisen od razdalje območja do središča eksplozije. Glede na to razdelimo okolico eksplozije na štiri območja:

- | | |
|-------------------------|---------------------------------|
| - območje mletja: | Kamnina se tu zdrobi v prah; |
| - območje lomljenja: | Tu se kamnina lomi in odletava; |
| - območje razpakanosti: | Tu nastajajo razpoke v kamnih; |

- območje potresov: Tu se kamnina stresa, vendar se ne poruši.

5.5 PRIPRAVA UDARNEGA NABOJA

Udarni naboj je patrona, ki je opremljena z enim od naslednjih sredstev za vžig eksploziva:

- ❖ detonacijska kapica s počasi gorečo vžigalno vrvico,
- ❖ električni vžigalnik,
- ❖ detonacijska vrvica,
- ❖ buster z detonacijsko vrvico.

Z udarnim nabojem sprožimo razstrelivo v minski vrtini.

➤ *Priprava udarnega naboja z detonacijsko kapico in počasi gorečo vžigalno vrvico*

Najprej odrežemo z ostrim in čistim nožem na leseni podlagi počasi gorečo vrvico na enem koncu pod kotom 45°. Prva vrvica mora biti dolga najmanj 1m, vsaka naslednja pa 10cm daljša. Drugi konec mora biti odrezan pravokotno in tega vtaknemo v kapico ter ga z minerskimi kleščami učvrstimo (previdno stisnemo pločevino na koncu kapice okrog vrvice). S šilom vbodemo luknjo v patrono, vtaknemo opremljeno kapico vanjo ter jo pričvrstimo. S tem je udarni naboj pripravljen.

➤ *Priprava udarnega naboja z električnim vžigalnikom*

Za nameščanje detonatorjev se izdelava na čelu patrone vdolbina, ne da bi se odpiral omot patrone. V to vdolbino se previdno vtisne električni detonator, nato pa se žice električnega detonatorja pritrdijo na patrono z zanko, da so žice ovite vzdolž in okoli udarne patrone. S tem preprečimo izpad vžigalnika pri vstavljanju v minsko vrtino.

➤ *Priprava udarnega naboja z detonacijsko vrvico*

Priprava udarnega naboja z detonacijsko vrvico je dokaj preprosta. S šilom prebodemo patrono razstreliva in vanjo vtaknemo detonacijsko vrvico, to pa z izolacijskim trakom dobro pritrdimo na naboj. Lahko pa detonacijsko patrono tudi z zanko privežemo okrog patrone.

5.5.1 Polnjenje minskih vrtin

Pred polnjenjem vrtin z razstrelivom moramo kontrolirati globino, premer in razvrstitev vrtin ter ugotoviti, če je to v skladu s shemo razstreljevanja. Prepovedano je polnjenje vrtin, ki so nepravilno razvrščene. Dovoljeno je napolniti samo toliko vrtin, kolikor se jih naenkrat odstrelji. Nato moramo vrtino očistiti in s palico izmeriti njeno globino. Ob vrtini pripravimo potrebno količino eksploziva, nato izdelamo udarni naboj. Udarni naboj lahko vstavimo:

- ❖ na dno minske vrtine kot prvo patrono,
- ❖ v sredino polnjenja minske vrtine,
- ❖ na vrh polnjenja minske vrtine kot zadnjo patrono.

Pri polnjenju vrtin moramo patrone previdno in posamično vlagati do dna vrtine oz. do predhodne patrone, zlasti kadar so vrtine usmerjene navzgor. Pri tem moramo patrone rahlo potiskati brez udarcev tako, da se ena patrona dotika druge. Patrone ne smemo s silo potiskati v vrtino, niti mečkati.

5.5.2 Mašenje minskih vrtin

Vsaka minska vrtina mora biti zamašena (začepljena). Za čepljenje lahko uporabljamo samo negorljiv material, in sicer:

- ❖ mivko, droben pesek, izvrtanino,
- ❖ glino, ilovico,
- ❖ vodo.

Dolžino mašila določimo glede na premer minske vrtine, linijo najmanjšega odpora ter glede na fizikalno mehanske lastnosti hribine, v kateri miniramo. Pri majhnih premerih minskih vrtin mora biti čep dolg najmanj eno polovico dolžine patron, kar je eno tretjino dolžine vrtine (skupna dolžina patron in mašila). Pri minskih vrtinah z velikim premerom pa mora dolžina čepa znašati 20 do 30 – kratni premer vrtine. Zamašek vrtine mora po vsej dolžini popolnoma zapolnjevati prerez vrtine. Pri razbijanju velikih blokov ali kosov hribine morajo biti vrtine tako razporejene in usmerjene, da je razstrelivo v vrtinah oddaljeno najmanj 30 cm od najbližje proste ploskve bloka. Ta odstrel je dovoljen šele takrat, ko to odobri odgovorna oseba (nadzornik), strogo pa je prepovedano uporabljati razstrelivo v obliki nalepk ali pilepk oz. na način, ko razstrelivo ni vloženo v minsko vrtino.

5.5.3 Vezava minskega polja

- Vezava minskega polja s počasi gorečo vrvico:

Napolnjene in začepljene minske vrtine moramo med seboj povezati, da jih lahko sočasno aktiviramo ali pri prižiganju s počasi gorečo vžigalno vrvico vsaj približno istočasno. V tem primeru prižgemo vsako vrvico posebej. Ko pa je potrebno aktivirati več kot 10 vrtin, uporabimo minsko satovje, seveda če so vrtine med seboj blizu.

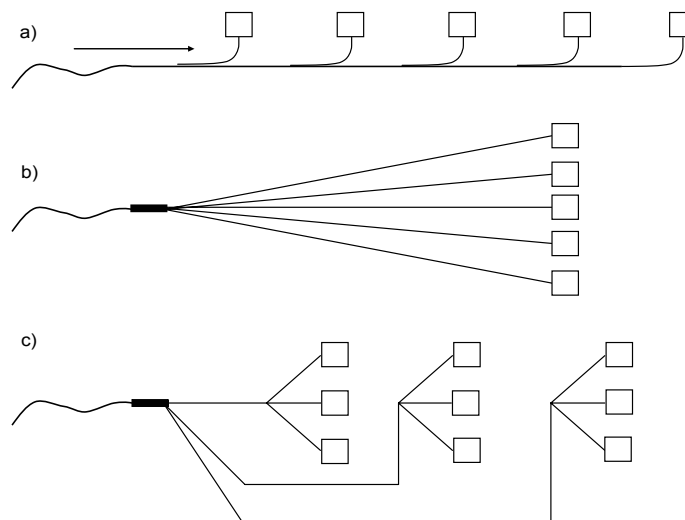
- Vezava minskega polja z detonirajočo vžigalno vrvico:

Detonirajočo vžigalno vrvico uporabljamo za aktiviranje minskega polja predvsem pri množičnih miniranjih.

Detonacijsko vrvico aktiviramo z detonacijsko kapico ali električnim detonatorjem.

Pri vezavi minskega polja z detonacijsko vrvico poznamo tudi več načinov mrež:

- ❖ zaporedna mreža,
- ❖ vzporedna mreža,
- ❖ kombinirana mreža.



Slika 13: Različne vezave minskega polja z detonacijsko vrvico

a) zaporedna, b) vzporedna, c) kombinirana

Vir: Belšak, 1978, str. 22

Pri uporabi detonacijske vrvice moramo upoštevati naslednja pravila:

- ❖ vrvico moramo rezati z ostrim nožem, ki ga moramo po vsakem rezanju do čistega obrisati;
- ❖ rezati moramo vedno na leseni podlagi;
- ❖ pri polaganju detonacijske vrvice moramo paziti, da je ne poškodujemo (pohodimo, udarimo...);
- ❖ vrvice se ne smejo križati; če se temu ne moremo izogniti, morata biti vrviči, ki se križata, vsaj 0,5 m druga nad drugo;
- ❖ konce detonacijske vrvice je potrebno zaščititi pred vlago.

➤ Električna vezava minskega polja:

Električno vezavo minskega polja uporabljamo, kadar ga sprožimo z električnim vžigalnikom. Ta način ima prednosti pred ostalimi in nam omogoča:

- ❖ sočasno vžiganje velikega števila min;
- ❖ sproženje v točno določenem trenutku;
- ❖ aktiviranje v poljubnih časovnih razmakh od nekaj tisočink sekunde do nekaj sekund;
- ❖ pred sproženjem lahko enostavno preverimo pravilnost vezave v posameznih krakih ali celotne mreže;
- ❖ minsko polje sprožimo iz velike razdalje, s čimer se poveča varnost;
- ❖ miniranje v rudniku z metanom in nevarnim premogovim prahom;
- ❖ miniranje v vseh vremenskih razmerah (toplo, hladno, suho, mokro vreme).

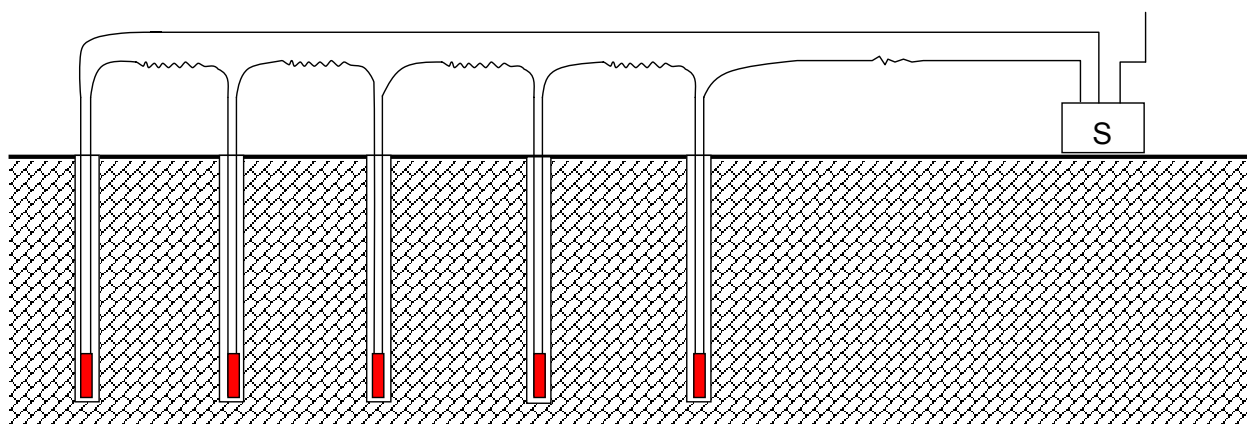
Kot pri vezanju minskih polj z detonacijsko vrvico ločimo tudi pri uporabi električnih vžigalnikov tri vrste mrež:

- ❖ zaporedna mreža,
- ❖ vzporedna mreža
- ❖ kombinirana mreža.

➤ Zaporedna mreža:

Značilnosti zaporedne mreže so:

- ❖ skozi vse električne vžigalnike teče tok enake jakosti, kar omogoča, da se aktivirajo vsi vžigalniki ali pa nobeden, če je v mreži napaka;
- ❖ za aktiviranje več vžigalnikov potrebujemo majhen tok in zaradi tega tudi majhen vžigalni strojček in majhen presek kablov;
- ❖ dolžina kablov in električnih žic je sorazmerno majhna v primerjavi z vzporedno vezavo;
- ❖ mreža je preprosta in dobro pregledna;
- ❖ izračun in kontrola mreže sta enostavna.



Slika 14: Zaporedna vezava minskega polja

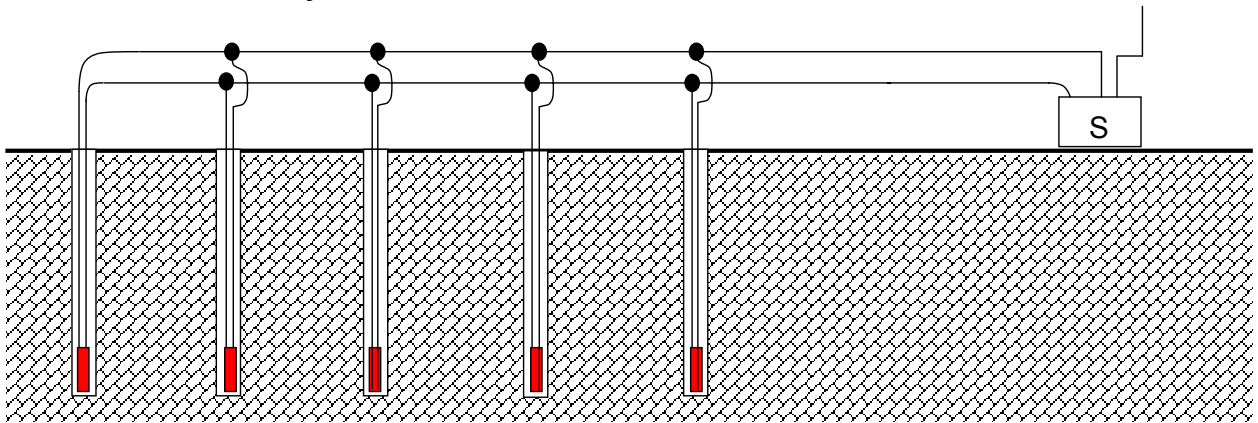
Vir: Belšak, 1978, str. 28

Zaporedna vezava je po predpisih obvezna za metanske jame.

➤ Vzporedna mreža:

Značilnosti vzporedne mreže so:

- ❖ če je v mreži napaka, npr. ena veja prekinjena ali kakšen vžigalnik pokvarjen, se bodo drugi vžigalniki kljub temu aktivirali;
- ❖ skozi posamezne vžigalnike teče različni električni tok, zato bodo detonatorji, ki so bliže glavnemu vodu, dobivali močnejši tok in bodo prej eksplodirali;
- ❖ potrebujemo električni strojček za vžiganje z večjo močjo;
- ❖ glavni vodniki morajo imeti večji presek;
- nemogoče je kontrolirati brezhibnost cele mreže;
- mreža je zapletena in nepregledna;
- izračun mreže je težaven.



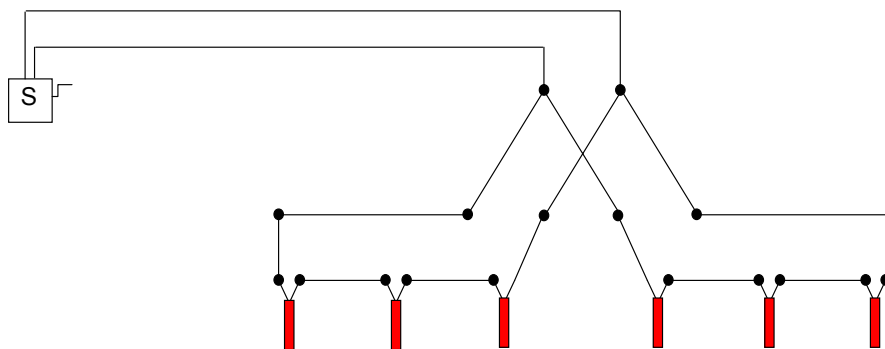
Slika 15: Vzporedna vezava minskega polja

Vir: Belšak, 1978, str. 29

Zaradi naštetih pomanjkljivosti vzporedni način vezave redko uporabljamo.

➤ Kombinirana mreža:

Ta način je kombinacija zaporedne in vzporedne vezave in vsebuje vse prednosti in pomanjkljivosti le-teh. Kombinirane mreže uporabljamo predvsem tedaj, ko je napetost strojčka premajhna, da bi zagotovila potreben tok za aktiviranje zaporedne mreže z ustreznim številom detonatorjev.



Slika 16: Kombinirana vezava minskega polja

Vir: Belšak, 1978, str. 30

➤ Slabe strani električne vezave minskega polja:

Električna vezava minskega polja ima tudi svoje slabe strani. Električnih detonatorjev ne smemo uporabljati v bližini daljnovodov in drugih močnih izvorov električnega toka.

5.6 NAČINI ODSRELJEVANJA

Kljub napredku mehanizacije si pri nekaterih delovnih operacijah še vedno pomagamo z odstreljevanjem, zlasti pri:

- ❖ izdelavi jamskih prog (rovov) in jaškov,
- ❖ izdelavi večjih prostorov, kot so delavnice, remize, nadvozišča, križišča, ...,
- ❖ pri odkopavanju premoža in rude.

Pri izdelavi jamskih prog moramo gledati predvsem na to, da dobimo čim več prostih ploskev. V praksi uporabljamo več vrst zalomov:

- ❖ za mehkejše kamnine: piramidni, klinasti
- ❖ za trde: cilindrični, prizmatični, spiralni.

Pri izdelavi zalomov za trde kamnine uporabljamo pnevmatske noge, hidravlične vrtalne garniture in šablone za vrtanje. Število vrtin za enkratno odstrelitev dobimo po empiričnih formulah, kot je npr.:

$$N = k \cdot \sqrt{F \cdot s} \quad (\text{povzeto po Pečovnik, 1987, str. 74})$$

N...število vrtin

k...koef., odvisen od vrste in premera eksploziva

f...koef. trdnosti po Protodiakonovu

s...presek proge (m²)

Pri pridobivanju rudnin na površinskih kopih in kamnolomih kakor tudi pri gradbenih delih je glavna naloga strokovnjaka za miniranje izbira najprimernejšega načina razstreljevanja.

Izbira metode razstreljevanja je odvisna od različnih elementov kot so:

- ❖ značilnosti hribine in nahajališča
- ❖ dinamika del ali planirana količina
- ❖ razstreljevanje hribine
- ❖ zahtevana zrnatost razstreljene hribine
- ❖ predvidena mehanizacija
- ❖ posebni varnostni ukrepi

5.6.1 Splošni model za načrtovanje razstreljevalnih del

1. Vhodni podatki za načrtovanje razstreljevalnih del, na katere je možno vplivati:

- ❖ višina etaže
- ❖ dolžina minske vrtine
- ❖ premer minske vrtine in premer razstreliva
- ❖ velikost čepa, izdelava čepa in vrsta materiala za izdelavo čepa
- ❖ vrsta razstreliva , način iniciranja in časovna zakasnitev
- ❖ določitev izbojnice (linije najmanjšega upora) in razdaljo med vrtnami
- ❖ določitev prostih površin

2. Elementi, na katere ni možno vplivati:

- ❖ GEOLOŠKE IN MORFOLOŠKE ZNAČILNOSTI TERENA
- ❖ INŽENIRSKO-GEOLOŠKE ZNAČILNOSTI HRIBINE

3. Elementi, na katere je možno delno vplivati

- ❖ HIDROGEOLOŠKE PRILIKE

REZULTATI RAZSTRELJEVANJA

- ❖ zrnatost odstreljene hribine
- ❖ oblika odstreljene hribinske mase
- ❖ potres (seizmični efekt)
- ❖ zračni udar
- ❖ razmet posameznih kosov hribine
- ❖ zatajilci

5.6.2 Razstreljevanje s kratkimi minskimi vrtnami

Kratke minske vrtine so vrtine dolžine do 6 m in premera do 60 mm. Razstreljevanje s kratkimi minskimi vrtnami se uporablja:

- ❖ za izkop temeljev in gradbenih jam
- ❖ za izkop plitvih usekov
- ❖ pri odkopavanju plitvih etaž
- ❖ za rahljanje hribinske mase
- ❖ za sekundarno razstreljevanje

Delovni cikel pri izdelavi podzemnih prostorov je naslednji:

- ❖ vrtanje minskih vrtin
- ❖ polnjenje minskih vrtin
- ❖ odstrelitev
- ❖ prezračevanje
- ❖ nakladanje in transport
- ❖ podgrajevanje
- ❖ pomožne operacije

Vrtine morajo biti pravilno zastavljene in imeti morajo pravilen naklon. Označevanje vrtin mora biti točno po v naprej pripravljeni shemi.

Napačno vrtanje zmanjšuje rezultat odstreljevanja.

Na obseg in način odstreljevanja ima pri izdelavi podzemnih prostorov največji vpliv prečni presek podzemnega prostora in fizikalno – mehanske lastnosti hribine.

Pri izdelavi podzemnih prostorov je prosta in prisotna samo ena površina in sicer delovno čelo. Torej imamo samo eno prosto ploskev. Tekom odstreljevanja moramo zagotoviti še drugo prosto ploskev, proti kateri se lahko odlomi oziroma odvrže razstreljena hribina. Druga prosta ploskev nastane z vrtanjem posebnih zalomnih vrtin.

5.6.3 Razstreljevanje dolgih minskih vrtin

Dolge minske vrtine so vrtine daljše od 6 m in večjim premerom kot 60 mm.

Odstreljevanje z dolgimi minskimi vrtinami je najbolj razširjena metoda odstreljevanja pri izvajanju gradbenih del in pri pridobivanju rudnin na površinskih kopih in v kamnolomih.

Glede na metodo odstreljevanja s kratkimi minskimi vrtinami, metoda dolgih minskih vrtin omogoča istočasno odstrelitev velikega števila minskih vrtin. Rezultat odstreljevanja je velika količina odstreljene hribine z enakomerno zrnatostjo, kar omogoča učinkovito uporabo sodobne mehanizacije za nakladanje in transport.

Osnovni pogoji za pravilno določitev vseh parametrov odstreljevanja je dobro poznavanje fizikalno – mehanskih lastnosti hribine in minersko – tehničnih lastnosti razstreliva.

Odločilni vpliv na rezultat odstreljevanja imajo:

- ❖ IZBOJNICA
- ❖ RAZDALJA MED VRTINAMI
- ❖ VRSTA RAZSTRELIVA

Primer: Odstreliti je potrebno progo v apnencu s profilom 10 m². Koliko vrtin moramo zavrtati? Uporabljamo dinamit Ø 32mm. Globina enkratnega odstrela je 1,5 m.

Iz tabele vidimo, da je f za apnenec 8, k za dinamit premera 32 mm je 2,7.

$$N = 2,7 \times \sqrt{8 \times 10} = 24 \text{ vrtin}$$

Teh 24 vrtin razvrstimo po profilu tako, da bo odstreljevanje čim bolj učinkovito.

Tabela 2: Poraba razstreliva

Hribina	Koef. Trdnosti f (po Protodiakonovu)	Spec. Poraba q (kg/m ³) Za odmetavanje	Spec. poraba q (kg/m ³) Za porušitev
Peščena glina	0,5	1,0-1,15	0,33-0,4
Gosta glina	0,6	1,0-1,3	0,33-0,4
Kreda	0,8	1,0-1,3	0,25-0,3
Gips, lapor	1,0-1,5	1,0-1,3	0,35-0,45
Peščenjak, dolomit	5	1,35-1,65	0,45-0,55
Apnenec	6-10	1,9 -2,1	0,45-0,7
Granit	8-16	1,5-2,15	0,5-0,7

Vir: Božić, 1998, str. 66

Specifična poraba razstreliva je tista količina razstreliva, ki je potrebna za drobljenje enega kubičnega metra kamnine (kamna, rude, premoga). V našem primeru je specifična poraba za apnenec $q=2\text{kg/m}^3$. Iz preseka (s) in globine odstrela (l) izračunamo, da je skupna količina eksploziva, potrebna za en odstrel:

$$Q = q \times V$$

Q...skupna količina eksploziva (kg)

V...volumen odstreljene hribine (m³)

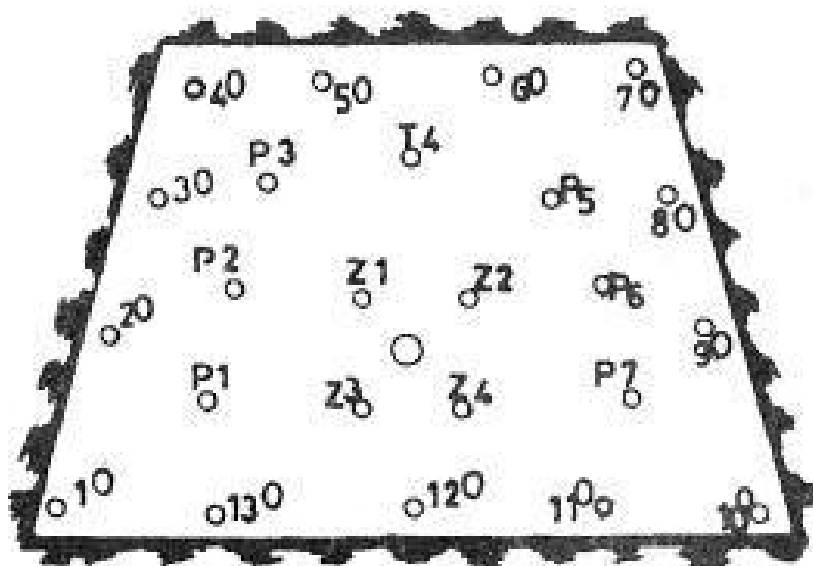
l...globina odstrela (m)

$$V = s \times l = 10\text{m}^2 \times 1,5\text{m} = 15\text{m}^3$$

$$Q = 2\text{kg} / \text{m}^3 \times 15\text{m}^3 = 30\text{kg}$$

Izdelamo shemo vrtanja in odstreljevanja.

Najprej razporedimo vrtnice.



Slika 17: Razporeditev vrtin pri odstreljevanju v jami

Vir: Božić, 1998, str. 67

z – zalomne vrtine
 p – pomožne vrtine
 o – obrobne vrtine

Izbrali smo paralelni cilindrični zalom za trde kamnine. V sredini imamo zalomne vrtine. Okrog zavrtamo pomožne in obrobne vrtine, kot je prikazano na sliki.

Sedaj je potrebno primerno porazdeliti razstrelivo po vrtnah. Zalomne vrtine nabijemo bolj kot pomožne, obrobne pa manj. Iz tega sledi:

- polnitev zalomnih vrtn : $Q_z = \frac{Q}{N} + 20\%(kg / vrtino)$

$$Q_z = \frac{30kg}{24vrtin} + 20\% = 1,5kg / vrtino$$

- polnitev pomožnih vrtn : $Q_p = \frac{Q}{N} (kg / vrtino)$

$$Q_p = \frac{30kg}{24vrtin} = 1,25kg / vrtino$$

Za nabijanje zalomnih in pomožnih vrtn smo porabili:

$$Q_1 = 4 \times Q_z + 7 \times Q_p = (4 \times 1,5kg) + (7 \times 1,25kg) = 14,75 \text{ kg razstreliva,}$$

Torej nam za nabijanje obrobnih vrtn ostane še 15,25 kg razstreliva. Tega je potrebno porazdeliti na 13 vrtn. Tako popolnimo obrobne vrtine:

$$Q = \frac{15,25kg}{13vrtin} = 1,1kg / vrtino$$

Upor enega vžigalnika je:

$$R_v = 4,5\Omega$$

Za upor kabla dolžine 100 m (2 x 50 m) pa vzamemo v našem primeru $R_k = 15\Omega$.

Skupni izračunani upor je :

$$R = N \times R + R = 24 \times 4,5\Omega + 15\Omega = 123\Omega$$

Če je izmerjena upornost na ohmmetru enaka izračunani 123 Ω , lahko minsko polje sprožimo. Če pa je izmerjena upornost večja (neskončna) ali manjša od izračunane, je potrebno vezavo pregledati in popraviti ter ponovno izmeriti.

5.6.4 Napake pri odstreljevanju

Vsak miner mora vedeti, katere napake so pri odstreljevanju možne in kako jih je možno odpraviti.

• Napake zunaj vrtine

- ❖ Pokvarjen električni vžigalni strojček: Ko ugotovimo napako na strojčku, ga moramo zamenjati za novega, starega pa damo v popravilo.
- ❖ Slabo vezani ali prekinjeni električni vodniki: To ugotovimo pri kontroli z ohmmetrom. Napako odpravimo tako, da pregledamo vezavo in ponovno zvežemo.
- ❖ Stik neizoliranega dela tokovodnika s kovino ali drugo prevodno snovjo:
- ❖ Napako ugotovimo z ohmmetrom, vse neizolirane dele je treba dobro izolirati.
- ❖ Preveliko število vžigalnikov na en vžigalni strojček:

- ❖ Tudi ta napaka se pokaže pri merjenju z ohmmetrom. V tem primeru moramo nabaviti močnejši vžigalni strojček.

- **Napake v vrtini**

- ❖ Pokvarjen vžigalnik
Če so prekinjeni tokovodniki nekje na vžigalniku (žica pod izolacijo v vrtini, žarilna nitka), potem imamo zatajilec, ki ga točno določimo z ohmmetrom.
- ❖ Pokvarjeno razstrelivo v vrtini
Tudi to je zatajilec (naboj, ki ne eksplodira), ki pa ga ne moremo ugotoviti poprej, ampak šele med samo eksplozijo ali po njej (jakost zvoka, nerazrušena hribina).

5.6.5 Shranjevanje in uničevanje razstrelilnih sredstev

Shranjevanje razstrelilnih sredstev je natančno urejeno s predpisi. Razstrelilna sredstva lahko hranimo na površini ali pod zemljo.

Za površinska skladišča je treba upoštevati:

- ❖ varno oddaljenost od različno pomembnih objektov,
- ❖ pogoje izgradnje skladišča,
- ❖ način izgradnje,
- ❖ ukrepe zavarovanja,
- ❖ način uporabe skladišča.

Pri površinskem skladišču razstrelilnih sredstev se ne sme v ograjenem prostoru okoli vhoda v skladišče nahajati nikakršen material ali vozilo, razen tisto, ki je v fazi nakladanja razstrelilnih sredstev.

Vstop v skladišče je dovoljen le pooblaščenim osebam.

V skladišču se sme shranjevati le določena količina razstrelilnih sredstev. Količine so navedene na izobešenih tablah.

Razstrelilna sredstva se sme skladiščiti le v originalni tovarniški embalaži. V skladišču se zabojev, palet ali kartonov ne sme odpirati. Razstrelilna sredstva se mora skladiščiti tako, da se jih lahko izdaja v enakem zaporedju kot so prihajala v skladišče.

Razstrelilna sredstva se smejo izdajati samo na osnovi >> nalogov <<.

V skladišču se ne sme uporabljati orodja ali pribora, ki iskri. Sredstva za gašenje morajo biti v izpravnem stanju in se morajo nahajati na za to določenih mestih.

Strelec skladiščnik mora pri svojem delu upoštevati vse predpise in navodila proizvajalca razstrelilnih sredstev.

Izgradnja in uporaba podzemnih skladišč eksplozivnih sredstev sta določeni v predpisih o varstvenih ukrepih pri ravnanju z razstrelilnimi sredstvi in miniranju v rudarstvu, sam način shranjevanja in izdajanja razstrelilnih sredstev pa je podoben kot pri površinskih skladiščih.

Uničevanje razstrelilnih sredstev poteka v skladu s predpisi in navodili. Za uničevanje najdenih in zatajenih razstrelilnih sredstev je potrebno imeti poligon na površini, kjer se v skladu s predpisi in navodili izvaja uničevanje, v zvezi s tem pa se po zakonodaji vodi ustrezna evidenca.

5.6.6 Varnost pri delu z eksplozivnimi sredstvi

Delo z razstrelilnimi sredstvi ter samo miniranje je eno od najnevarnejših del. Razstrelivo v rokah neizkušenih in malomarnih oseb predstavlja veliko nevarnost zanje in za širšo okolico. Seznam množičnih in smrtnih nesreč je predolg. Dokazano je, da je bil največjemu številu nesreč vzrok prav človeški faktor. Zato je treba prav pri razstreljevalnih delih dosledno in natančno upoštevati vse potrebne varstvene predpise. Poleg temeljitega znanja o sredstvih za

miniranje in o tehniki miniranja mora miner poznati tudi vse varnostne ukrepe, ki preprečujejo nesrečo in zagotavljajo varno delo.

Varnost miniranja je zatorej le sestavni del splošnega znanja s področja miniranja. Zaradi nevarnega dela z razstrelilnimi sredstvi obstaja v svetovni in v naši zakonodaji vrsta zakonov in predpisov, katerih smoter je zmanjšati in preprečiti težo in pogostost nesreč.

Minerjeva naloga je, da opravlja svoje delo skladno s predpisi, zato jih mora tudi poznati. Pri nas so ti predpisi zbrani v različnih dokumentih, ki obravnavajo tudi varnostne ukrepe pri odstreljevanju v metanskih jamah in jamah z nevarnim premogovim prahom, kjer je odstreljevanje še posebej nevarno.

5.7 NEVARNOSTI PRI MINIRANJU

5.7.1 Potres

Največje poškodbe pri miniranju nastanejo zaradi potresov. Potres se pri miniranju širi v okolico in slabi z razdaljo od središča eksplozije. Stopnja slabjenja je odvisna od sestave kamnine. V sipkih tleh se potres močneje duši kot v trdnih. Zelo nevarno pa je, če je v hribini voda, kajti tu se potres zelo malo duši ali pa sploh ne. Jakost potresov se zelo zmanjša, če pri miniranju uporabimo milisekundne električne vžigalnike. Potres lahko poškoduje stavbe na površini ali pa podgradnjo na podzemeljskih objektih pri miniranju v jami. To nevarnost odpravimo z zmanjšanjem količine eksploziva na en interval milisekundnih električnih vžigalnikov in s pravilno razporeditvijo teh. Jakost streslajev merimo s posebnimi aparaturami. Važen podatek je tudi hitrost širjenja potresnih valov po hribini. Na osnovi meritev jakosti in hitrosti potresnih valov lahko določimo količino razstreliva, ki jo pri odstreljevanju v določeni hribini lahko uporabimo, da ne poškodujemo bližnjih objektov (podgradnja v sami progi, sosednje proge, skladišče, remize).

Za odstreljevanje v glinastih materialih v velenjskem premogovniku so z meritvami ugotovili naslednjo zakonitost (*povzeto po Božič, 1998, str. 70*):

$$\sqrt{L_i} = \frac{R}{\sqrt{\frac{433}{V_{\max}}}} \quad L_i \text{ -količina razstreliva na interval milisekundnih električnih vžigalnikov (kg)}$$

R -oddaljenost mesta odstreljevanja od varovanega objekta (m)

V_{\max} –dovoljena hitrost potresnih vibracij (mm/sek)

Primer:

R = 15 m uporabljeno razstrelivo: K II

$V_{\max} = 35 \text{ mm/sek}$

Z izračunom po formuli dobimo: $L_i = 4,8 \text{ kg}$.

Če uporabimo pri miniranju štiri številke milisekundnih električnih detonatorjev, to pomeni, da lahko za enkratni odstrel vzamemo $4 \times 4,8 = 19,2 \text{ kg}$ eksploziva K II in s tem ne bomo poškodovali objekta, podgrajenega z betonom na razdalji 15 m. Za odstreljevanje na površini uporabljamo posebne tabele, kjer so za določene razdalje vnesene dovoljene količine eksploziva.

5.7.2 Razmet

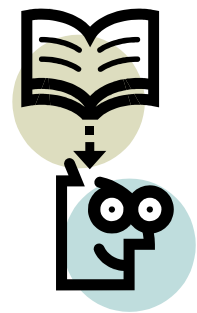
Pri vsakem miniranju pride do razmeta materiala. Razmet je odvisen od globine vrtin, količine razstreliva na eno vrtino in od dolžine ter kvalitete čepa, pa tudi od vrste kamnine, ki jo miniramo.

5.7.3 Zračni udar

Tudi zračni udar pri miniranju je nevaren. Nastane zaradi visokega pritiska pri eksploziji, ko se zrak v središču stisne, pritisk pa se v obliki udarnih valov prenaša na okolico. Udaru sledi protiudar, ko se zgne nazaj v prazen prostor na območju eksplozije.

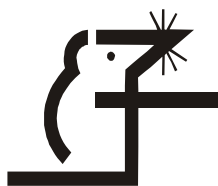
5.8 VPRAŠANJA ZA OBNOVITEV ZNANJA

1. Opiši vpliv proste ploskve na učinek miniranja!
2. Kaj je to izbojnica?
3. Opiši potek odstreljevanja od začetka do konca!
4. Opiši pomen zaloma pri odstreljevanju!
5. Katere so najpogostejše napake pri miniranju, kako jih ugotavljamo in kako odpravimo?
6. Naštej glavne nevarnosti pri miniranju!



6 KONTURNO MINIRANJE

6.1 UVOD



Konturno miniranje se izvaja za formiranje gladkih in nerazpokanih površin zaključnih kontur podzemnih in površinskih objektov. Namen konturnega miniranja je, da ustvarimo gladko brežino brez visečih blokov, in formiramo stabilnost brežine. To dosežemo s formiranjem konturnih razpok med konturnimi vrtinami, razporejenimi po projektirani liniji objekta. Zaradi malih koncentracij eksplozivnih polnitev ne prihaja do drobljenja hribine in nastajanja radialnih

razpok, ker so nastale tlačne in natezne napetosti manjše od tlačne in natezne trdnosti hribine. Konturna razpoka nastane s sočasnim delovanjem eksplozivnih polnitev sosednjih konturnih vrtin kot rezultat delovanja tlačnih nateznih napetosti.

Konturne vrtine se vrtajo po liniji lomljenja hribine pod določenim naklonom. Zelo pomembna je natančnost vrtanja, da dobimo pravilno oblikovano in gladko brežino. Dobimo jo, če vrtine ležijo v isti ravnini – to je v ravnini bodoče brežine.

Konturno miniranje je možno izvajati pred ali po izvedbi primarnega miniranja, zato ločimo:

- ❖ Metode ali tehnike predhodnega lomljenja (pre-cutting blasting), ko se konturna vrsta vrtin inicira pred vrtinami, ki so namenjene za primarno miniranje,
- ❖ metode ali tehnike gladkega lomljenja (smooth blasting), ko se konturna vrsta vrtin inicira kot zadnja v seriji.

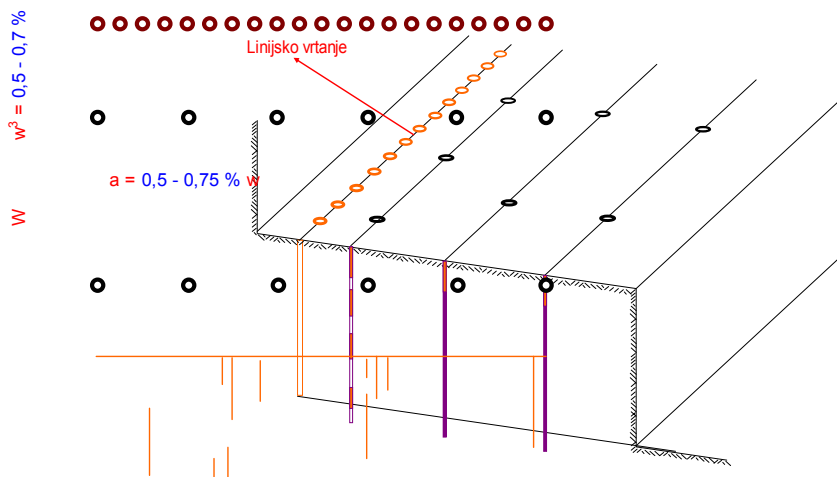
6.2 PREDHODNO LOMLJENJE (PRE-CUTTING BLASTING)

Linjsko vrtanje je tehnika predhodnega lomljenja, ki se sestoji iz linije vzporednih vrtin zelo blizu skupaj vzdolž linije izkopavanja, ki niso napolnjene z eksplozivom – in je ne odstrelimo, predstavljajo pa ravnino šibkosti, ki tvori prelomno ploskev, ko se izvede miniranje. Takšna ločilna površina se obnaša kot pregrada, od katere se udarni val odbije.

Vrtine imajo premer od 51 do 76 mm in se vrtajo v eni vrsti z razmikom 2 do 4 – kratne velikosti premera vrtine. Premeri, večji od 75 mm, se redko uporabljajo, ker posledično večji razmak med vrtinami povzroči težave pri prelomu med vrtinami. Globina vrtin, ki omogoča dobre rezultate, je odvisna od tega, ali so vrtine vzporedne. Zadovoljiv učinek je do dolžine 10 m.

Vrtine linijskega vrtanja se ne polnijo z eksplozivom, razen v kompaktnih trdih hribinah, kjer se vstavlja eksploziv v vsako tretjo vrtino. Prva vrsta vrtin primarnega miniranja, ki je najbližja linijski vrsti vrtin, je prva sprožena in se nahaja v razdalji 0,5 – 0,7 razmaka minskih vrtin, razmak med vrtinami pa je 0,5 – 0,7 linije najmanjšega odpora. Ta vrsta minskih vrtin se polni s količino eksploziva, ki znaša 50% eksplozivnega polnjenja ostalih minskih vrtin v polju.

Zaradi stroškov vrtanja se linijsko vrtanje redko uporablja, in še to izključno v primerih, kjer bi uporaba eksploziva v preplitkih vrtinah (tudi v malih količinah) povzročila poškodbe ali prelome skal na robu stene.



Slika 18: Konturno miniranje z linijskim vrtnjem in eksplozivnim polnjenjem
Vir: Božič, 1998, str. 55

6.2.1 Predminiranje ali predlomljenje

Ta način se uporablja večinoma pri površinskem razstreljevanju.

Namen predminiranja je, da se loči območje razstreljevanja od preostale kamninske formacije, tako da se oblikuje umetna razpoka vzdolž teoretične ravnine izkopavanja.

To se naredi s pomočjo vrtnja posamičnega niza relativno blizu razporejenih vrtin vzdolž linije razstrelitve. Premer vrtin je običajno med 30 in 64 mm. V večini primerov se vse vrtine polnijo z razstrelivom.

Predminiranje se razlikuje od rušilnega in rahljalnega razstreljevanja v tem, da se vrtine prožijo pred glavno razstrelitvijo. Minsko polnitev je možno aktivirati skupaj z glavno razstrelitvijo, toda z najnižjo intervalno številko.

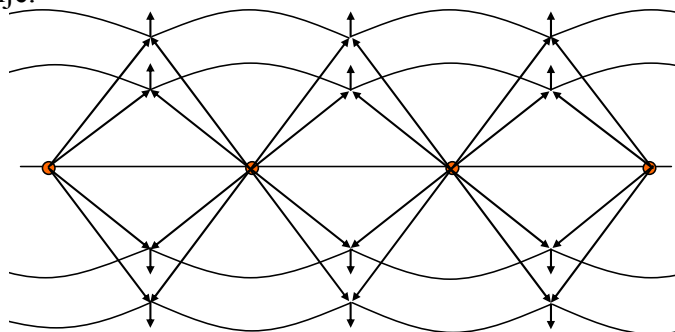
Včasih se izvrši predminiranje, preden se opravi vrtnje za glavno razstrelitev.

Predminiranje ali pretrganje (termini so istoznačni) je tehnika, kjer se uporablja:

- niz paralelnih vrtin zelo blizu druga drugi, vzdolž linije izkopavanja,
- "prekinjanje polnitve".

Aktiviranje predminiranja se izvede s trenutnimi vžigalniki, če okoliščine to omogočajo. Če to ni izvedljivo, potem se uporabijo milisekundne zakasnitve, predminiranje se aktivira pred rušilnim razstreljevanjem.

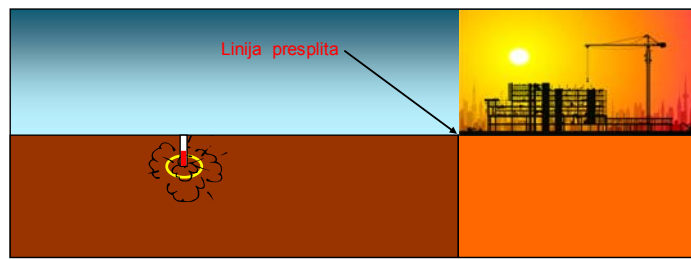
Namen le-tega je oblikovanje predhodno odrezanega čela. Rušenje in odriv kamnine ni načrtovano, še manj željeno. Kriterij načrtovanja predminiranja je povsem drugačen od načrta za rušitveno miniranje.



shematski prikaz nastanka konturne razpoke

Slika 19: Shematski prikaz razpoke

Vir: Božič, 1998, str. 71



Slika 20: Primer varovanja objekta

Vir: Božić, 1998, str. 75

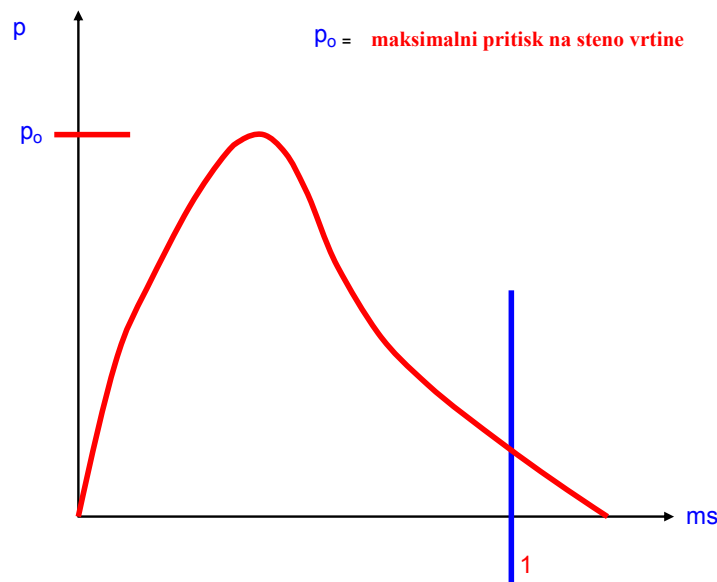
Splošna formula za ravnotežje energije se ne uporablja za načine pre-splitting, ker je razporeditev energije, prenesene na kamnino, povsem drugačna od tiste, ki velja za rušilno in rahljalno razstreljevanje. Količina energije, ki se razvije z razstrelivom, namenjenim za lomljenje in prestavitev, je nič. Dinamika zloma med vrtinami še ni povsem pojasnjena.

6.2.2 Teorija predminiranja

Ena teorija predpostavlja, da se udarni valovi radialno širijo kot posledica prižiga dveh sosednjih strelcev in s trčenjem ter medsebojnim prekrivanjem pritiskajo kamnino do točke, kjer se pojavi zlom linije ali razpoka. Ta teorija razlaga karakteristike procesa reza z naslednjim zaporedjem dogodkov:

- Detonacija povzroči dinamični pritisk na steno vrtine, ki doseže maksimalno vrednost p_0 . Razvoj tega dinamičnega pritiska je funkcija časa, kar je prikazano na (grafu št. 3);

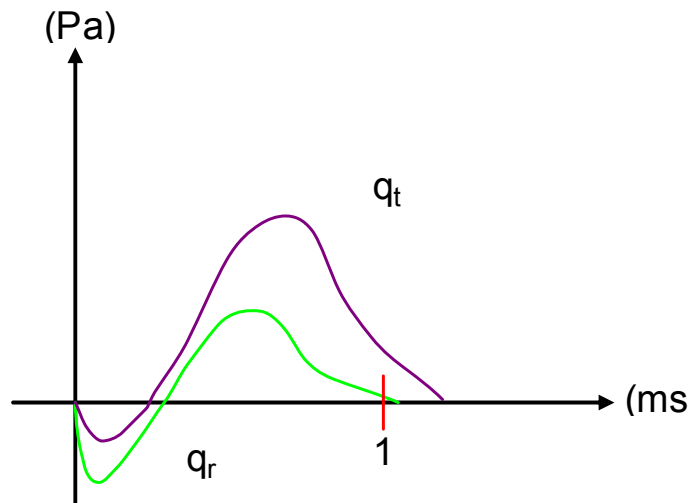
Graf 3: Naraščanje dinam. pritiska p na steno vrtine kot funkcija časa po aktiviranju mine



(Božić, 1998, str. 44, 1998)

- napetostni val se prenese v kamnino. Ta se lahko zlomi v radialno komponento q_r , in tangencialno komponento q_t ki v izredno kratkem času 1 milisek. prenese kamnino iz stisljivega v raztežno stanje (glej graf 4);

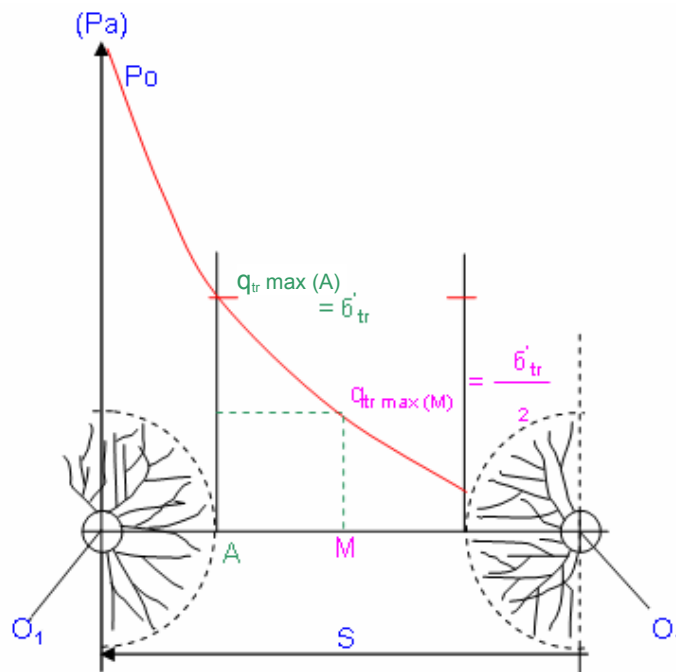
Graf 4: Potek udarnega vala v odvisnosti prenese kamnino iz stisljivega v raztežno stanje



(Božič, 1998, str. 48)

- v območju, ki neposredno ogroža strelno vrtino, je natezna napetost višja, kot je odpornost kamnine. Posledica je, da se ta zlomi.

Graf 5: Hipotetični prikaz dinamike predminiranja



(Božič, 1998, str. 50)

Zlomljeno območje ima polmer O_1A . Pri točki A (na meji med zlomljeno kamnino in celo kamnino) je pritisk $q_{tr \max(A)}$ dosegel vrednost σ'_{tr} (σ'_{tr} = odpornost proti dinamični natezni napetosti v kamnini).

kakor se razdalja od vrtine O_1 povečuje, se $q_{tr \max(A)}$ zmanjšuje skladno z obrazcem

$$q_{tr \max} = p_o * r_o / R \text{ (povzeto po Božič, 1998, str. 50)}$$

kjer je p_o = maksimalni pritisk na stene vrtine;

r_o = premer vrtine;

R = razdalja od osi vrtine, pri kateri se računa $\rho_{tr \max}$.

V pričujočem primeru, kjer sta dve polnitvi postavljeni v sosednjih vrtinah O_1 in O_2 , sta aktivirana istočasno udarna valova, ki trčita v točki M razdalje S (tu se njuna energija enakomerno porazdeli po sredini). Pri točki M so pogoji za zlom kamnine izpolnjeni, kadar je:

$$\rho_{tr \max(M)} = \sigma'_{tr} / 2$$

- Iz domneve, da se $\rho_{tr \max(M)}$, ki se (blizu vrtine) zmanjšuje kot funkcija razdalje skladno z $1 / R$, je mogoče izpeljati, da:

$$\rho_{tr \max(A)} = \sigma'_{tr} = p_o \times r_o / O_1 A$$

$$\rho_{tr \max(M)} = \sigma'_{tr} / 2 = p_o \times r_o / O_1 M$$

iz česar sledi: $O_1 M / O_1 A = 2$; kar je $S = 4 O_1 A$

p_o = vrednost maksimalnega dinamičnega pritiska na steno vrtine

σ'_{tr} = odpornost kamnine na dinamični raztezni pritisk ob proženju

ρ_{tr} = raztezni pritisk v kamnini ob proženju

Aktivirati je potrebno vsa polnjenja istočasno, da se pridobi kombinirani efekt udarnih valov posameznih polnjenj, ki trčijo med seboj na sredinskih točkah. To je praktično mogoče narediti, ne da bi prišlo do določenega zloma okoli vrtine. Logično se zdi uporabiti razstrelivo, ki razvije močan dinamični pritisk na stene vrtin – razstrelivo z visoko hitrostjo detonacije (pritisk detonacije je proporcionalen hitrosti detonacije). Če upoštevamo dejstvo, da se eksplozivi zelo razlikujejo drug od drugega v hitrosti detonacije, je intenziteta udarnega vala proporcionalna hitrosti detonacije. Dejstvo iz prakse, da eksplozivi z zelo majhno hitrostjo detonacije dajejo podobne rezultate, vodi do zaključka, da udarni val ni fundamentalni parameter za uspešno predminiranje. V praksi se je pokazalo, da se na tankih odsekih kamnine, ki so podvrženi predminiranju, ne pojavljajo razpoke ali mikrorazpoke okoli sten vrtin. S tem dosežemo odlične rezultate. Zaradi pomanjkanja natančnejših teoretičnih podatkov glede dinamike predminiranja se je priporočljivo naslanjati na praktične eksperimentalne podatke. Tabela 3 podaja vrednosti, ki jih priporoča Du Pont.

Tabela 3: Praktični parametri za predminiranje

Premer vrtine \emptyset (mm)	Gostota polnjenja p_e (kg/m)	Razdalja med vrtinami S_e (m)
38 - 44	0,12 - 0,38	0,30 - 0,45
51 - 64	0,12 - 0,38	0,45 - 0,60
76 - 89	0,20 - 0,75	0,45 - 0,90
102	0,38 - 1,12	0,60 - 1,20

(Belšak, 1978, str. 29)

V praksi se za izračun predminiranja uporabljata dve empirični formuli:

$$S_e < 10 \emptyset r$$

Se in $\emptyset r$ sta izražena z isto mersko enoto

$$\rho_e = 0,815 (s_e)^2 \text{ kg/m}$$

Formula 2 se ujema s Du Pont-ovo tabelo.

Tabela 4: Praktični parametri za predminiranje

S (m)	q_e (kg/m)	
	Du Pont	Formula 3
0,30 - 0,45	0,12 - 0,38	0,07 - 0,17
0,45 - 0,60	0,12 - 0,38	0,17 - 0,29
0,45 - 0,90	0,20 - 0,75	0,17 - 0,66
0,60 - 1,20	0,38 - 1,12	0,29 - 1,17

(Belšak, 1978, str. 31)

Empirični tabeli potrjujeta tezo, ki predpostavlja, da temelji predminiranje na pritisku plinov eksplozije.



Slika 21: Eksploziv za predminiranje

Slika: Božić, 1998, str. 84

6.2.2.1. Praktično izvajanje predminiranja

Ta metoda konturnega miniranja se lahko izvaja na dva načina:

- Prvi način je, da se konturne vrtine aktivirajo naprej za naslednje miniranje, tako konturna razpoka nastane pred primarnim miniranjem;
- Drugi način je, da se konturne vrtine aktivirajo trenutno, takoj za tem pa se nadaljuje primarno miniranje.

Tlačni udarni valovi sosednjih konturnih vrtnin se pri pre-splitting metodi uničujejo zaradi nasprotnih smeri delovanja in zato ne pride do drobljenja hribine. Natezne napetosti delujejo v isti smeri in se seštevajo. Njihova rezultanta je večja od natezne trdnosti kamnine, zato nastane konturna razpoka.

Za izračun veljajo naslednji obrazci:

⇒ razmak med konturnimi vrtinami:

$$A_k = k * D_v ; k \in [10,14] [m]$$

D_v = premer konturne vrtine. (m)

⇒ količina eksplozivne polnitve

$$q = 0,815 * A_k^2 ; [kg / m^1]$$

⇒ premer eksplozivne polnitve:

$$D_p = \sqrt{\frac{4 * q}{\pi * p_e}}$$

p_e – gostota, eksploziva : $[kg / m^3]$

⇒ količina polnitve na dnu vrtine: (kg)

$$q_d = 3 * q \text{ (kg)}$$

Ta količina eksplozivne polnitve se spusti na dno vrtine v višini 0,3 – 0,5 m.

Obstajajo tudi drugi načini za izračun parametrov pre-splitting metode, med katera spadata npr. izračun po Canmet-u in izračun na osnovi seizmičnih omejitev.

6.3 GLADKO LOMLJENJE (SMOOTH BLASTING)

Gladko miniranje oziroma obdelava brežine poteka z miniranjem konturne vrste kot zadnje v seriji. Konturne vrtine se lahko aktivirajo skupaj z minskim poljem ali po primarnem miniranju.

6.3.1 Gladko miniranje

Pri gladkem konturnem miniranju je vkleščenost konturnih minskih vrtin precej manjša kot pri metodah predhodnega lomljenja, zato se lahko zmanjša njihova gostota in koncentracija eksplozivne polnitve. Pri tem načinu konturnega miniranja obstaja prosta površina, kar vpliva na zmanjšanje potresnih učinkov. Gladko miniranje je po konstrukciji eksplozivne polnitve identično pre-splitting metodi.

Izračun izvedemo po naslednjih formulah:

⇒ razmak med konturnimi vrtinami:

$$A_k = 16 * D_v ; [m]$$

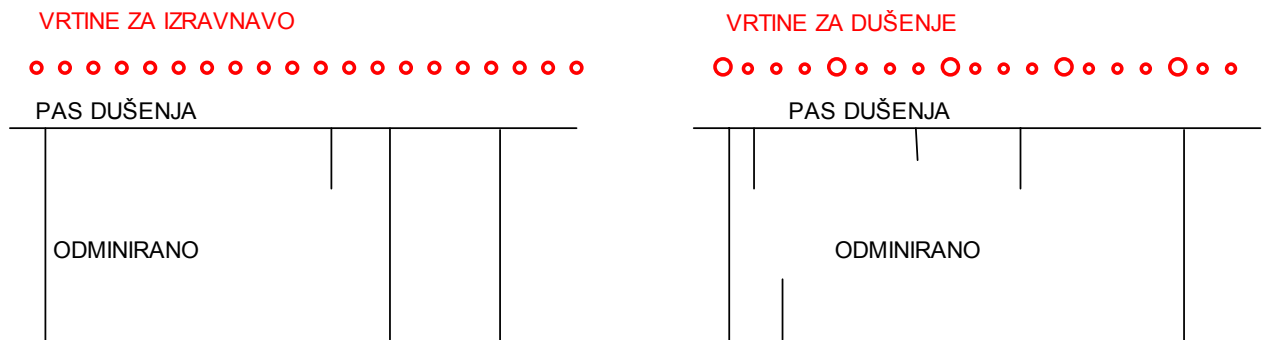
⇒ linija najmanjšega odpora konturne vrste:

$$W_k = 1,3 * A_k ; [m]$$

Količina eksplozivne polnitve, premer eksplozivne polnitve in količina eksplozivne polnitve na dnu konturne vrtine so enaki kot pre-splitting metodi.

6.3.2 Dušeno miniranje (cushion blasting)

Dušeno miniranje se izvaja po primarnem miniranju, pri katerem se pusti ozki pas hribine kot pas dušenja med zadnjo vrsto vrtin in končno brežino. Dušeno miniranje se lahko izvaja z vrtinami istega premera ali vrtinami različnih premerov. Širina pasu dušenja je od 1,5 do 2-krat večja od širine razmaka med vrtinami v zadnji vrsti primarnega miniranja. Razmak med vrtinami za dušeno miniranje je manjši od razmaka vrtin v minskem polju. Med vrtinami večjih premerov se izvrtajo 2 – 3 vrtine manjšega premera. Z eksplozivom se napolnijo samo vrtine večjega premera.



Slika 22: Dušeno – linijsko miniranje, dušeno miniranje z vrtinami različnih premerov
Vir: Božić, 1998, str. 85



Slika 23: Konturno miniranje
Vir: Božić, 1998, str. 91



Slika 24: Izkop gradbene jame

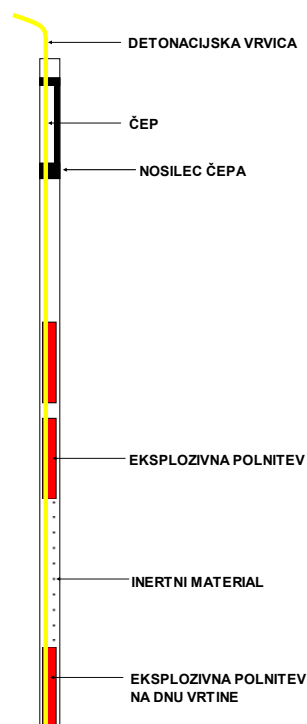
Vir:

Pri tej metodi se pogosto pojavlja vprašanje, ali je potrebno zamašiti prazen prostor med naboji.

Priporočilo je naslednje:

- če je hribina sestavljena iz tankih slojev različnih karakteristik, je mašenje med naboji koristno,
- če je hribina dovolj kompaktna, je bolje pustiti prazen prostor v vrtini, ker se tako bolje izravnava pritisk plinov na stene po celi dolžini vrtine.

Nujno je mašenje vrtine. Čep se naslanja na zračne balone ali kline takšne konstrukcije, da se zaradi delovanja pritiska plinov močnejše naslanjajo na steno hribine in ne dovoljujejo izmetavanje čepa.



Slika 25: Konstrukcija eksplozivne polnitve pri dušenem miniranju

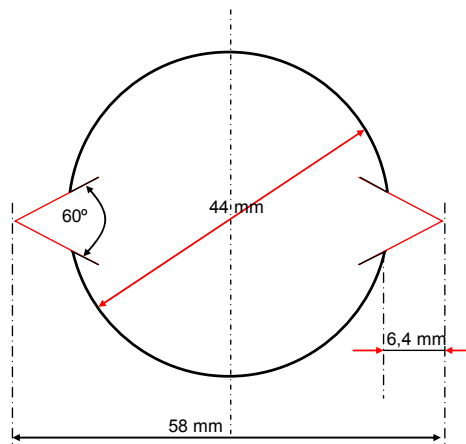
Vir: Božić, 1998, str. 98

6.3.3 KOMBINIRANO KONTURNO MINIRANJE

Včasih je potrebno izvesti kombinirano konturno miniranje. V nehomogenih hribinah se pogosto kombinira linijsko vrtanje in dušeno miniranje ali predminiranje. Konturno miniranje pod kotom 90° se izvaja v kombinaciji predhodnega miniranja in linijskega vrtanja.

Tehnika, ki predstavlja variacijo presplita, je definirana kot kontroliranje prelomov. Pri tej tehniki morajo biti vrtine vzporedne po celi dolžini in zbližane. Žlebičenje se izvede vzdolž vrtin v obliki prereznih ravnin s pomočjo specialnega orodja, pritrjenega na vrtni stroj.

Na ta način lahko dosežemo dobro cepitev z manjšimi eksplozivnimi polnitvami in s povečanim razmakom vrtin, kot pri konvencionalnem presplitu. Žlebilna tehnika omogoča učinkovitejše izkoriščanje tako vrtanja kot eksploziva, v primerjavi s konvencionalnim predminiranjem. Ob tem naj poudarimo, da oprema še ni optimalno razvita, npr. zelo zanimiva je možnost uporabe vodnega curka za nadzor prelomov. Pri tem je pomembno zagotoviti, da je mašenje zgornjih delov nabojev izvršeno z veliko mero pazljivosti. S tem se zagotovi maksimalno vsebnost eksplozijskih plinov, v nasprotnem primeru se lahko učinkovitost teh tehnik zelo poslabša.



Slika 26: Žlebičenje
Vir: Božić, 1998, str. 100

6.4 POVZETEK

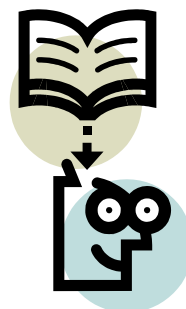


Konturno miniranje se izvaja za formiranje gladkih in nerazpokanih površin zaključnih kontur podzemnih in površinskih objektov. Namen konturnega miniranja je, da ustvarimo gladko brežino brez visečih blokov, in formiramo stabilnost brežine. To dosežemo s formiranjem konturnih razpok med konturnimi vrtinami, razporejenimi po projektirani liniji objekta.

Pri predhodnem lomljenju ne obstaja prosta površina, vrtine so preobremenjene, potresi povzročeni s predhodnim konturnim miniranjem so približno petkrat močnejši od potresov, povzročenih z enako količino eksploziva pri konturnih miniranjih, kjer obstaja prosta površina. Zaradi tega je potrebna uporaba manjših količin eksploziva na časovni interval, vrtine so manjših premerov, z manjšimi razmaki med vrtinami, kar pa podraži oblikovanje in zaščito brežine s tovrstnimi metodami. Pri metodah gladkega lomljenja oz. miniranja obstaja prosta površina, potresi so občutno manjši, kar omogoča večjo geometrijo miniranja. Metode gladkega lomljenja so cenejše od metod predhodnega lomljenja.

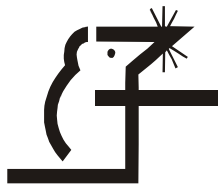
6.5 VPRAŠANJA ZA OBNOVITEV ZNANJA

1. Kdaj uporabljamo konturno miniranje?
2. Kaj je predhodno lomljenje?
3. Opiši kombinirano konturno miniranje!



7 UPORABA PRE-SPLITTINGA IN GLADKEGA MINIRANJA V TUNELOGRADNJI

7.1 UVOD



Kakovostno razstreljevanje zagotavlja izvedbo profilov in oblik podzemnih prostorov tako, da se ohrani samonosilnost kamnin.

Dva pomembna elementa sta odločilna pri izkopu podzemnih prostorov:

- ❖ razstreljevanje naj bo učinkovito in ekonomsko naravnano tako, da je zagotovljena pričakovana zrnatost, ki omogoča učinkovito nakladanje in transport materiala, skladiščenje ali nadaljnjo predelavo v tehnološkem procesu;
- ❖ okoliška kamninska zgradba naj bo čim manj poškodovana, da lahko v največji možni meri prenaša napetosti in deformacije, ki nastanejo kot posledica preoblikovanja napetostno deformacijskega polja.

V nadaljevanju je predstavljen vplivni obseg območja razstreljevanja, podkrepljen z praktičnimi primeri.

7.2 VPLIVNI OBSEG OBMOČJA RAZSTRELJEVANJA

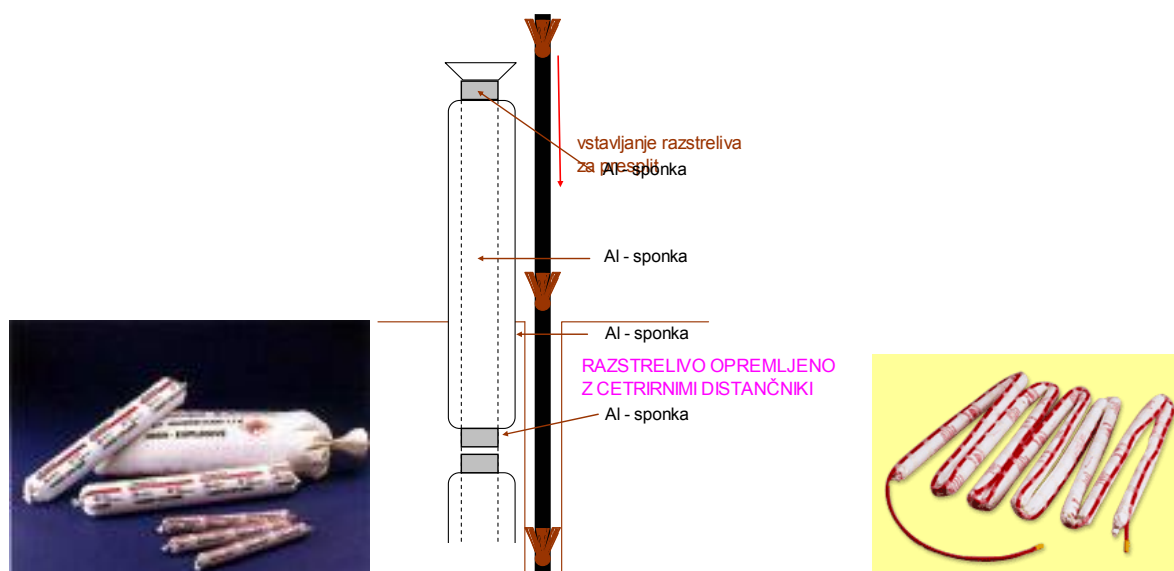
Pomembne predpostavke pri projektiranju podzemnih prostorov se nanašajo na dejstvo, da je končno stanje kamninskega ogrodja neodvisno od načina izkopa. Pri tem proces razstreljevanja lahko povzroči lokalne poškodbe in degradacijo kamnin. Kontrola območja razstreljevanja je proces, v katerem omogoča kontroliran način miniranja pri izkopu podzemnih prostorov, projektirano geometrično obliko prostora in nepoškodovano površino izkopanega prostora. Cilj razstreljevanja je čim manjši vpliv na nastanek novih in širjenje obstoječih razpok, z namenom ohranjanja inherentne (neločljive) trdnosti dotičnih kamnin. Vsekakor je učinkovito upoštevanje predpisane območja vpliva razstreljevanja pomemben faktor, ki posredno določa velikost in intenzivnost podpiranja za potrebe zagotavljanja predpisane trajne stabilnosti podzemnega objekta. To se upošteva tudi pri izdelavi začasnih podzemnih prostorov in se odraža v zmanjšanem vzdrževanju in primarnem podpiranju.

Zmanjšanje zruškov, nadprofila ter zmanjšanje obsega sekundarnega dela na izoblikovanju profila ima velik pomen za zmanjšanje stroškov gradnje, gladke stene podzemnega prostora zmanjšujejo zračilni upor, ki je povezan s stroški prezračevanja.

V praksi se srečamo najpogosteje z dvema načinoma in sicer:

- ❖ pre-splitting metodo,
- ❖ gladkim razstreljevanjem.

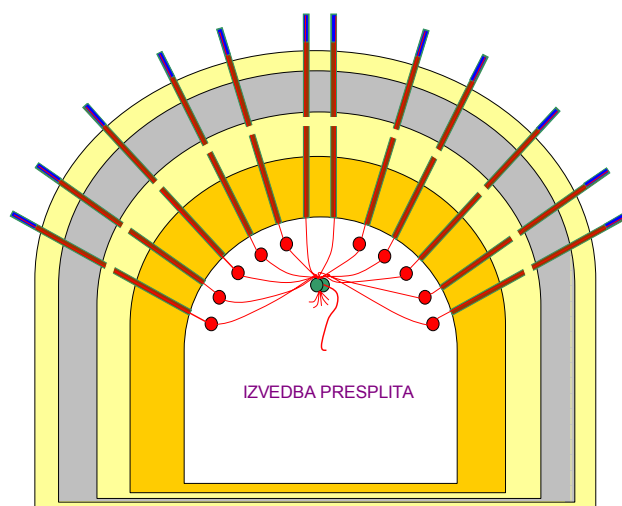
Obe metodi se v praksi pogosto uporabljata. Pri tem upoštevamo t.i. razstrelilna polnjenja, ki so ločena od ostenja minskih vrtin s ciljem zmanjšanja nepotrebnih razpok v kamnini okrog vrtine. To dosežemo tako, da vstavimo distančnike, ki omogočajo pravilno lego razstreliva v vrtini (razstrelivo mora biti nameščeno po osi minske vrtine) s tem, da je kaliber nabojev razstreliva manjši od premera minskih vrtin. Specialna razstreliva, ki so izdelana na bazi nitroglicerina, so pakirana tako, da je zagotovljena stabilna detonacija polnjenja z relativno majhnim premerom.



Slika 27: Razstrelivo za konturna miniranja
Vir: Belšak, 1978, str. 70

7.2.1 Pre-splitting razstreljevanje

S to metodo se dosežejo zvezne porušitve, ki formirajo končni profil prostora oz. površine. Na slikah je prikazan profil, ki je omejen z vzporednimi vrtnami, zavrtanimi v čelo izkopa. Za to je značilno, da se aktivirajo minske vrtnice, preden pride do porušitve kamnine znotraj profila izkopa. Pri tem je treba upoštevati najmanjšo še sprejemljivo razdaljo med vrtnami, ki zagotavlja razvoj takšnih porušnih ravnin, da nastane gladka površina ostenja prostora.



Slika 28: Prikaz minskih vrtn pri uporabi pre-splitting metode razstreljevanja
Vir: Belšak, 1978, str. 72

Za razumevanje mehanizma miniranja z uporabo pre-splitting metode si pomagamo z razlago, katera temelji na formiranju porušnih ravnin vzdolž osi sosednjih minskih vrtn kot posledica detonacije v eni minski vrtini z lokalnim napetostnim poljem, ki je posledica eksplozije v sosednji minski vrtini. Poleg navedenega pa velja, da do nastanka porušnih ravnin ne pride, če je zakasnitev v dveh sosednjih minskih vrtnah daljša (polnjenja se aktivirajo neodvisno med sabo), ali kadar pride do spontanega aktiviranja. Če je absolutna vrednost primarne napetosti

veliko večja od tlaka plinov v minski vrtini, ne pride do večanja razpok. To pomeni, da je presolitting direktno odvisen od velikosti primarnega napetostnega stanja in pri velikih primarnih napetostih je učinek delovanja plinov manj učinkovit.

Praktični zaključek je, da je pre-splitting učinkovit pri izvajanju razstreljevanja na površini in v manjših globinah, medtem ko se v velikih globinah lahko zelo zmanjša njegova učinkovitost.

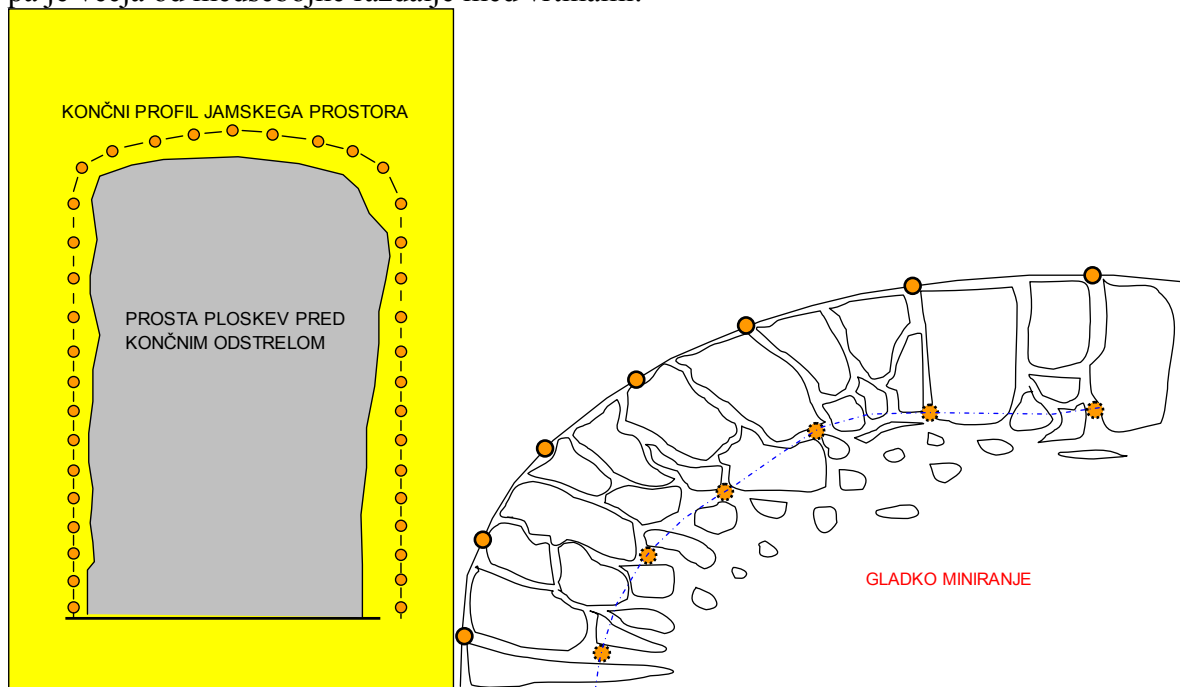
V plastovitih kamninah je razvoj razpok povezan z orientacijo plastovitosti, tako da večanje razpok sledi smeri plastovitosti.

Splošna rešitev za anizotropne kamnine je, da je razvoj razpok dejansko pogojen s smerjo plasti oz. kontaktov med plastmi, kar v praksi pomeni, da je nastanek razpok pravokotno na plastovitost zelo majhen in zato praktično zanemarljiv.

7.2.2 Gladko razstreljevanje (miniranje)

Gladko razstreljevanje je v praksi tisto miniranje, ki omogoča izvedbo končne oblike izkopnega profila glede na predhodno obliko profila, ki predstavlja proste površine.

Zaporedne minske vrtine pri gladkem miniranju so aktivirane s kratko zakasnitvijo, izbojnica pa je večja od medsebojne razdalje med vrtinami.



Slika 29: Shematski prikaz proste ploskve

Vir: Belšak, 1978, str. 75

Če nastopajo visoke primarne napetosti v kamnini okrog projektiranega izkopnega profila, je priporočljiva uporaba gladkega razstreljevanja. Le-ta je priporočljiva tudi pri izdelavi podzemnih prostorov, kjer se pojavljajo visoka napetostna stanja v kamninah.

Pri načrtovanju gladkega miniranja je potrebno upoštevati napetostno okolje in geometrijo podzemnega prostora, da je miniranje učinkovito.

PRAKTIČNI PRIMERI



Uporaba pre-splitting kot metode razstreljevanja na površini in pod površino je uspešna, če upoštevamo osnovne principe. Na sliki 30 je vidna razlika v kakovosti minerskih del. Gladkost brežine, ki je bila izdelana s pomočjo pre-splittinga, je bistveno boljša.

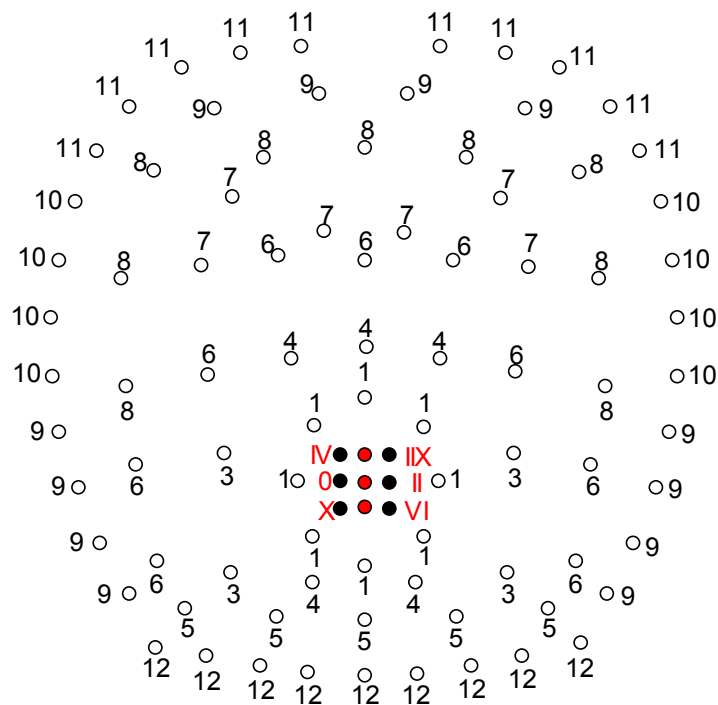


Slika 30: Primerjava med gladkostjo brežine izdelane s pomočjo pre-splitting metode in brez nje

Vir: Božić, 1998, str. 110

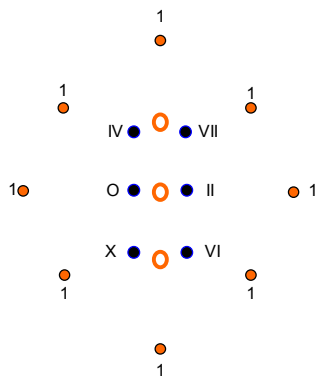
7.2.3 Podzemni prostor (izdelava zaloma)

Primer miniranja pri izdelavi podzemnega prostora vsebuje prikaz lege minskih vrtin po celotnem profilu predora.

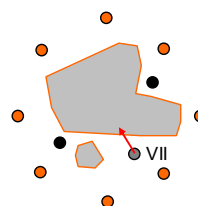


Slika 31: Shematski prikaz minske sheme pri miniranju celega profila jamskega prostora
(Božič, 1998, str. 115)

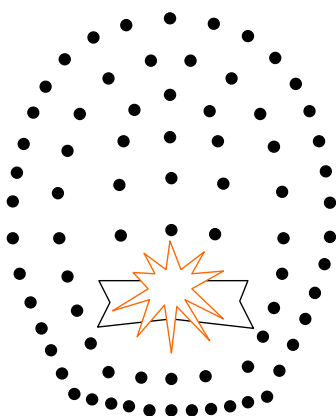
Upoštevanje osnovnega principa miniranja, da je potrebno ustvariti čim več prostih ploskev, je v danem primeru doseženo s paralelnim zalomom. Kombinacija uporabe milisekundnih in polsekundnih vžigalnikov daje dobre rezultate pri razstreljevanju. Na naslednjih slikah je prikazan proces razvoja izdelave predpisanega profila. Miniranje oz. injiciranje polnitve posameznih delov profila se ujema z milisekundnimi zakasnitvami ob sprotni širitvi in večanju prostih ploskev.



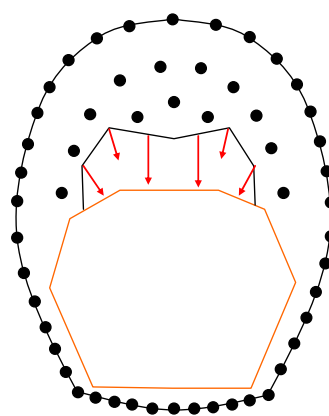
PLAN ZALOMNIH VRTIN



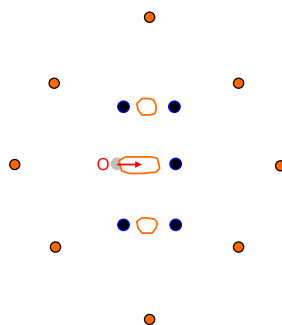
MSED-iniciranje zalomov - VI



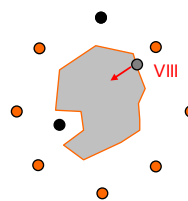
Širjenje zaloma - 3



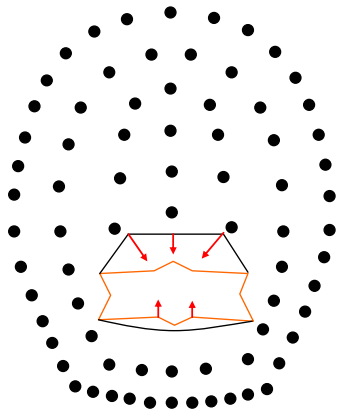
Širjenje zaloma - 7



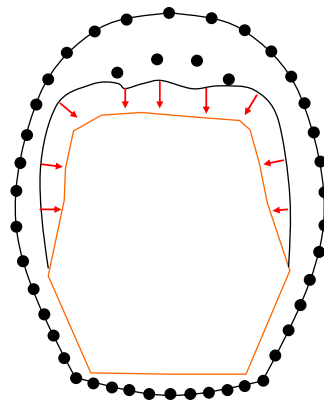
MSED - iniciranje zalom - 0



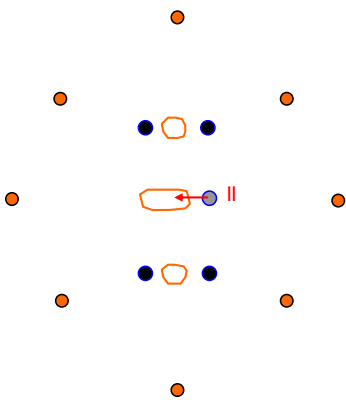
MSED-iniciranje zaloma - 7



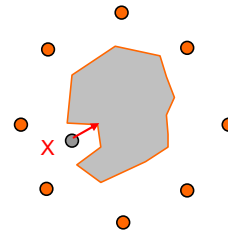
Širjenje zaloma - 4



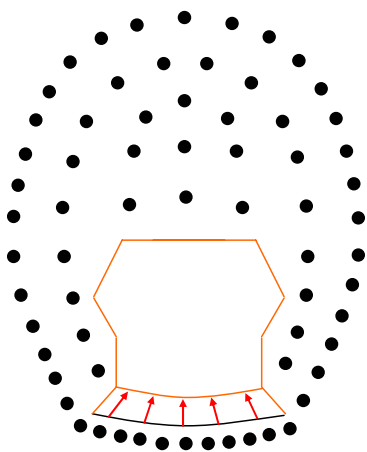
Širjenje zaloma - 8



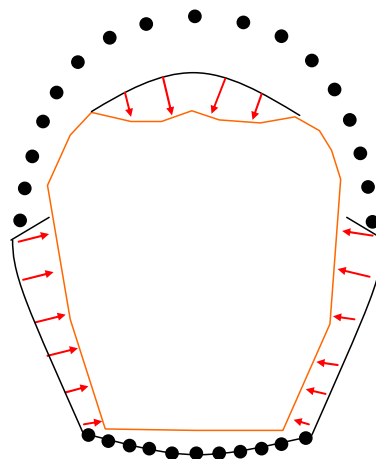
MSED - iniciranje zalom - II



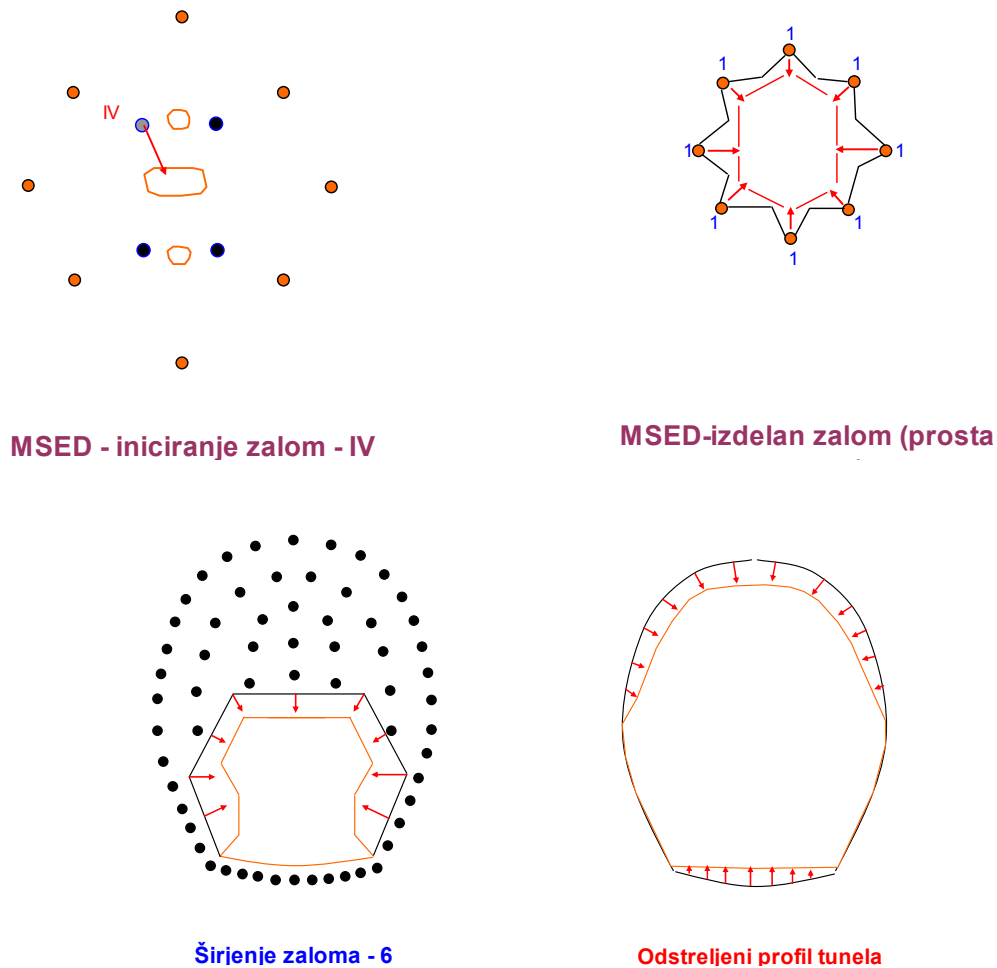
MSED-iniciranje zalom - X



Širjenje zaloma - 5



Širjenje zaloma - 9



Slika 32: Faze večanja prostih ploskev profila pri pre-splitting metodi miniranja tunelov
Vir: Božić, 1998, str. 120

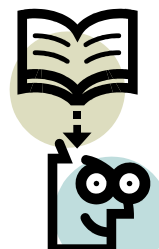
V danem primeru je uporabljena metoda gladkega miniranja. Dobra gladkost ostenja prostora je dosežena z ustrezno geometrijo vrtin in razstreliva. Pre-splitting način miniranja v tem primeru ni priporočljiv zaradi velikih primarnih napetosti ter stopnje primarne poškodovanosti in anizotropnosti.

Bistveno pri tem je upoštevati plastovitost in anizotropnost (različne fizikalne lastnosti v raznih smereh), saj v primeru uporabe pre-splitting pride do širjenja razpok v smeri plastovitosti ali anizotropije, kar se navadno ne ujema z obliko načrtovanega profila podzemnega prostora.

Primer uspešnega razstreljevanja je povezan z uporabo tehnike gladkega miniranja. Četudi je kamnina trdna in malo razpokana, je bila predhodna oz. predzadnja faza takšna, da je bil končni profil lepo izoblikovan.

7.3 VPRAŠANJA ZA OBNOVITEV ZNANJA

1. Opiši prednosti pre-splitting metode razstreljevanja!
2. Kaj je gladko razstreljevanje (miniranje)?



8 RUŠENJE ZGRADB Z MINIRANJEM

8.1 UVOD



Rušenje zgradb s kontroliranim razstreljevanjem je tehnika, ki je bila razvita v Evropi v teku rekonstrukcije mest, ki so bila uničena med drugo svetovno vojno. Zaradi svojih prednosti se je razširila po celem svetu. Ta dela z eksplozivi temeljijo na namestitvi majhnih nabojev na strateška mesta zgradbe, da izzovemo nestabilnost in fragmentacijo zgradbe med padcem v določeni smeri.

V okviru uporabe razstreljevalnih tehnik je rušenje z razstreljevanjem eden pomembnejših pristopov, ki zajema razstreljevanja posameznih elementov tako gradbenih konstrukcij iz betona, armiranega betona, opeke in kamna, kakor tudi celotnih gradbenih konstrukcij.

Naloga tehnike razstreljevanja je, da dele gradbenih konstrukcij in celotne konstrukcije poruši ефектно in hitro, optimalno glede na dano situacijo ter brez škodljivega vpliva na okolico.

8.2 SPLOŠNA NAČELA RUŠENJA GRADBENIH KONSTRUKCIJ Z RAZSTRELJEVANJEM

Rušenje gradbenih konstrukcij z miniranjem se izvaja na način, da se prekinajo glavne nosilne vezi gradbene konstrukcije:

- ❖ porušitev posameznih nosilnih konstrukcij elementov in njihovih povezav s togimi deli konstrukcije tako, da se povzroči nestabilnost konstrukcije in njeno zrušitev z lastno težo, ki opravi večji del porušitve;
- ❖ razporeditev razstreliva z ločenimi minami, da se doseže popolna zrušitev gradbene konstrukcije in obvladovanje razmeta in potresa;
- ❖ pravilna izbira in uporaba vžigal (iniciatorjev razstreliva), da se doseže padeč gradbene konstrukcije v željeno smer.

V praksi je v uporabi več različnih načinov izračunavanja parametrov razstreljevanja, kar ima za posledico tudi zelo različne rezultate izračuna.

V izračunih parametrov razstreljevanja pri rušenju gradbenih konstrukcij so upoštevane polnitve v minskih vrtinah s patroniranim razstrelivom.

Navajamo nekaj parametrov:

- ❖ patronirano brizantno razstrelivo
- ❖ premer patrone: 22 do 28mm
- ❖ dolžina patrone: 210mm
- ❖ masa: 200g
- ❖ želatinasto razstrelivo
- ❖ gostota 1,4 do 1,5 g/cm³
- ❖ detonacijska hitrost 4000 do 5500 m/s
- ❖ premer patrone glede na premer vrtine

Pri patroni 28 mm je premer vrtine 30 do 40 mm

Premer patrone > 28 mm (max. 50 mm) se praviloma uporablja samo za rušenje industrijskih dimnikov in stolpov ter velikih temeljev.

Pri načrtovanju razstreljevanja ločeno obravnavamo strukturne elemente: temelje, stene, stebre, plošče, strope, gredi, prečnike z nosilci in celotno gradbeno konstrukcijo, vrsto razstreliva, gradbeni material, gradbeno konstrukcijo in geometrijo minskih vrtin.

Rušenje zgradb z eksplozivom je eden izmed najhitrejših, varnih in učinkovitih načinov, ki jih lahko danes uporabimo, za to je potreben celoten projekt razstrelitve.

Vendar vedno ni mogoče zagotoviti vseh podatkov, kajti če je zgradba stara, ponavadi ni načrtov in ni znana kvaliteta niti lastnosti materialov na težko dostopnih mestih.

8.2.1 Parametri, ki vplivajo na določitev količine razstreliva za porušitev objekta

Porušitev zahteva izdelavo kompleksnega projekta z uporabo splošnih kriterijev in izvedbo specifičnih kriterijev na podlagi načrta stavbe in opravljenih raziskav. Zidovi iz opeke in betona so za miniranje praktično identični kot stenska masa in se izračunajo po formuli (povzeto po Belšak, str. 100, 1978):

$$C = \frac{s * e_{ss}}{n_1 * n_2 * n_3 * e_1}$$

C = eksplozivna polnitev

n_1 = faktor impendance – vzame se vrednost 0,945

n_2 = faktor polnjenja eksploziva v vrtini – 1,0

n_3 = faktor orientacije vrtine – zloma – 0,15

e_1 = energija eksploziva – 4,08 MJ/kg

e_{ss} = specifična vrednost površinske energije materiala za stensko maso – $1,1 * 10^{-3}$

s = koeficient novih površin $1280 \text{ m}^2/\text{m}^3$

➤ Podrobna študija objekta zajema:

- ❖ nosilnost vozlišča (napetostne stike konstrukcijskih elementov)
- ❖ mesta, ki lahko vplivajo na rezultate porušitve: stopnišče, dvigalo, cevovodi, temelji, itd...
- ❖ vrste in lastnosti materialov, iz katerih je stavba zgrajena, na podlagi vzetih in raziskanih vzorcev.

➤ Pred porušitvijo objekta se izvedejo naslednja pripravljalna dela:

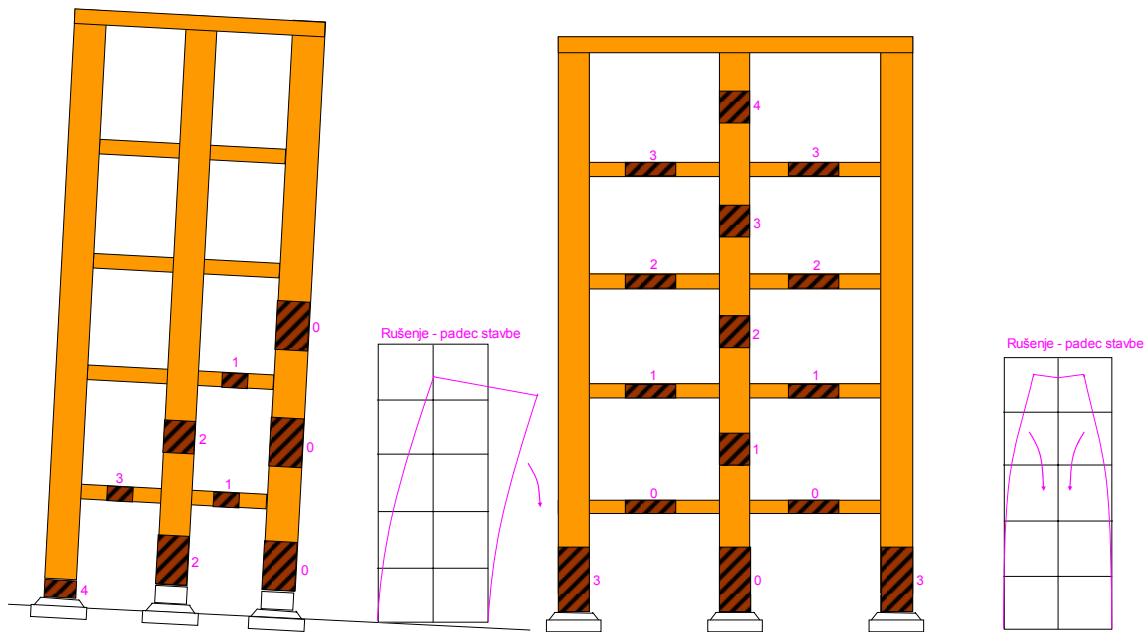
- ❖ mehanska razdvojitve posameznih strukturnih elementov zgradbe
- ❖ rezanje armaturnih palic v armiranem betonu
- ❖ zadrževanje posameznih elementov z vrvmi, sidri, itd
- ❖ odstranitev notranjih zidov, plošč, vrat, okenskih okvirjev
- ❖ odstranitev kovinskih nosilcev, ki jih po potrebi zamenjamo z lesenim podporjem in oporniki
- ❖ izdelava brazd.

➤ Rušenje stavbe iz armiranega betona:

Na osnovi predhodnega študija načrta (statike) zgradbe in opravljenih analiz ter raziskav materialov se izdelata projekt porušitve stavbe.

➤ Pogosta načina rušitve armiranobetonskih stavb:

- ❖ porušitev v določeni smeri
- ❖ porušitev z rušitvijo



Slika 33: Usmerjanje zgradbe ob priliki rušenja z miniranjem

Vir: Belšak, 1978, str. 102

8.2.2 Učinkovitost razstreljevanja – medsebojne vrednosti

- ❖ izbojnica
- ❖ razdalja med vrtnami
- ❖ razdalja med vrstami vrtn
- ❖ število in velikost področij (con) polnitve
- ❖ mašenja vrtn
- ❖ vrste vžigalnikov

8.2.3 Empirični izračun geometričnih parametrov in količine razstreliva za porušitev

- Temelji

Temelje navrtamo z vertikalnimi vrtnami, dolžina vrtn pa je odvisna od velikosti.

Eksplzivni naboji so težki okoli 50 g in povezani z detonacijsko vrvico.

Tabela 5 prikazuje specifična polnjenja, ki jih priporoča Gustafsson glede na material, iz katerega je stavba.

Da zagotovimo dobro fragmentacijo, kar pospeši nakladanje in omogoča boljšo kontrolo nad letečimi deli, se priporoča milisekundna zakasnitev.

- Vertikalne minske vrtnine v kvadratični zasnovi $B = S$
- polnitev glede na lastnost materiala

Tabela 5: Osnovni parametri rušenja z eksplozivi

Material	Spec. polnitev kg/m ³	Geometrija vrtanja B = S (m)
Nearmiran beton (slab)	0,25 – 0,3	0,7 – 0,8
Nearmiran beton (dober)	0,3 – 0,4	0,6 – 0,7
Armiran beton	0,6 – 0,75	0,5 – 0,6
Armiran beton (močan)	0,8 – 1,0	0,5 – 0,55

(Belšak, 1978, str. 103)

- Stene - zidovi
 - opečni
 - betonski – nosilni
 - betonski

Da prihranimo čas pri vrtanju, vrtamo do višine praznih prostorov, kot so vrata in okna, da dosežemo večjo razdrobljenost in si olajšamo samo vrtanje. Število vrst naj ne bo nikoli manjše od 2. Priporočeni vzorci v odvisnosti od debelih sten so podani v tabeli 6.

Glede na kvaliteto materiala, čvrstost in nevarnost letečih delov, je poraba eksploziva med 0,5 in 1 kg/m³.

Tabela 6: Parametri za rušenje zidu

Debelina stene H _m (cm)	Geometrija vrtanja BxS (cm)	Število vrst
35	30 x 30	2
45	35 x 35	2
60	45 x 45	2
70	55 x 55	3
≥100	55 x 55	3

(Belšak, 1978, str. 107)

Specifična polnitev 0,5 – 1,0 kg/m³Dolžina vrtin 2/3 H_m (cm)Dolžina polnitve 1/3 H_m(cm)Dolžina mašila 1/3 H_m(cm)

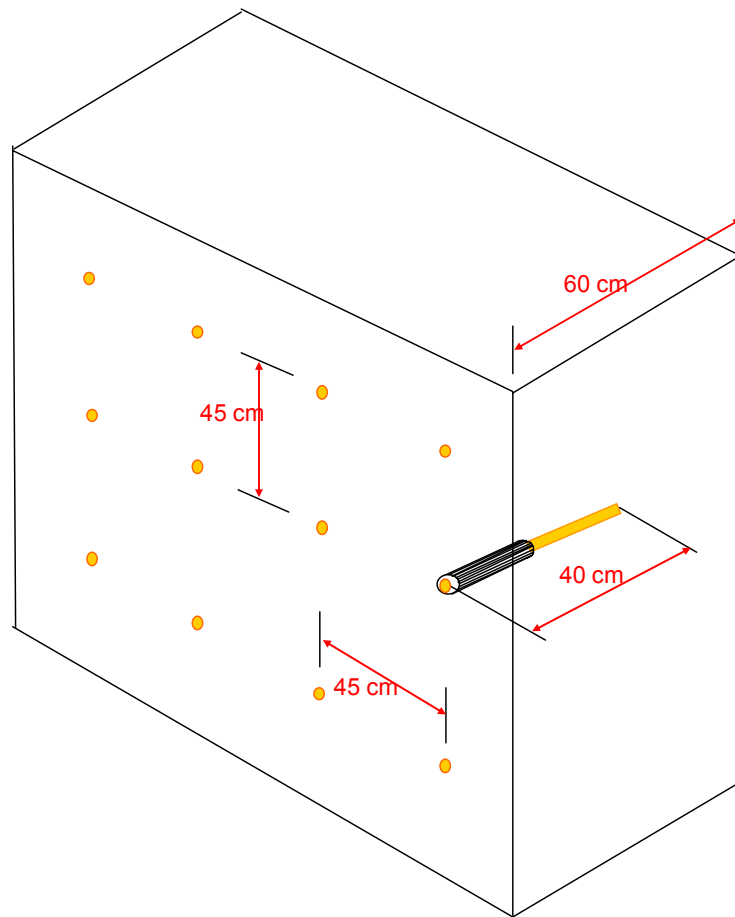


Slika 34: Potek porušitve zidov
Vir: Božić, 1998, str. 145

- Betonski zidovi

V primeru ojačanih betonskih sten, ki tvorijo del podporne strukture, so vzorci podani v tabeli 7.

Kot v prejšnjem primeru bodo dolžine vrtin $2/3$ debeline stene, faktor eksploziva pa se bo povečal za $0,9 - 1,5 \text{ kg/m}^3$ (slika 35)



Slika 35: Primer geometrije vrtanja in polnitve

Vir: Belšak, 1978, str. 110

Tabela 7: Parametri za rušenje betoniranih zidov

Debelina stene	Geometrija vrtanja B x S (cm)	Število vrst
35	25 x 25	2
45	30 x 30	2
60	45 x 45	3
70	50 x 50	3

(Belšak, 1978, str. 115)

Specifična polnitev 0,9 – 1,5 kg/m³

Dolžina vrtin $2/3 H_m$ (cm)

Dolžina mašila $1/3 H_m$ (cm)

- Betonski zidovi, vgrajeni v osnovo

Betonske stene, zalite v tla

V teh primerih, kjer so stene ponavadi visoke, ravne in zalite v tla, se vrtnice vrtajo vertikalno, da dosežemo fragmentacijo betona in pospešimo kopanje in odvažanje.

Ni priporočljivo, da so vrtnice daljše od 1,5 m, da se izognemo odklonom, ki lahko povzročijo probleme z letečimi deli.

Tabela 8: Parametri za rušenje beton. stene zalite v temelj (vertikalne vrtine, dolžine $\geq 1,5$)

VRSTA ZIDU	Debelina stene Hm(cm)	Razdalja med vrtinami (cm)	Število vrst	Specifična polnitev kg/m ³
Nearmiran betonski zid	20	30	1	0,2 - 0,3
	30	30	1	0,2 - 0,3
	40	30	1	0,2 - 0,3
	50	30	1	0,2 - 0,3
Armiran betonski zid	20	30	1	0,3 - 0,5
	30	30	1	0,3 - 0,5
	40	30	1	0,3 - 0,5
	50	40	1	0,3 - 0,5
	60	40	2	0,3 - 0,5

(Belšak, 1978, str. 120)

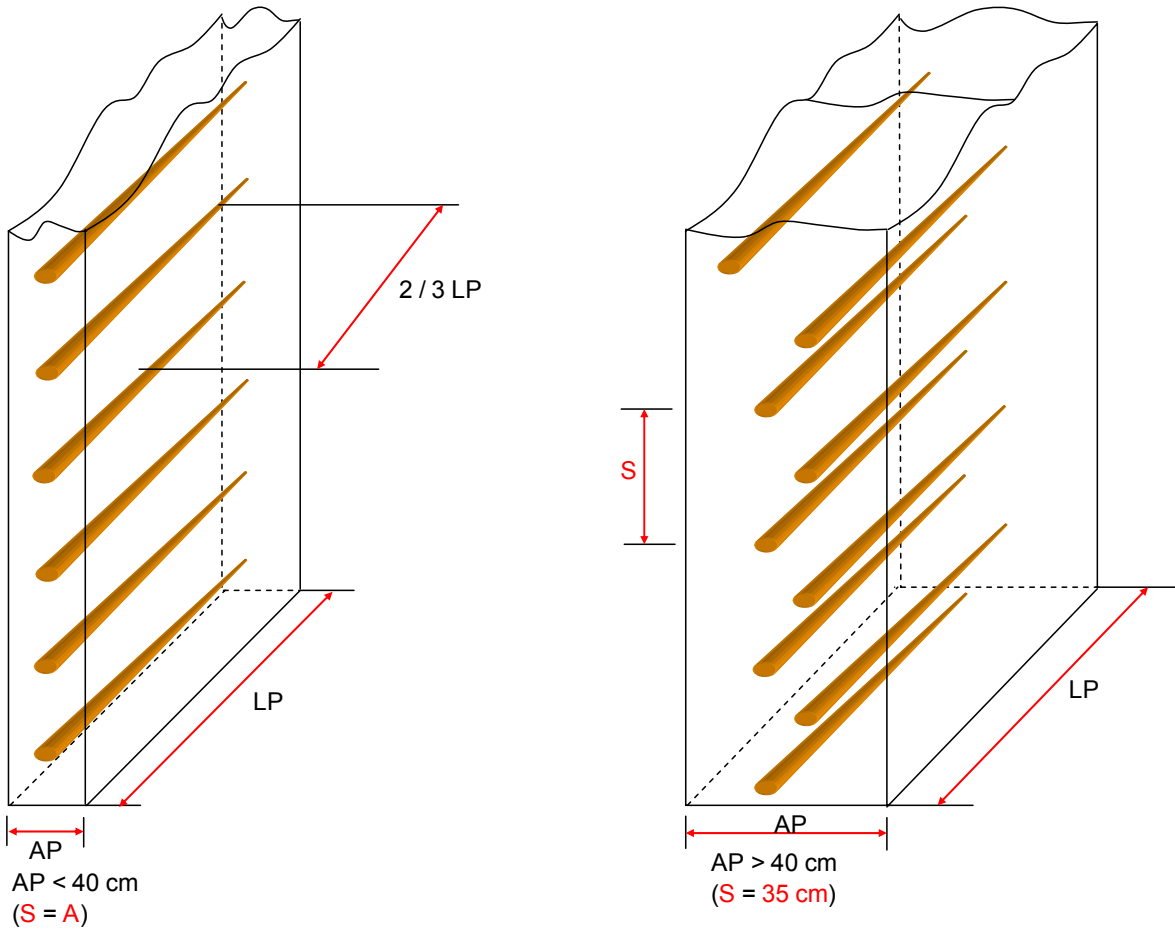
- Stebri

Stebri so običajno iz ojačanega betona s pravokotnim, trikotnim ali okroglim prerezom. Vrtine naj bodo usmerjene vzporedno z največjo stranico stebra. Pri stebrih, ožjih od 40 cm, se vrtine vrtajo v eni vrsti z razdaljo, ki je enaka širini stebra. Pri večjih stebrih pa se izvajata dve vrsti zmikajočih vrtin, kot kažeta sliki 40. Dolžine vrtin so 2/3 največje stranice, mašenje in naboj pa naj zavzema 1/3 njene dolžine.

Višina reza stebra varira med 0,5 m za ožje do 40 cm, do 2,5 m za širše nad 40 cm. Nad tem območjem pa lahko dodamo pomožne vrtine, ki so nameščene vsaka 2 m.

Specifični naboj varira v odvisnosti od materiala, med 0,7 in 1,5 kg/m³.

Višina reza poružitve 1,5 m $A_p < 40$ (cm)
2,5 m $A_p > 40$ (cm)
Specifična polnitev 0,7 / 1,5 kg/m³.



Slika 36: Vrtanje armirano betonskih stebrov
Vir: Belšak, 1978, str. 122

- **Plošče**

Obravnavamo dva načina razstreljevanja plošč:

- popolna porušitev
- izdelava reže

Tabela 9: Parametri za rušenje betonskih plošč

MATERIAL	Debelina (cm)	Dolžina vrtin (cm)	Geometrija vrtanja B x S (cm)	Specifična polnitev kg/m ³
Nearmirane betonske plošče	30	20	30 x 30	0,3 - 0,5
	40	25	40 x 40	0,3 - 0,5
	50	30	50 x 50	0,3 - 0,5
Armirane betonske plošče	30	20	20 x 20	0,5 - 0,7
	40	30	30 x 30	0,5 - 0,7
	50	35	40 x 40	0,5 - 0,7

(Belšak, 1978, str. 125)

Prvi primer se nanaša na neojačane kot tudi na ojačane plošče, medtem ko je druga metoda pogosteje uporabljena pri ojačanih ploščah, kjer lahko jeklene šipke prerežemo z gorilnikom, ko enkrat odpremo razpoke.

Kjer izvajamo odstrel z namenom, da povzročimo razpoke, uporabimo vsaj dve vrsti vrtin in faktor eksploziva se poveča od 0,7 do 0,8 kg/m³. Kakor pri stenah tudi tu izvedemo majhen testni odstrel, da prilagodimo vzorec in naboje.

- **Stropi**

Armirano betonski stropi in kupole

Tabela 10: Parametri za rušenje stropov

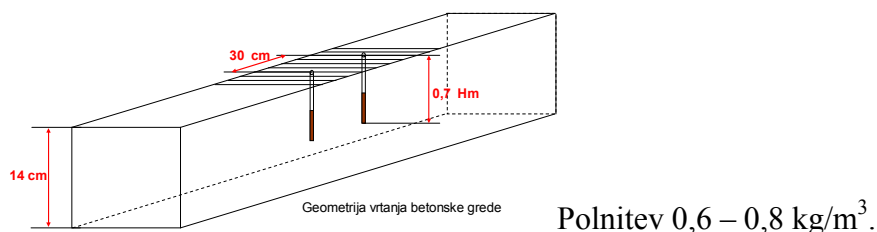
Debelina stropa (cm)	Dolžina vrtin (cm)	Geometrija vrtanja B x S (cm)	Specifična polnitev kg/m ³
20	15	30 x 30	0,5 - 0,7
30	20	30 x 30	0,5 - 0,7
40	30	30 x 30	0,5 - 0,7

(Belšak, 1978, str. 128)

- **Gredi, nosilci**

Obravnavamo dva načina porušitve:

- izdelava reže ~ zgiba za prelom
- porušitev ~ zdrobitev



Slika 37: Polnitev gredi
Vir: Belšak, 1978, str. 129

- Rušitev jeklenih konstrukcij

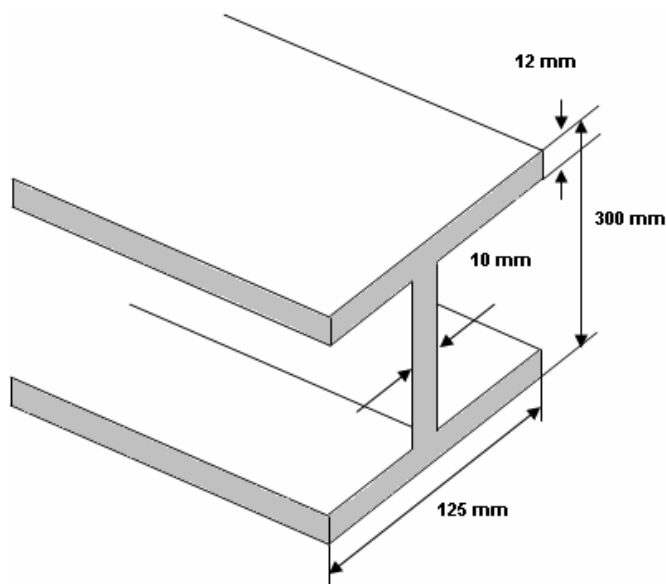
Za kvalitetna jekla (verige, jeklene vrvi, palice, itd.) velja za izračun velikosti polnitve za porušitev z razstreljevanjem pri uporabi plastičnega razstreliva empirična enačba (povzeto po Belšak, 1978, str. 130):

$$Q = 88 * A_{ag}$$

Q – polnitev v (g)

A_{ag} – ploščina prečnega prereza jeklenega elementa (cm^2).

V tem primeru razstrelivo pritrdimo na posamezne jeklene nosilce. Pri tem obstaja nevarnost razmeta in zračnega udara.



Slika 38: Jekleni profil
Vir: Belšak, 1978, str. 130

Pri uporabi plastičnega razstreliva velja za izračun velikosti polnitve empirična enačba (povzeto po Belšak, 1978, str. 130):

$$Q = 34 * A_{ag}$$

Q – polnitev v (g)

A_{ag} – ploščina prečnega prereza jeklenega elementa (cm^2).

8.2.4 Prednosti rušenja z razstreljevanjem

Prednosti tega načina rušitvenih del so naslednje:

- ❖ majhni stroški, še posebej takrat, kadar je konstrukcija visoka
- ❖ hitra izvedba
- ❖ motenje okolice je omejeno le kratek čas
- ❖ omogoča visoko stopnjo kontrole pri izvajanju del
- ❖ možna je uporaba konvencionalnih nakladalnih in prevoznih sredstev

8.2.5 Slabe strani rušenja z razstreljevanjem

Pri pripravi rušenja z razstreljevanjem moramo biti pozorni na slabosti tega načina:

- ❖ izdelava zahtevnega načrta razstreljevanja na podlagi predhodno izdelane celovite študije
- ❖ zahtevna in časovno zamudna pridobitev vseh potrebnih soglasij in dovoljenj
- ❖ ni možno ohraniti posameznih vrednih konstrukcijskih elementov
- ❖ območje v neposredni bližini razstreljevanja je potrebno zavarovati in prekiniti promet
- ❖ v kolikor ni ohranjen načrt zgradbe ali stavbe in niso poznane značilnosti gradbenih materialov, je izdelava načrta razstreljevanja otežena.

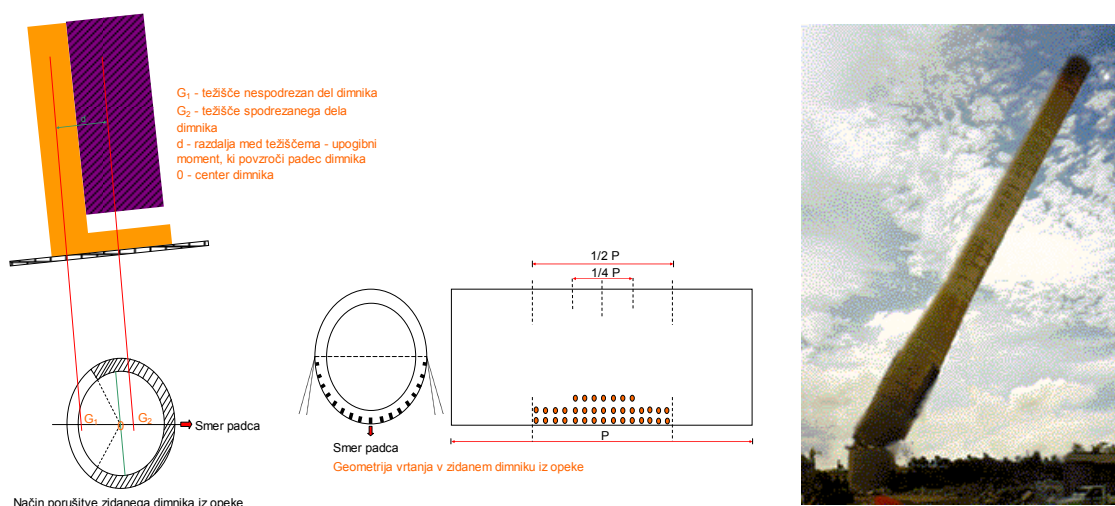
8.2.6 Varnostne mere pri rušenju z razstreljevanjem

Zaradi dela, ki običajno poteka v urbanem okolju, moramo strogo upoštevati varnostne mere:

- ❖ eksplozivne polnitve morajo biti ustrezno zavarovane s pokrivanjem z različnimi materiali, kot so vreče peska, mreže, itd., da se prepreči razmet,
- ❖ področje, kjer se razstreljuje, je potrebno pred in med razstreljevanjem močiti z vodo, da se prepreči prekomerno prašenje,
- ❖ bližnja okolica razstreljevanja mora biti pod nadzorom in prebivalci v času razstreljevanja evakuirani,
- ❖ na bližnjih objektih je potrebno izvajati seizmične meritve,
- ❖ v kolikor se razstreljuje s položenim razstrelivom izven minskih vrtin, kar ni običajno, je potrebna dodatna zaščita, da se prepreči nekontroliran razmet in zračni udar.

8.3 RUŠENJE DIMNIKOV IN STOLPOV

Industrijski dimniki so ponavadi priključeni k drugim objektom in imajo okrogel, kvadraten ali mnogokoten prerez. Zgrajeni so iz opeke ali ojačanega betona. Po zaslugi svoje vitkosti so idealni za rušenje z eksplozivi. Padec dimnika opravimo z razstrelitvijo dela podpornega temelja na takšen način, da se težišče premakne izven preostalega temelja. S povzročitvijo nestabilnosti in obrata v smeri padca dimnik pade kot drevo.



Slika 39: Primer rušenja opečnega dimnika s premikom težišča
 Vir: Belšak, 1978, str. 131

- Tehniko rušenja dimnikov razdelimo v:
 - Usmerjeno razstreljevanje s popolnim padcem
 - Usmerjeno razstreljevanje z omejenim padcem
 - Razstreljevanje s sesedanjem

8.3.1 Usmerjeno razstreljevanje s popolnim padcem

To je najnevarnejša metoda, študija izvedbe mora biti narejena s prioriteto pred drugima dvema metodama.

Poleg tega je prednost v tem, da potrebujemo manj eksploziva in manj vrtin.

Da zagotovimo optimalne rezultate, mora biti dimnik v dobrem stanju.

Če je zgrajen iz opeke, mora podminirano območje zavzemati polovico horizontalnega temelja na strani, kamor je predviden padec.

Število potrebnih vrst vrtin je ponavadi 3 vzdolž $\frac{1}{4}$ dolžine obsega in dve v preostalem pol obsegu.

Pri dimnikih zgrajenih iz ojačanega betona pa naj minimalno območje obsega $\frac{2}{3}$ temelja, vključno s smerjo padca z razpoloviščem središčnega kota preostalega temelja, ki je 120° .

Da zagotovimo boljši prelom materiala, je priporočljivo odpreti nekaj prostorov, podobnih oknom, s širino, ki je dvakratnik debeline dimnika.

8.3.2 Usmerjeno razstreljevanje z omejenim padcem

Pri tej vrsti rušenja se, ko enkrat dimnik postane rahlo nagnjen, razstreli preostali del temelja, da se izzove zrušitev. To dosežemo z razstrelitvijo vrste vrtin, ki je na nasprotni strani od smeri padca, z zakasnitvijo 0,25 s.

Ta metoda se izvaja samo pri dimnikih iz opeke.

8.3.3 Razstreljevanje s sesedanjem

Razstreljevanje s sesedanjem se lahko izvede samo pri dimnikih iz opeke. Metoda se sestoji iz trenutnega vžiga skupine nabojev, ki se nahajajo homogeno v celotnem temelju.

Ponavadi je število vrst 2 ali 3.

Študija rušitve naj vsebuje tudi podroben pregled stanja zgradbe, da se prepreči padec v drugi smeri od predvidene.



Slika 40: Razstreljevanje s sesedanjem

Vir: Božić, 1998, str. 150

8.4 POVZETEK

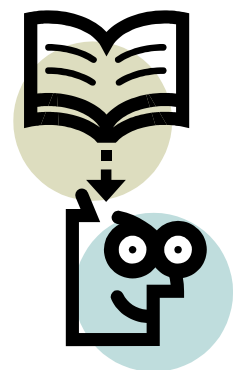


V okviru uporabe razstreljevalnih tehnik je rušenje z razstreljevanjem eden pomembnejših pristopov, ki zajema razstreljevanja posameznih elementov tako gradbenih konstrukcij iz betona, armiranega betona, opeke in kamna, kakor tudi celotnih gradbenih konstrukcij.

Rušenje gradbenih konstrukcij z miniranjem se izvaja na način, da se prekinejo glavne nosilne vezi gradbene konstrukcije. Rušenje zgradb z eksplozivom je eden izmed najhitrejših, varnih in učinkovitih načinov, ki jih lahko danes uporabimo, za to je potreben celoten projekt razstrelitve.

8.5 VPRAŠANJA ZA OBNOVITEV ZNANJA

1. Katera so splošna načela rušenja gradbenih konstrukcij?
2. Opiši vse dejavnike in parametre, ki vplivajo na porušitev objekta!
3. Oglej si kakšno oddajo o rušenju objektov (Discovery Chanel)!



9 PODVODNO MINIRANJE

9.1 UVOD



Gre za razstreljevanje pod vodno gladino, s čimer se odstranijo podvodni grebeni, čeri, razbitine, podvodne gradnje, poglobi rečno, jezersko ali pristaniško dno, izdelajo jarki, useki, itd.

Razstreljevalna dela pod vodo se razlikujejo od površinskih, kajti voda se obnaša kot delno izolacijsko sredstvo, ki zaradi svoje nestisljivosti deluje kot trdna masa, kar pa vpliva na porabo eksploziva. Ob proženju eksplozivnih polnitev se z valovi prenaša pritisk v okolico.

To dejstvo vpliva na izbiro tehnike razstreljevanja in izbiro varnostnih zaščitnih ukrepov. Preveriti je potrebno, če zaščitni ukrepi zadostujejo za varovanje ogroženih ljudi, objektov, plovil. V nasprotnem primeru se mora uporabiti le toliko eksploziva, da le-ti ne bodo ogroženi. Zaradi velike škode, ki lahko nastane pri podvodnih razstrelitvah, varstva narave in ohranitve vodnih živali, je priporočljivo pred glavnim miniranjem sprožiti več manjših, da se prežene ribe iz ogroženega območja. Pri večjih razstreljevalnih delih v obalnih vodah je potrebno opraviti seizmične meritve, pridobiti čimbolj natančne podatke o geoloških razmerah in izvesti poskusna miniranja za določitev maksimalnih parametrov miniranja, kakor tudi učinkovitost zaščitnih ukrepov. Razstreljevalna dela se izvajajo s polaganjem razstreliva neposredno na dno ali s polnjenjem v izvrtane vrtime. Uporablja se eksploziv, ki je odporen na vodo, to so predvsem želatinasta razstreliva in razstreliva z vsebnostjo nitroglicerina. Za vžiganje eksplozivnih polnjenj se morajo uporabljati vodotesna vžigala. Proizvajalci zagotavljajo vodotesnost do vrednosti hidrostatičnega tlaka 0,2 do 0,6 bar za čas trajanja 6 ur. Za večje globine so posebne izvedbe z ojačanim tulcem in svinčeno kapo do 60 bar hidravličnega statičnega tlaka. Eksplozivne polnitve zdržijo praviloma 30 bar hidrostatičnega tlaka. Pri podvodnih miniranjih je praksa pokazala, da prihaja do prenosa detonacij med vrtime, ki vsebujejo polnitev eksploziva 3 kg/m ob razdalji med vrtime 2 m. Langefors je razvil eksperimentalno enačbo za dinamit med količino eksploziva (L) in razdaljo med vrtime (a_B):

$$L = 0,75 * a_B^2 \quad (\text{povzeto po Belšak, 1978, str. 60})$$

Ta enačba pride v poštev le, če upoštevamo, da težav s prenosom detonacije ni. Količina eksploziva v vrtime znaša 0,4 do 0,9 kg/m³ pri kompaktnih kamninah.

S podvodnim miniranjem prvenstveno razstreljujemo kamnino, ki se delno ali v celoti nahaja pod vodno gladino. Polnjenje vrtin z razstrelivom se izvaja pod vodo. Pri izdelavi načrta miniranja pod vodno gladino moramo biti pozorni zlasti na:

- ❖ primerno opremo za vrtanje
- ❖ način polnjenja vrtin
- ❖ porabo eksploziva (v povezavi s hidrostatičnim tlakom)
- ❖ uporabo odpornega eksploziva
- ❖ uporabo optimalnega načina iniciranja min
- ❖ izbiro optimalnih časovnih intervalov.

➤ Osnovni pristopi za izvedbo podvodnega vrtanja in miniranja so naslednji:

- ❖ s splava
- ❖ s pomočjo potapljačev

- ❖ s polaganjem kumulativnih min
- ❖ preko nasutega materiala.

9.2 VRTANJE IN POLNJENJE VRTIN POD VODO IZ SPLAVA

Splav je opremljen s potrebno opremo za vrtanje s platforme in z oprijemi, s katerimi se fiksira na dno.

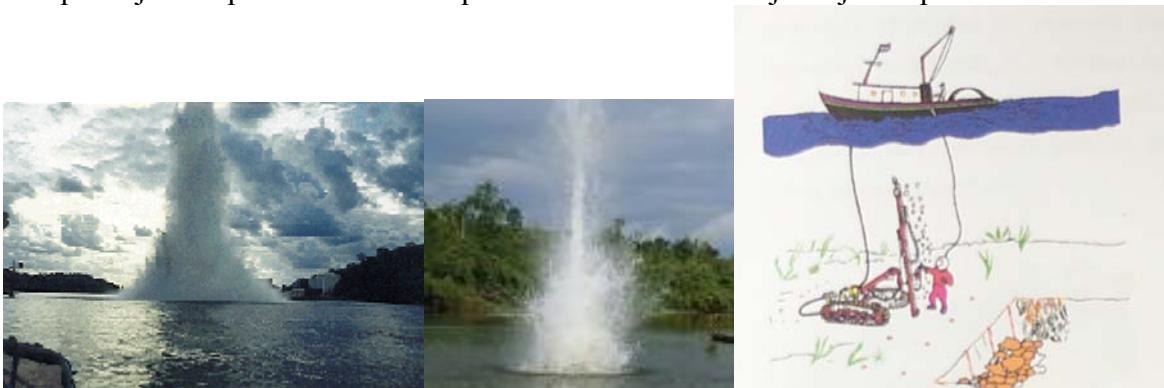


Slika 41: Splav, opremljen za podvodno vrtanje

Vir: Božić, 1998, str. 154

9.3 VRTANJE S POMOČJO POTAPLJAČEV

Pogosto je potrebno izvesti poglobitev na obalah morij in jezer za pristanišča, marine in podobno. Sodobna plovila imajo večje ugreze, kar zahteva večje globine vode v pristaniščih. Izkopavanje skal pod vodo zahteva posebne tehnike razstreljevanja in opremo.



Slika 42: Podvodno razstreljevanje

Vir: Božić, 1998, str. 156

Največja ovira je neugodna geološka sestava, kjer se pojavljajo razpoke v homogeni skali. Priporoča se izvajanje rahljalnega miniranja (naboj naj bo šibak $0,2 \text{ kg/m}^3$, a zadosten, da zrahlja hribino). Razmerje med razmakom eksplozivnih polnitev in pokrivko je med 0,5 in 1, odstrel se izvede v eni vrsti naenkrat, brez zakasnitev med vrtinami.

Pri delu potapljačev je potrebno upoštevati specifikko potapljaškega dela. Ob priliki izvajanja miniranja morajo vsi zapustiti ogroženo območje.

Ponavadi se vrtalna dela in miniranje izvedejo s ploščadi s podpornimi nogami, plavajoče ploščadi ali iz čolna. V večjih globinah pa so edina rešitev potapljači.

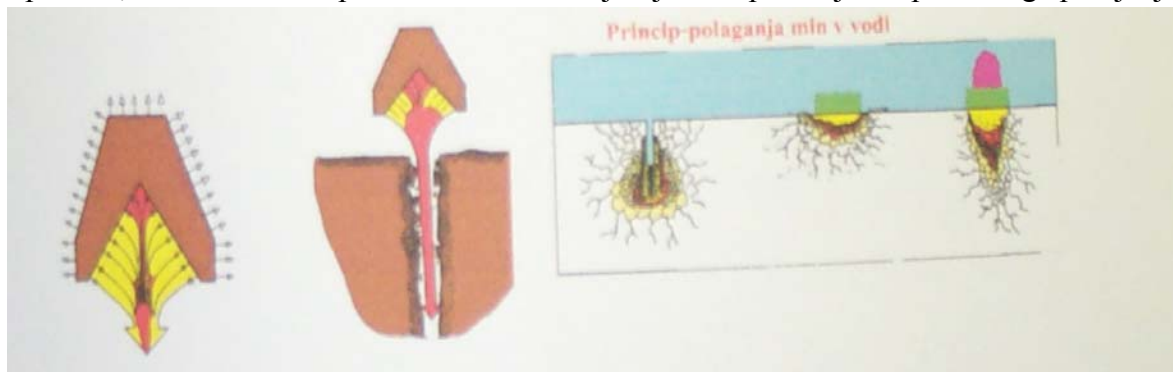
9.4 POLAGANJE KUMULATIVNIH MIN

Kjer se vrtanja ne da izvajati, se uporabijo posebni naboji za miniranje kraterjev.

To je tehnika uporabe kumulativnih eksplozivnih minskih polnjenj za rušenje stenske mase etaže globine 1,5 do 2 m brez vrtanja vrtin. Način je uporaben tudi pri sekundarnem razbijanju samic in pri geoseizmičnih miniranjih. Potapljači polagajo pripravljena kumulativna polnjenja, ki so opremljena z utežmi za preprečitev premikanja in dvigovanja pripravljenih min. V tuji literaturi podatki navajajo, da za kratek čas takoj ob detonaciji nastane val hidrostatičnega tlaka, ki je do 5 krat močnejši kot izmerjeni. Prosto detoniran 1 kg eksploziva v vodi povzroči takšen hidrostatičen tlak kot 200 kg eksploziva, nameščenega v vrtinah. Zaradi nastanka visokega hidrostatičnega tlaka ob priliki miniranja, ki pogosto poškoduje vžigalnike, se priporoča trenutno iniciranje minskih polnjenj. Poskusi na Japonskem so pokazali, da je kritična obremenitev za vžigalnike iz Cu in Fe od 130 do 170 N/cm². To v praksi pomeni, da detonacija 1 kg dinamita v vodi uniči Cu vžigalnike na razdalji od 1 do 1,5 m, Fe vžigalnike pa 0,5 m. Detonacija 5 kg dinamita v vodi uniči Cu vžigalnike 2,5 m od mesta detonacije.

9.4.1 Kumulativno polnjenje

Praviloma so mine polnjene z visoko brizantnimi eksplozivi, kot so Trotil, Heksogen, Pentrit brizance s hitrostjo preko 7500 m/s. Pri tem se izkoristi kumulativni učinek detonacije eksploziva, ki se ustvari ob pravilnem oblikovanju lijaka in proženju eksplozivnega polnjenja.

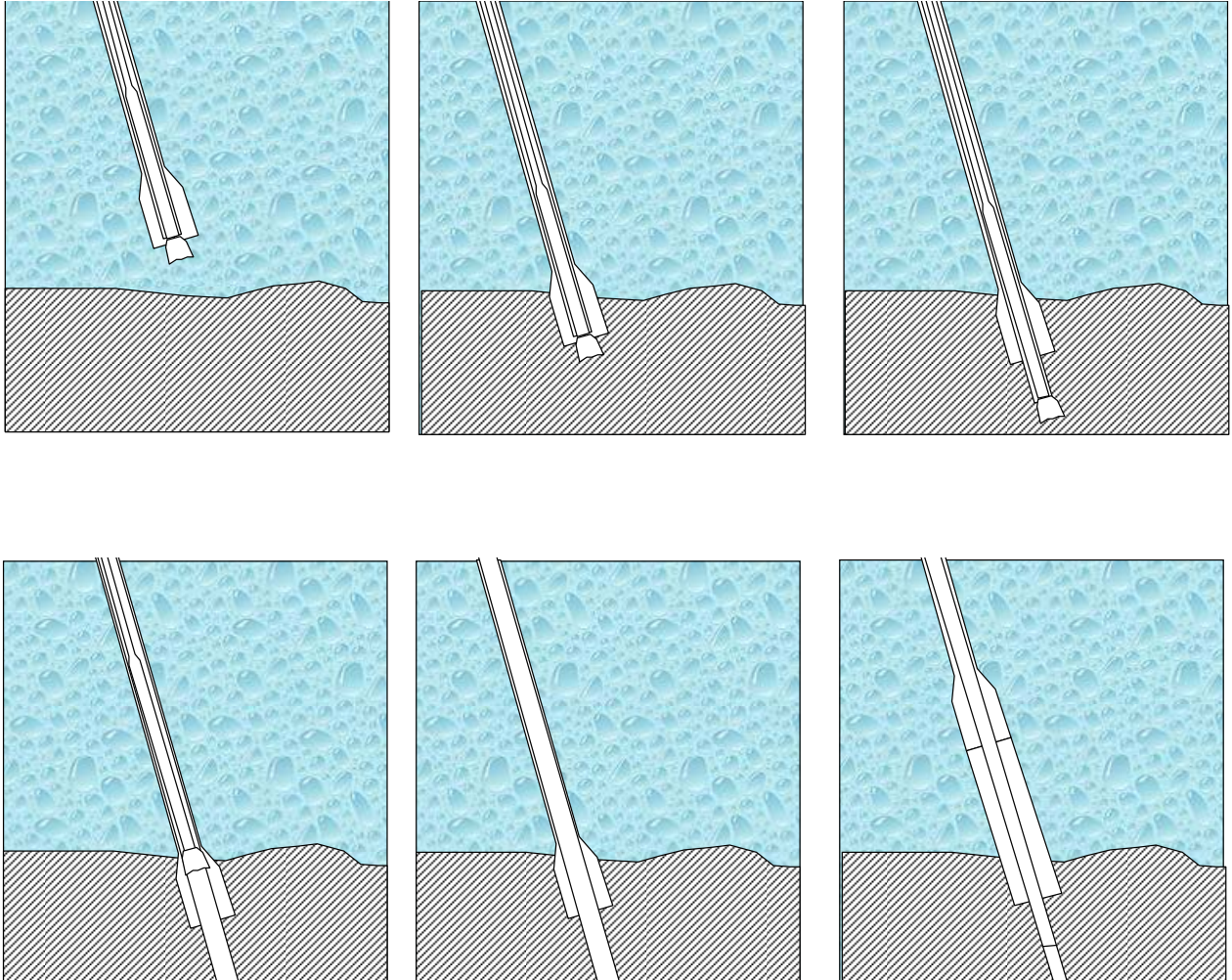


Slika 43: Princip dejstva kum. polnjenja in primerjava delovanja različnih pristopov minir.

Vir: Božić, 1998, str. 161

9.5 VRTANJE IN POLNJENJE VRTIN SKOZI NASUTI MATERIAL

Načini vrtnja preko nasutja se uporabljajo v plitvinah globine od 3 do 4 metre. Za vrtnje v danem primeru je uporaben Odeks sistem, ki omogoča zacevitev vrtnice preko nasutega materiala. Uporabljajo se orodja za kaliber vrtnice \varnothing od 50 do 105 mm.



Slika 44: Princip vrtnja skozi nasip in cevitev vrtnice

Vir: Božić, 1998, str. 171

9.6 ZAŠČITNI UKREPI ZA UMIRITEV UDARNIH VALOV

Za umiritev udarnih valov pri podvodnem miniranju uporabljamo tehniko zračne zavese, ki se uporablja tudi za odstranjevanje ledu pozimi in kot lomilec valov. Izvede se tako, da se na dno položi dve cevi kalibra \varnothing 75 mm, ki so navrtane z dvema vrstama lukenj premera 1,2 do 1,3 mm z razmakom 25 mm.

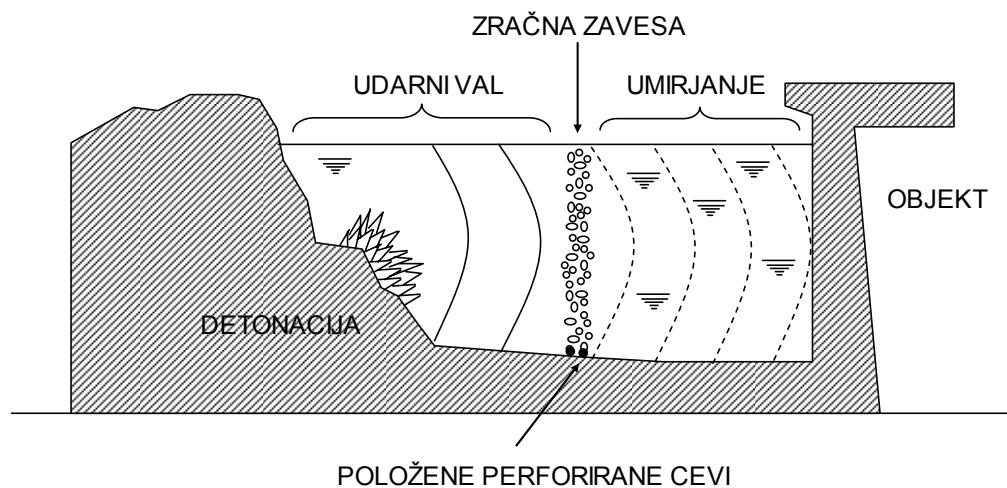
Cevi se položijo cca. 15 do 18 m od mesta miniranja, potrebna količina zraka se izračuna po formuli (povzeto po Belšak, 1978, str. 71):

dolžina cevi * 0,0025 m³ / min,

tlak je 7N/cm²,

zavesa se vključi cca 5 min pred izvedbo miniranja.

Hitrost toka vode vpliva na uspešnost delovanja zavesa, zato naj bo tok vode čim počasnejši. S poskusi je bilo ugotovljeno, da je omenjena metoda zmanjševanja udarnih valov učinkovita v razmerju 70:1.



Slika 45: Varovanje pred udarnim valom

Vir: Belšak, 1978, str. 131

9.7 POVZETEK



Pri podvodnem razstreljevanju gre za razstreljevanje pod vodno gladino, s čimer se odstranijo podvodni grebeni, čeri, razbitine, podvodne gradnje, poglobi rečno, jezersko ali pristaniško dno, izdelajo jarki, useki, itd.

Razstreljevalna dela se izvajajo s polaganjem razstreliva neposredno na dno ali s polnjenjem v izvrtane vrtine. Uporablja se eksploziv, ki je odporen na vodo, to so predvsem želatinasta razstreliva in razstreliva z vsebnostjo nitroglicerina. Za vžiganje eksplozivnih polnjenj se morajo uporabljati vodotesna vžigala.

Osnovni pristopi za izvedbo podvodnega vrtanja in miniranja so naslednji:

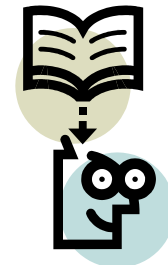
- ❖ s splava
- ❖ s pomočjo potapljačev

- ❖ s polaganjem kumulativnih min
- ❖ preko nasutega materiala.

Za umiritev udarnih valov pri podvodnem miniranju uporabljamo tehniko zračne zavese, ki se uporablja tudi za odstranjevanje ledu pozimi in kot lomilec valov.

9.8 VPRAŠANJA ZA OBNOVITEV ZNANJA

1. Opiši podvodno miniranje!
2. Opiši vrtanje in polnjenje vrtin pod vodo s pomočjo splava!
3. Kakšni so zaščitni ukrepi za umiritev udarnih valov?



10 UPORABA SPECIALNIH TEHNIK MINIRANJA

10.1 UVOD



Odstreljevanje je še vedno najcenejši način rušenja predvsem pri razbijanju velikih mas naenkrat, to je pri masovnih miniranjih. Pri uporabi specialnih tehnik pa je potrebno tehnološko obdelati vsak primer posebej. V nadaljevanju so prikazani tuji primeri:

- ❖ Masovni odstrel v kamnolomu kamenih agregatov,
- ❖ Rušenje armirano betonske pregrade v sklopu izgradnje nove hidroelektrarne,
- ❖ Poglobljanje struge v okviru povečanja izkoristka obstoječe hidroelektrarne.

10.2 MASOVNI ODSREL V KAMNOLOMU KAMENIH AGREGATOV



Miniranje z globokimi morskimi vrtinami (globlje od 6m in kaliber $\leq \varnothing 60\text{mm}$) je najbolj razširjena metoda pridobivanja mineralnih surovin. V kamnolomih prevladujejo etažne višine od 15 do 25m.

Dolžina minske vrtine je odvisna od:

- ❖ Višine etaže
- ❖ Naklon etaže in
- ❖ Prevrtnja nivoja spodnje etaže ($H_p = 0,2 * W$)

Miniranja se izvajajo z poševnimi in vertikalnimi morskimi vrtinami, ki so zavrtane paralelno pod naklonom $60^\circ - 90^\circ$ proti horizontali. Temeljni pogoj za optimalno izvedbo masovnega odstrela z globokimi morskimi vrtinami je dobro poznavanje fizikalno mehanskih lastnosti kamenine in minersko tehničnih lastnosti eksploziva s katerim izvajamo miniranje. Odločilni parametri učinkov miniranja so:

- ❖ Izbojnica
- ❖ Razmik minskih vrtin
- ❖ Vrste eksplozivov in eksplozivni naboj

Izbojnica ali linija najmanjšega odpora je v pogledu izvajanja minerskih del velikega pomena. Zmanjšanje izbojnice lahko povzroči nekontroliran razmet miniranega materiala. Povečanje izbojnice pa ima za posledico neugodno granulacijo materiala, povečanje seizmike kakor tudi dodatno sekundarno razbijanje prevelikih kosov.

Velikost izbojnice je odvisna od:

- ❖ Lastnosti kamenine
- ❖ Koncentracije in vrste eksplozivnega polnjenja
- ❖ Razmika minskih vrtin
- ❖ Razmika vrst
- ❖ Prevrtnja nivoja spodnje etaže

10.3 RUŠENJE AB PREGRADE V SKLOPU IZGRADNJE NOVE HIDROELEKTRARNE

V okviru industrijske uporabe razstreljevanja je rušenje z razstreljevanjem eno od pomembnejših vej razstreljevanja, kot so razstreljevanje posameznih elementov gradbenih konstrukcij iz betona, armiranega betona, opeke in kamna kakor tudi razstreljevanje celotnih gradbenih konstrukcij. Za izračun ponudbe rušenja armirano betonske zaporne pregrade je potrebno upoštevati sledeče parametre.

Globina vrtin

Uporabljeni MSED so imeli dolžino do 7,5cm. Dolžina patrone s 100g eksploziva in pripadajočim MSED je znašala 20cm. Eksploziv naj bi se nahajal na sredini nosilne stene. Globina vrtine je cca 40cm.

Natančnost vrtnanja v železo betonsko steno

Vrtnanje je potekalo z vrtalnim strojem. Vse vrtine so bile zavrtane do 3cm natančno. Do odstopanj je prihajalo zaradi izogibanja armaturnim palicam.

Ocena specifične porabe razstreliva in razdalja med vrtinami

Specifično porabo razstreliva izračunamo na podlagi minimalne količine materiala m^3/m vrtine in porabe razstreliva kg/m vrtine.

$$Q_w = 0,5 \times 0,5 \times 0,4 = 0,1 \text{ m}^3/\text{vrtino} = 0,1 / 0,6 = 0,16 \text{ m}^3/\text{m vrtine}$$

$$q = 0,1 \text{ kg}/0,16 \text{ m}^3 = 0,625 \text{ kg/m}^3$$

Razdalja med vrtinami je 50 x 50cm, globina 40cm, čep cca. 1/3. Izvedba poskusnega miniranja je oba ocenjena in izbrana parametra potrdila.

Ocena porabe specifične energije razstreliva

Izračun izvedemo na podlagi specifične porabe razstreliva in energije razstreliva:

$$q = 0,625 \text{ kg/m}^3 \times 4,176 \text{ MJ/kg} = 2,61 \text{ MJ/m}^3$$

Na podlagi izkustvenih norm lahko ugotovimo, da imamo specifične energije razstreliva več, kot je potrebujemo. Na podlagi rezultatov prvih odstrelav obstaja možnost povečanja geometrije vrtnanja (izbojnice in razdalje med vrtinami).

Iniciranje razstreliva v vrtini

Iniciranje razstreliva v vrtini izvajamo z ostrim električnim detonatorjem. Razstrelivo iniciramo na spodnji tretjini tretje patrone v vrtini.

Varnostni ukrepi pri izvedbi miniranja

- ❖ Uporaba MSED – zmanjšanje tresljajev in usmerjanje razmeta,
- ❖ Umik ljudi na razdalji 200m v smeri rušenja in 100m v smeri nasproti rušenja (postavitev straže),
- ❖ Prekritje minskega polja s transportnim gumijastimi trakovi, mrežami,
- ❖ Pršenje vode v oblake prahu.

10.4 POGLABLJANJE STRUGE V OKVIRU IZKORISTKA OBSTOJEČE HIDROELEKTRARNE

Potrebno je izvesti poglobljanje struge reke v okviru povečanja akumulacije vode za potrebe hidroelektrarne na lokaciji pod pregrado. Poglobitev struge reke se opravi za koristno višino minimalne prostornine raščene materiala v višini 1,5 metrov. Skupna količina miniranega materiala in povečanja prostornine znaša 8.500 m^3 v raščem stanju.

Izračun polnjenja vrtine

Podatki o patroni razstreliva: 30 x 350 mm x 346 g

Dolžina polnjenja vrtine 1,4m

Količina razstreliva v spodnjem delu vrtine (zbiti za 10%):

$$Q_s = 2 \times 346 \text{ g} = 692 \text{ g} ; L_{sp} = 2 \times (350 \times 0,9) = 630 \text{ mm}$$

Količina razstreliva v ostanku vrtine

$$Q_o = 2 \times 346 \text{ g} = 692 \text{ g} ; L_{ov} = 2 \times 350 \text{ mm} = 700 \text{ mm}$$

$$Q = 2 \times 692 \text{ g} = 1,384 \text{ kg} = 1,384 \text{ kg / vrtini}$$

Dolžina polnjenja v vrtini

$$L_{pv} = 630 \text{ mm} + 700 \text{ mm} = 1,330 \text{ mm} = 1,3 \text{ m}$$

Dolžina čepa – vrtina zalita z vodo

$$L_v = 1,6 \text{ m} + 0,4 \text{ m} = 2 \text{ m}$$

$$\check{C} = 2 \text{ m} - 1,3 \text{ m} = 0,7 \text{ m}$$

Specifična poraba razstreliva

Specifično porabo razstreliva izračunamo na podlagi minirane količine materiala m^3/m vrtine in porabe razstreliva kg/m vrtine.

$$Q_w = 1,5 \times 1,2 \times 1,5 = 2,7 \text{ m}^3/\text{vrtino} = 2,7/1,5 = 1,8 \text{ m}^3/\text{m vrtine}$$

$$Q = 1,384 \text{ kg}/2,7 \text{ m}^3 = 0,512 \text{ kg}/\text{m}^3$$

Upoštevajoč dejstvo, da je višina vodnega stolpca 2m, ter da je specifična poraba za apnence po izkustvenih normah 0,30 – 0,6 kg/m^3 je predvidena minimalna možna poraba razstreliva.

Ocena porabe specifične energije razstreliva

Specifično energijo za porušitev izračunamo na podlagi specifične porabe razstreliva in energije razstreliva:

$$q = 0,512 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 4,176 \text{ MJ}/\text{kg} = 2,138 \text{ MJ}/\text{m}^3$$

Na podlagi izkustvenih norm lahko ugotovimo, da imamo specifične energije razstreliva na razpolago več kot je potrebujemo. Na podlagi rezultatov prvih odstrelav obstaja možnost povečanja geometrije vrtanja (izbojnice in razdalje med vrtinami).

Iniciranje razstreliva v vrtini

Iniciranje razstreliva v vrtini opravimo z neelektričnim detonatorjem tipa PRIMADET EZ DET dolžine cevki 6m ali električnim 25 ms detonatorjem dolžine žic minimalno 5m. Razstrelivo iniciramo na spodnji tretjini tretje patrone v vrtini. Pri iniciranju razstreliva z neelektričnimi detonatorji tipa PRIMADET EZ DET je količina razstreliva na interval odstrela enaka količini razstreliva v eni vrtini. Število vrtin v enem odstrelu je 100 vrtin. Iniciranje druge vrste vrtin se opravi z površinskim konektorjem PRIMADET EZ TL s 17 ms zakasnitvijo. Pri iniciranju razstreliva z električnimi 25 ms detonatorji je za hkratni odstrel 100 vrtin možno narediti samo tako, da se istočasno sprožijo 3 vrtine, kar je bistveno večja obremenitev za okolje.

Določanje intervala odstrela

Posebne potrebe po določanju ms intervala zakasnitve odstrela ni, ker je količina razstreliva na vrtino in interval odstrela tako mala, da tega ni potrebno posebej določati, ker že sama inicialna sredstva zagotavljajo ustrezne intervale.

Način vezave vrtin s primadet ez det

Za potrebe izdelave mreže za proženje razstreliv v minskih vrtinah se nad minskim poljem napne vrv z enega na drugi breg reke. Čez to nosilno vrv se pritrdijo cevke od PRIMADET EZ DET in to tako, da so površinski konektorji v zraku nad vodo. Na ta način vrv ostane nepoškodovana po proženju.

Enako se ravna tudi v primeru proženja z električnimi detonacijskimi kopicami, ko se na vrv pritrdijo stiki prevodnikov kopic iz vsake vrtine oziroma glavna vžigalna linija.

Varnostni ukrepi pri razstreljevanju

Kot posledica razstreljevanja nastopajo še naslednje nevarnosti:

- ❖ nevarnost odvrženih delov miniranega materiala,
- ❖ nevarnost seizmičnega (potresnega) učinka,
- ❖ nevarnost hidrostatskega udara pri miniranju pod vodo,
- ❖ nevarnost zračnega udarnega vala
- ❖ nevarnost pred strupenimi in dušljivimi plini – plinski produkti,
- ❖ toksični učinki razstrelilnih snovi,
- ❖ nevarnost toplotnega učinka.

Zahteve naročnika

- ❖ svetla, koristna višina poglobitve: 1,5m
- ❖ količina odstreljenega materiala v raščenem stanju: 8,500 m³
- ❖ vrtanje izvaja ločen izvajalec, vse vrtine morajo biti zacevljene, notranji premer alkatene cevi Ø 38mm ali več
- ❖ globina vode nad obstoječim dnom: 2m

Tehnične rešitve miniranja

- ❖ globina vrtin: $h = 2\text{m}$
- ❖ razpored vrtin: 1,2m x 1,2m, zamaknjena šahovnica
- ❖ število vrtin: 3935
- ❖ količina razstreliva v vrtini: 1,2 kg/vrtino
- ❖ število detonatorjev v vrtini: 1 kos/vrtino

VIRI, LITERATURA IN SLIKOVNO GRADIVO:

1. Belšak, D. *Miniranje in varnost*. Ljubljana: Univerzum, 1978.
2. Berta, G. *Explosives: an engineering tool*. Milano, 1990.
3. Božić, B. *Miniranje u rudarstvu, gradbeništvu i geotehnici*. Varaždin: Geotehnična fakulteta, 1998;
4. Coppe, D. *Manual pratico di esplosivistica civile*. Parma, 1993.
5. Flanagan, M., E. *The Application and Performance of Electronic Detonators*.
6. Hrastnik, J. *Rudarska dela in jamsko pridobivanje: skripta 1. in 2. del*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Montanožistika, 1981.
7. Josipović, J., Pavlović, V. *Osnovi rudarstva sa geologijom*. Beograd: Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, 1980.
8. Jovanović, P. *Izrada podzemnih prostorija velikog profila*. Beograd: Izdavačko preduzeće "Gradževinska knjiga", 1978.
9. Müller, L. *Tunnelbau: Dritter Band*. Stuttgart, Salzburg: Ferdinand Enke Verlag, Der Felsbau, 1978.
10. Pečovnik, I. *Rudarstvo*. Velenje: RLV Velenje, 1987.
11. Popović, N. *Naučne osnove projektovanja površinskih kopova*. Sarajevo: Inštitut za rudarska i hemijskotehnološka istraživanja u Tuzli, "Veselin Masleša", 1975.
12. Watson, J., T. *Developments with Eletronic Detonators*.

S R E Č N O !



Projekt Impletum

Uvajanje novih izobraževalnih programov na področju višjega strokovnega izobraževanja v obdobju od 2008 do 2011.

Konzorcijski partnerji:



**Šolski center
Novo mesto**



Operacijo delno financira Evropska unija iz Evropskega socialnega sklada ter Ministrstvo RS za šolstvo in šport. Operacija se izvaja v okviru Operativnega programa razvoja človeških virov za obdobje 2007–2013, razvojne prioritete 'Razvoj človeških virov in vseživljenjskega učenja' in prednostne usmeritve 'Izboljšanje kakovosti in učinkovitosti sistemov izobraževanja in usposabljanja'.