

Neelektrično elektronički inicijalni sustav

Jurlina, Dino

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:881428>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-25**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij rudarstva

NEELEKTRIČNO ELEKTRONIČKI INICIJALNI SUSTAV
Diplomski rad

Dino Jurlina
R-231

Zagreb, 2021.



KLASA: 602-04/21-01/168
URBROJ: 251-70-03-21-2
U Zagrebu, 05.07.2021.

Dino Jurlina, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju Vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM: 602-04/21-01/168, UR. BROJ: 251-70-11-21-1 od 03.05.2021. godine priopćujemo temu diplomskog rada koja glasi:

NEELEKTRONIČNO – ELEKTRONIČKI INICIJALNI SUSTAV

Za voditelja ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o diplomskom ispitu doc. dr. sc. Vinko Škrlec, docent Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Voditelj

(potpis)

Doc. dr. sc. Vinko Škrlec

(titula, ime i prezime)

**Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomске ispite**

(potpis)

Doc. dr. sc. Dubravko
Domitrović

(titula, ime i prezime)

**Prodekan za nastavu i
studente**

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Dalibor
Kuhinek

(titula, ime i prezime)

NEELEKTRIČNO ELEKTRONIČKI INICIJALNI SUSTAV

Dino Jurlina

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za rudarstvo i geotehniku
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Razumijevanje prednosti i nedostataka pojedinih inicijalnih sustava omogućava njihovu adekvatnu uporabu. Usporedbom pojedinih sustava na temelju kriterija kao što su točnosti vremena kašnjenja, jednostavnosti upotrebe, te sigurnosti prilikom manipulacije, pruža mogućnost odabira optimalnog inicijalnog sustava. Odabirom optimalnog inicijalnog sustava naposljetku rezultira sigurnijim i ekonomičnijem izvođenju određenog projekta.

Ključne riječi: inicijalni sustavi, prednosti, nedostaci, optimalni

Završni rad sadrži: 57 stranica, 0 tablica, 44 slika i 22 reference.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Dr. sc. Vinko Škrlec, docent RGNF

Ocjenjivači: Dr.sc. Vinko Škrlec, docent RGNF
Dr.sc. Mario Dobrilović, redoviti profesor RGNF
Dr.sc. Vječislav Bohanek, izvanredni profesor RGNF

NON - ELECTRICALLY ELECTRONIC INITIAL SYSTEM

Dino Jurlina

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum engineering
Department of Mining Engineering and Geotechnics,
Pierottijeva 6, 10 002 Zagreb

Abstract

Understanding the advantages and disadvantages of initial systems allows their adequate use. By comparing individual systems based on criteria such as delay time accuracy, ease of use, safety during manipulation, it provides the ability to select the most optimal initial system. Choosing the optimal initial system ultimately results in the safe and economical execution of a particular project.

Keywords: initial systems, advantages, disadvantages, optimal

Thesis contains: 57 pages, 0 tables, 44 figures and 22 references.

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Assistant Professor Vinko Škrlec, PhD

Reviewers: Assistant Professor Vinko Škrlec, PhD
Professor Mario Dobrilović, PhD
Associate Professor Vječislav Bohanek, PhD

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. POSTOJEĆI INICIJALNI SUSTAVI.....	2
2.1. Sustav iniciranja sporogorećim štapinom i rudarskom kopicom br. 8	2
2.2. Sustav iniciranja detonirajućim štapinom	5
2.3. Sustav iniciranja električnim detonatorima	6
2.4. Neelektrični sustav iniciranja	10
2.5. Neelektrični detonator i konektor	12
2.6. Posebni sustavi iniciranja	13
2.6.1. Sustav iniciranja elektroničkim detonatorima	13
2.6.2. Sustav iniciranja niskoenergetskim detonirajućim štapinom	16
2.6.3. Elektromagnetski sustavi iniciranja.....	17
2.6.3.1. Magnadet sustav iniciranja	17
2.6.3.2. RCB sustav iniciranja	18
2.6.4. Sustav iniciranja Hercudet.....	19
2.6.5. Posebne izvedbe električnih detonatora	21
2.6.5.1. Detonator s poluvodičkim mostićem.....	21
2.6.5.2. Detonator s eksplozivnim mostićem.....	22
2.6.6. Laserski i optički inicirani detonatori	23
2.6.6.1. Laserski inicirani detonatori	23
2.6.6.2. Optički inicirani detonatori.....	25
3. NEELEKTRIČNO ELEKTRONIČKI INICIJALNI SUSTAV	26
4. PREDNOSTI I NEDOSTATCI POSTOJEĆIH INICIJALNIH SUSTAVA	29
4.1. Prednosti i nedostaci sustava iniciranja sporogorećim štapinom i rudarskom kopicom br. 8.....	29
4.2. Prednosti i nedostaci sustav iniciranja detonirajućim štapinom	29

4.3. Prednosti i nedostaci sustava iniciranja električnim detonatorima.....	30
4.4. Prednosti i nedostaci sustava iniciranja neelektričnim detonatorima	31
4.5. Prednosti i nedostaci sustava iniciranja elektroničkim detonatorima.....	32
4.6. Prednosti i nedostaci sustava iniciranja niskoenergetskim detonirajućim štapinom.....	32
4.7. Prednosti i nedostaci Magnadet sustav iniciranja.....	33
4.8. Prednosti i nedostaci RCB sustav iniciranja.....	33
4.9. Prednosti i nedostaci sustav iniciranja Hercudet	33
4.10. Prednosti i nedostaci detonatora s poluvodički mostić.....	34
4.11. Prednosti i nedostaci detonatora s eksplozivnim mostićem	34
4.12. Prednosti i nedostaci laserski inicirani detonatora	35
4.13. Prednosti i nedostaci optički inicirani detonatora.....	35
4.14. Prednosti i nedostaci neelektrično elektroničkog inicijalnog sustava	35
5. USPOREDBA POSTOJEĆIH INICIJALNIH SUSTAVA.....	37
6. PRIKAZ CIJENE POJEDINIH INICIJALNIH SREDSTAVA.....	40
6.1. Cijena detonirajućeg štapina.....	40
6.2. Cijena električnog detonatora	40
6.3. Cijena neelektričnog detonatora	42
6.4. Cijena elektroničkog detonatorima.....	47
6.5. Usporedba navedenih sustava na temelju cijene	52
7. ZAKLJUČAK.....	53
8. LITERATURA.....	54

POPIS SLIKA

Slika 2-1 Prikaz sporogorećeg štapina (Ehardt, 2008)	2
Slika 2-2 Presjek sporogorećeg štapina (Dobrilović, 2008)	3
Slika 2-3 Pirotehnička šibica (Dobrilović, 2008)	3
Slika 2-4 Konstrukcija rudarske kapice (Dobrilović, 2008)	4
Slika 2-5 Presjek detonirajućeg štapina (Sharma, 2008)	5
Slika 2-6 Presjek milisekundnog usporivača za detonirajući štapin (Dobrilović, 2008)	6
Slika 2-7 Konstrukcija električnog detonatora (Zou, 2016)	7
Slika 2-8 Trenutni električni detonator (Zou, 2016)	8
Slika 2-9 Električni detonator s usporenjem (Zou, 2016)	8
Slika 2-10 Prikaz udarne cjevčice (Fabien, 2017)	11
Slika 2-11 Poprečni presjek udarne cjevčice (Fabien, 2017)	11
Slika 2-12 Looger i Blaster (ORICA, 2021)	14
Slika 2-13 Prikaz elektroničkog detonatora (Rock Products News, 2021)	14
Slika 2-14 Detonator sustava iniciranja niskoenergetskim štapinom (Dobrilović, 2008)	16
Slika 2-15 Magnadet detonator (Science Museum Group)	18
Slika 2-16 Povezivanje sustava magnadet (Types of explosives accessories)	18
Slika 2-17 RCB sustav iniciranja (Dobrilović, 2008)	19
Slika 2-18 Hercudet detonator (Tatiya, 2005)	20
Slika 2-19 Poluvodički mostić (Kumar)	22
Slika 2-20 Detonator s eksplozivnim mostićem (Dickson, 2019)	23
Slika 2-21 Shema djelovanja laserski iniciranog (Jian Guo Du, 2013)	24
Slika 2-22 Električna shema optičkog detonatora (Dobrilović, 2008)	25
Slika 3-1 Neelektrično elektronički inicijalni sustav (Mine Safety and Health Administration, 2021)	27
Slika 3-2 EZshot sustava kompanije Dyno Nobel (Dyno Nobel, 2020)	27
Slika 6-1 Prikaz cijena detonirajućeg štapina firme DYNNO NOBEL (Dyno Nobel Price List, 2021)	40
Slika 6-2 Prikaz cijena detonirajućeg štapina firme ORICA (ORICA, 2021)	40
Slika 6-3 Prikaz cijena električnih detonatora koje nudi firme ORICA (ORICA, 2021)	41

Slika 6-4 Prikaz cijena dodatne opreme koje nudi firme ORICA (ORICA, 2021)	42
Slika 6-5 Prikaz cijena neelektričnih detonatora serije NONEL MS firme DYNO NOBEL (Dyno Nobel Price List, 2021)	43
Slika 6-6 Prikaz cijena neelektričnih detonatora NONEL MS HD serije firme DYNO NOBEL (Dyno NobelPrice List, 2021)	43
Slika 6-7 Prikaz cijena neelektričnih konektora serije NONEL MS CONNECTOR firme DYNO NOBEL (Dyno Nobel PriceList, 2021)	44
Slika 6-8 Prikaz cijena ne električnih detonatora firme DYNO NOBEL (Dyno NobelPrice List, 2021).....	44
Slika 6-9 Prikaz cijena ne električnih detonatora firme DYNO NOBEL (Dyno Nobel Price List, 2021).....	44
Slika 6-10 Prikaz cijena NONEL Starter firme DYNO NOBEL (Dyno Nobel Price List, 2021)	45
Slika 6-11 Prikaz cijena neelektričnih Exel™ Millisecond (MS) Detonatorsdetonatora firme ORICA (ORICA, 2021).....	45
Slika 6-12 Prikaz cijena ojačanih neelektričnih detonatora serije Exel Enduradet Detonators firme ORICO (ORICA, 2021).....	46
Slika 6-13 Exel™ Lead in lines (ORICA, 2021).....	46
Slika 6-14 Exel™ Connectaline (ORICA, 2021)	46
Slika 6-15 Prikaz cijena konektora serije Exel™ MS Connectors MSCs (ORICA, 2021).....	47
Slika 6-16 Prikaz cijena elektroničkog detonatora koje nudi firme Dyno Nobel (Dyno NobelPrice List, 2021).....	48
Slika 6-17 Prikaz cijena elektroničkih detonatora koje nudi firme ORICA (ORICA, 2021)..	49
Slika 6-18 Prikaz cijena dodataka za elektroničke detonatora firme ORICA (ORICA, 2021)	50
Slika 6-19 Prikaz cijena dodataka za elektroničke detonatora firme ORICA (ORICA, 2021)	51
Slika 6-20 Prikaz cijena dodataka za elektroničke detonatora firme ORICA (ORICA, 2021)	51

1. UVOD

Uporaba eksploziva počela je tijekom 17. stoljeće i to upravo u rudarskoj djelatnosti. Daljnjim razvojem društva i sve veća potreba za mineralnim i energetske sirovinama utjecala je na sve češću primjenu eksploziva.

U suvremenom društvu eksplozivi su našli primjenu u različitim granama industrije kao što su rušenje objekata, iskopi u građevinarstvu, no također se primjenjuju i u šumarstvu, medicini, svemirskoj tehnologiji, obradi metala. Široku primjenu koju su eksplozivna sredstva pronašla u suvremenom društvu zahtijevaju veću sigurnost, ekonomičnost i kvalitetu kako samog eksploziva tako i inicijalnih sredstava.

Razumijevanje prednosti i nedostataka pojedinih eksploziva i inicijalnih sredstava odnosno pravilnim odabir omogućuje adekvatno primjenu u projektiranju što naposljetku dovodi do boljih ekonomskih rezultata i sigurnijeg izvođenja miniranja.

2. POSTOJEĆI INICIJALNI SUSTAVI

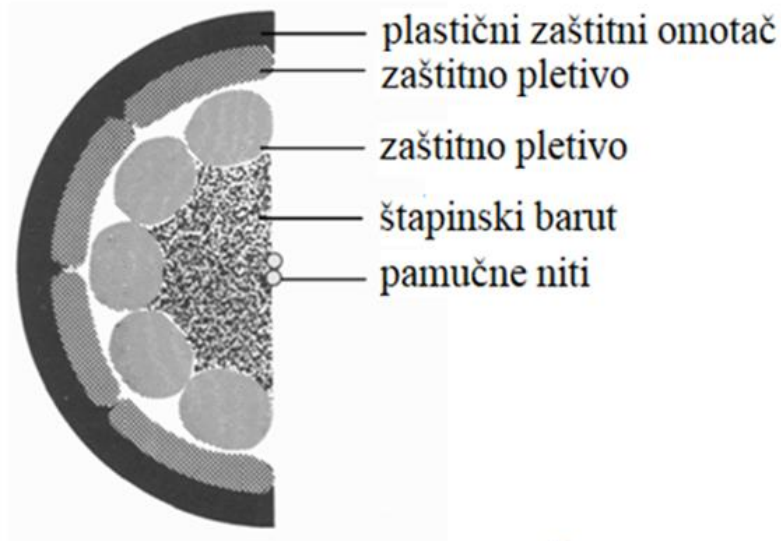
U ovom poglavlju biti će opisani postojeći inicijalni sustavi

2.1. Sustav iniciranja sporogorećim štapinom i rudarskom kapticom br. 8

Sporogoreći štapin inicijalno je sredstvo koje se u kombinaciji s rudarskom kapticom br. 8 koristi za iniciranje eksploziva. Naime, sporogoreći štapin izrađen je od plastične cjevčice koja obavića zaštitno pletivo unutar kojega se nalaze štapinski barut i pamučne niti. Kako bi se pokrenula reakcija, odnosno izgaranje baruta u sporogorećem štapinu primjenjuje se plamen pirotehničke šibice koja je prikazana na slici 2-3. Sporogoreći štapin prikazan je na slici 2-1, a njegov presjek na slici 2-2 (Dobrilović, 2008).



Slika 2-1 Prikaz sporogorećeg štapina (Ehardt, 2008)



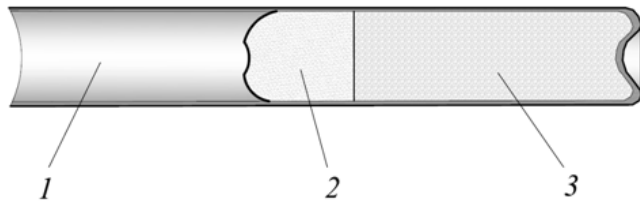
Slika 2-2 Presjek sporogorećeg štapina (Dobrilović, 2008)

Nadalje, paljenje sporogorećeg štapina moguće je i uobičajenim izvorom plamena, primjerice šibicama i upaljačem. Ovaj način nije dozvoljen zbog mogućnosti dobivanja opekлина rukovoditelja paljena.

Vrijeme sagorijevanja sporogorećeg štapina za standardne izvedbe u minerskoj praksi iznosi 120 sekundi za jedan metar štapina. Dopušteno odstupanje gorenja od srednje vrijednosti smije iznositi ± 10 s/m. Plamen koji se oslobađa na kraju sporogorećeg štapina pripaljuje i inicira primarno punjenje rudarske kapice. Primarno punjenje obično je izrađeno od olovnog azida koji svojom detonacijom pokreće reakciju sekundarnog punjenja. Ovisno o izvedbi i proizvođaču sekundarnog punjenje može biti trinitrotoulena, oktogena, heksogena, a najčešće pentrita. Konstrukcija rudarske kapice prikazana je na slici 2-4 (Ester, 2005).



Slika 2-3 Pirotehnička šibica (Dobrilović, 2008)



Kazalo:

- 1 - kućište i prostor za smještaj sporogorećeg štapina,
- 2 - primarno-inicijalno punjenje,
- 3 - sekundarno-brizantno punjenje.

Slika 2-4 Konstrukcija rudarske kapice (Dobrilović, 2008)

Izvedba inicijalnog-primarnog i sekundarnog-brizantnog eksplozivnog punjenja u rudarskoj kapici prisutan i kod drugih vrsta detonatora. Detonatori se razlikuju u načinu iniciranja inicijalnog punjenja. Masa inicijalnog punjenja definira jačinu inicijalnog impulsa, što je ujedno i kriterij za razvrstavanje rudarske kapice. Norma HRN H.D3.150 preuzeta je iz standarda bivše Jugoslavije JUS-a i na osnovu toga razvrstavanju se izvedbe rudarskih kapica ovisno o dimenzijama i jačini na kapice br. 6. i br. 8 (Dobrilović, 2008).

Kako bi se odredila jačina kapice koriste se standardizirane metode ispitivanja kao što su (Dobrilović, 2008):

1. Određivanje radne sposobnosti prema Trauzlu (mjera jačine je volumen proširenja provrta u olovnom bloku)
2. Probojnost olovne pločice (mjera jačine je promjer probušenja olovne pločice).

Nešto novija metoda ispitivanja u skladu s europskim normama, danas i hrvatskim, određivanje je jačine detonatora za ispitivanje eksplozivnih tvari podvodnim testom. Nastala vrijednost tlaka ispitivanog detonatora uspoređuje se s vrijednostima referentnog detonatora. Masa ukupnog punjenja koje uključuje primarno i sekundarno punjenje za detonatore jačine ekvivalent rudarskoj kapici broj 8 iznosi približno 1 gram. Punjenja su smještena u kućišta ili čahure rudarskih kapica koja se izrađuju od aluminijskog ili bakarnog lima. Upotreba sporogorećeg štapina u današnje vrijeme je ograničena (Dobrilović, 2008).

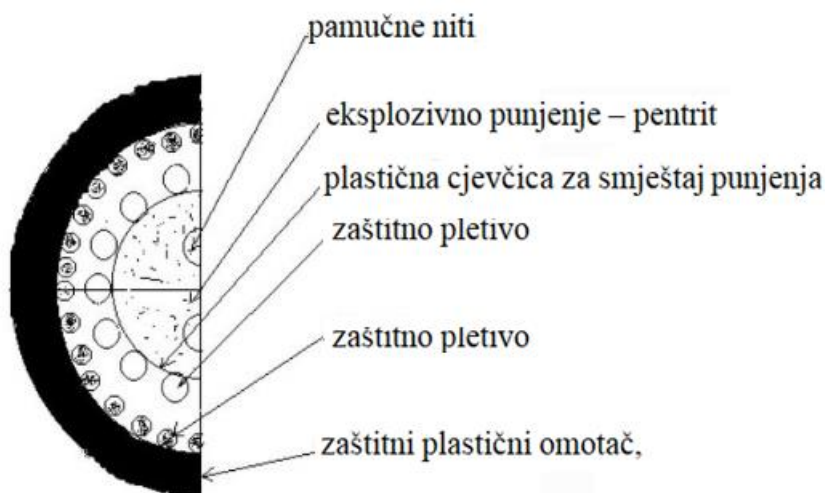
Sporogoreći štapin i rudarskom kapičom br. 8 inicijalni je sustav koji ne nudi niti fleksibilnost, niti točnost u kašnjenjima. Zbog varijacija u duljine štapina, brzine izgaranja i vremena paljenja, pojedinačne bušotine u najboljem slučaju će otpucati u nepravilnim intervalima, a u najgorem slučaju izvan redoslijeda. Sustav ima dvije nepremostive mane, neprecizno vrijeme kašnjenja i

lošu sigurnost. S druge strane sustav ne stvara zračni udar, niže je cijene te pruža zaštitu od električnih opasnosti (Dick, 1983).

Usprkos navedenim nedostacima sporogoreći štapin primjenjuje se u iniciranje minskih polja kojima se eksplozivna punjenja minskih bušotina iniciraju detonirajućim štapinom, udarnom cjevčicom ili na iniciranje pojedinačnih punjenja prilikom sekundarnih miniranja (Dobrilović, 2008).

2.2. Sustav iniciranja detonirajućim štapinom

Detonirajući štapin elastična je cjevčica punjena brizantnim eksplozivom, najčešće pentritom. Presjek detonirajućeg štapina prikazan je na slici 2-5. U uvjetima povišenog tlaka i temperature koriste se posebne izvedbe detonirajućeg štapina punjene oktogenom ili heksogenom. S obzirom na primjenu, detonirajući štapini razlikuju se prema duljinskoj koncentraciji eksplozivnog punjenja. Oznakama C-4 do C-100 određene su mase eksplozivnog punjenje koje se kreću od 4 g/m do 100 g/m (Dobrilović, 2008).

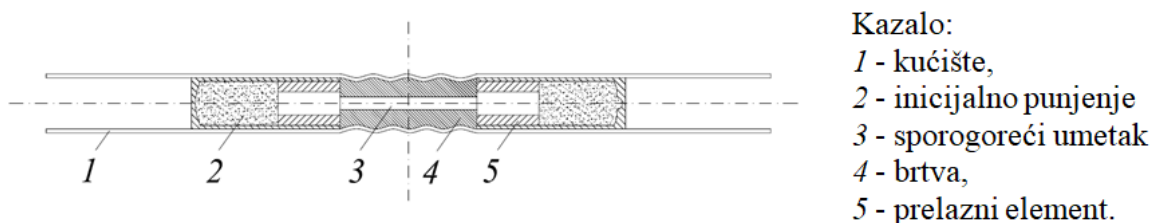


Slika 2-5 Presjek detonirajućeg štapina (Sharma, 2008)

Detonirajući štapin duljinske mase punjenja od 12 g/m, koristi se za iniciranje eksplozivnog punjenja minskih bušotina i prijenos detonacije u inicirajućoj mreži minskog polja. Brzina detonirajućeg štapina generalno iznosi 7000 m/s, te se može reći da je iniciranje unutar minskog polja trenutno. Kako bi se osigurao vremenski redoslijed otpucavanja, odnosno kašnjenje

pojedinih minskih bušotina nakon početnog iniciranja u mreže minskog polja, ugrađuju se milisekundni usporivači za detonirajući štapin. Preciznost postignutog vremena kašnjenja pojedinih stupnjeva paljenja ovisi jedino o točnosti milisekundnih usporivača. Presjek milisekundnog usporivača za detonirajući štapin prikazan je na slici 2-6. Standardne vrijednosti kašnjenja milisekundnih usporivača su 13 ms, 20 ms, 25 ms, 40 ms, 50 ms i 100 ms (Dobrilović, 2008).

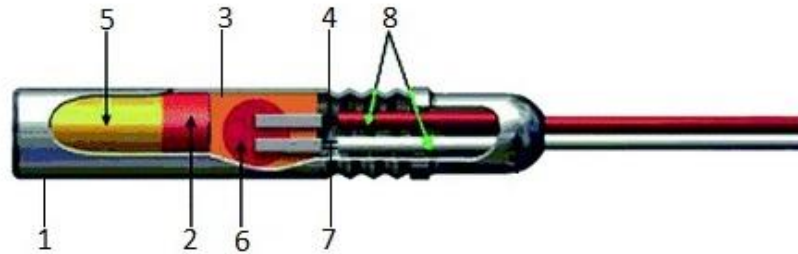
Sustav iniciranja detonirajućim štapinom primjenjuje se za iniciranje minskog polja s velikim brojem minskih bušotina, za miniranje kanala i za specijalna miniranja (Ester, 2005).



Slika 2-6 Presjek milisekundnog usporivača za detonirajući štapin (Dobrilović, 2008)

2.3. Sustav iniciranja električnim detonatorima

Električni detonator inicijalno je sredstvo u kojem se toplinski učinak električne struje koristi za iniciranje zapaljive glavice. Plamen koji oslobađa zapaljive glavica pripaljuje inicijalno punjenje rudarske kapice koja je konstruktivni dio detonatora. Konstrukcija električnog detonatora prikazana je na slici 2-7 (Dobrilović, 2008).



- 1 - kućište
 2 - inicijalno-primarno punjenje
 3 - antistatička komora za smještaj zapaljive glavice
 4 - brtva
 5 - sekundarno – brizantno punjenje
 6 - zapaljiva glavica
 7 - kontakti zapaljive glavice
 8 - električni vodiči

Slika 2-7 Konstrukcija električnog detonatora (Zou, 2016)

Električna energija potrebna za iniciranje električnih detonatora proizvodi se strojevima za paljenje koji mogu biti: dinamo-električni, kondenzatorski i elektronički.

S obzirom na izvedbu pripale zapaljive glavice, električni detonatori mogu se podijeliti (Dobrilović, 2008):

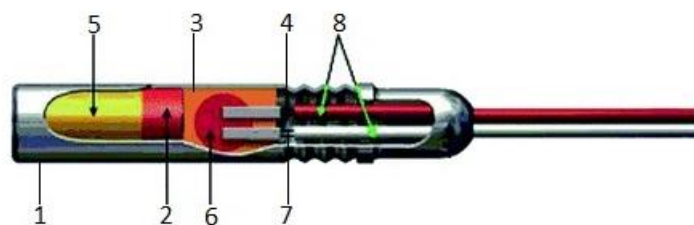
- Detonatore s mostićem,
- Detonatore s rascjepkom.

Detonatori sa ugrađenim mostićem za pripalu pirotehničke smjese zapaljive glavice koriste Jouelov toplinski učinak prolaska električne struje. S druge strane detonatori s ugrađenim iskrištem za iniciranje pirotehničke smjese zapaljive glavice koriste energiju iskre odnosno električnog pražnjenja između dvije elektrode (Dobrilović, 2008).

Električni detonatori s obzirom na vrijeme kašnjenja, dijele se na (Ester, 2005).

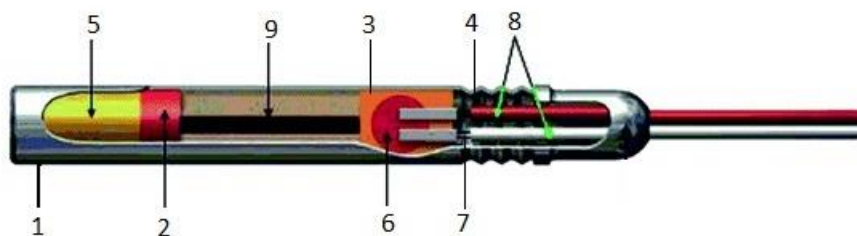
- Trenutne,
- Vremenske.

Izvedba trenutnog električnog detonatora prikazana je na slici 2-8, a električnog detonatora s usporenjem na slici 2-9.



- 1 - kućište
- 2 - inicijalno-primarno punjenje
- 3 - antistatička komora za smještaj zapaljive glavice
- 4 - brtva
- 5 - sekundarno – brizantno punjenje
- 6 - zapaljiva glavica
- 7 - kontakti zapaljive glavice
- 8 - električni vodiči

Slika 2-8 Trenutni električni detonator (Zou, 2016)



- 1 - kućište
- 2 - inicijalno-primarno punjenje
- 3 - antistatička komora za smještaj zapaljive glavice
- 4 - brtva
- 5 - sekundarno – brizantno punjenje
- 6 - zapaljiva glavica
- 7 - kontakti zapaljive glavice
- 8 - električni vodiči
- 9 - usporivački element

Slika 2-9 Električni detonator s usporjenjem (Zou, 2016)

Budući da trenutni detonatori nemaju ugrađen usporivački element detonacija se odvija u vremenu manjem od 10 ms. Iniciranje detonatora u intervalu od 10 ms smatra se trenutnim. Vremenski interval od 10 ms nastaje kao posljedica vremena potrebnog za zagrijavanje

električnog vodiča i paljenja pirotehničke smjese zapaljive glavice. Nadalje, prema kašnjenju vremenski električni detonatori dijele na milisekundne, četvrtsekundne i polusekundne serije detonatora. Intervali kašnjenja od 25 ms i 34 ms spadaju u standardne milisekundne serije. Kašnjenje unutar pojedine serije definirano je njegovim brojem. Ovisno o vrsti proizvoda i proizvođaču u seriji detonatora postoji do 30 brojeva. Ukupno vrijeme kašnjenje detonatora od trenutka iniciranja, odnosno zatvaranja strujnog kruga i protoka električne struje do detonacije detonatora, određuje se umnoškom broja detonatora u seriji i vremenska oznaka serije. Prema tome, detonator broj dva u četvrtsekundnoj seriji ima ukupno vrijeme kašnjenja od pola sekunde. Za razliku od trenutnih detonatora, vremenski detonatori imaju izrađen umetkom od pirotehničke smjese definiranog vremena gorenja koja definira vrijeme kašnjenja. Zbog teškoće kontroliranja vremena usporenja usporivački element kod električnih detonatora mogu nastati nepreciznosti u vremena kašnjenja (Dobrilović, 2008).

Prema potrebnoj struji za pojedinačno paljenje, električni detonatori s mostićem dijele se na (Dobrilović, 2008):

- Normalno osjetljive (tip A),
- Neosjetljive (tip B),
- Visoko neosjetljive (tip C),
- Visoko neosjetljive (tip D),
- Seizmički normalno osjetljive (tip S₁),
- Seizmički neosjetljive (tip S₂).

Prema namjeni, električni detonatori mogu se podijeliti na sljedeći način:

- Detonatori za radove na površini, jamama, suhim i mokrim radilištima te ispod vode do 2 m dubine,
- Detonatori za miniranja ispod vode do 200 m dubine,
- Detonatori za upotrebu u eksplozivnim uvjetima metana ili ugljene prašine,
- Detonatori za seizmička ispitivanja (vrijeme kašnjenja koje je ispod 1 ms.)

Električnih detonatora iniciraju se strojevima za paljenje električnih detonatora koji su posebno razvijenih za te svrhe.

Strojevi za paljenje mogu biti (Ester, 2005):

- Dinamo-električni strojevi za paljenje,
- Kondenzatorski strojevi za paljenje.

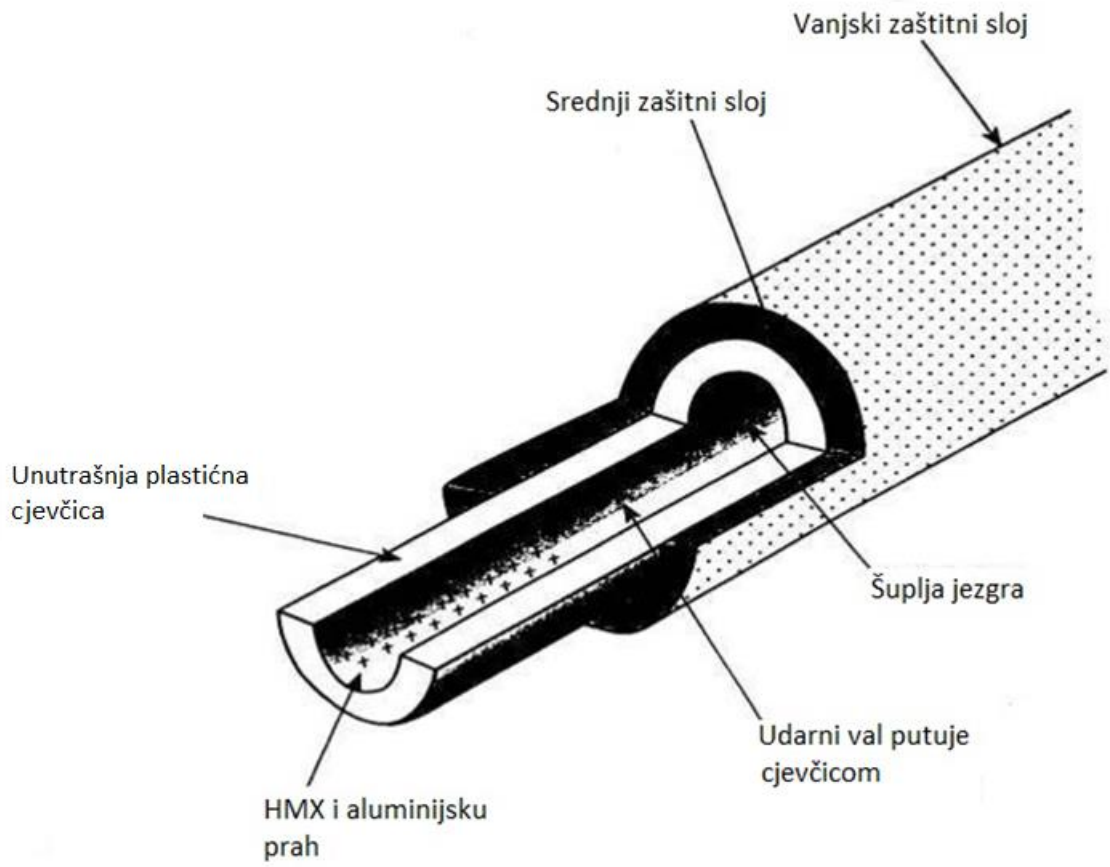
Električna energija distribuirati se u mrežu minskog polja na tri različita načina (Dobrilović, 2008):

- Neposredno iz izvora,
- Pražnjenjem generatorom,
- Baterijom nabijenog kondenzatora.

Električnih detonatora spajaju se u električne mreže serijski, paralelni i kombinirano. Električni otpor koji nastaje u električnoj mreži rezultat je zbroj otpora spojnih vodiča i otpora mostića zapaljive glavice pri čemu vrijede svi elektrotehnički zakoni za spajanje otpora (Dobrilović, 2008).

2.4. Neelektrični sustav iniciranja

Neelektrični sustav iniciranja sastoji se od tri komponente: udarna niskoenergetska cjevčica, neelektrični detonatori i neelektrični konektori ili spojnice. Udarne cjevčice izvedene su od tri sloja (slika 2-10). Unutrašnja cjevčica izrađena je od PVC Surlyn, na čiji je unutarnji plašt nanesen tanki sloj oktogena uz dodatak aluminijskog praha. Naime, na metar duljine cjevčice masena koncentracija premaza iznosi 20 mg. Uloga drugog sloja cjevčice, osigurati je dovoljnu prekidnu čvrstoću na vlak. Vlačna naprezanja nastaju prilikom spuštanja ovješene udarne patrone na dno bušotine i prilikom spajanja minskog polja. Vanjski sloj osigurava zaštitu cjevčice od abrazivnog djelovanja okoline i sunčevog ultraljubičastog zračenja. Prijenos udarnog vala unutar cjevčice postiže se slojem eksploziva uz djelovanje tunelskog efekta sabijanja zraka. Udarne val kreće se brzinom od 1980 m/s – 2100 m/s pri čemu cjevčica usmjerava udarne val i pri tome ostaje kompaktna. Poprečni presjek cjevčice prikazan je na slici 2-11 (Ester, 2005).



Slika 2-10 Prikaz udarne cjevčice (Fabien, 2017)



Slika 2-11 Poprečni presjek udarne cjevčice (Fabien, 2017)

2.5. Neelektrični detonator i konektor

Primarno punjenje neelektričnih detonatora i konektora inicira se, udarni valom udarne cjevčice i lokalnim povišenjem temperature postignutim gorećim česticama aluminijske cjevčice i lokalnim povišenjem temperature postignutim gorećim česticama aluminijske cjevčice. Za primarno punjenje detonatora koristi se inicijalni eksploziv (olovni azid ili senzibilizirani brizantni eksploziv). Senzibilizacija brizantnim eksplozivom čini detonator manje osjetljiv na vanjske utjecaje u odnosu na klasične detonatore, a dovoljno osjetljiv na udarni val cjevčice. Izvedba sekundarnog punjenja je ista kao kod rudarske kapice br.8, pa je samim tim jednaka i relativna snaga detonacije detonatora.

Unutar neelektričnog sustava iniciranja razvijeni su podsustavi za površinska i podzemna miniranja. Ovisno o proizvodnom programu proizvođača detonatori površinskog sustava imaju vrijeme kašnjenja od 325 ms do 500 ms. Ukoliko se detonatori jednakog vremena kašnjenja ugrađuju u minske bušotine, vremensko razdvajanje postiže se korištenjem konektorima na površini. Standardna vremena usporenja konektora su 0 ms, 9 ms, 17 ms, 25 ms, 42 ms, 67 ms, 109 ms i 176 ms.

Potrebne sheme redosljedna otpucavanja u prostoru i vremenu postižu se kombiniranjem pojedinih vremena kašnjenja detonatora i konektora. Pouzdano iniciranje daljnjih detonatora postiže se relativno velikim vremenom kašnjenja detonatora u odnosu na kašnjenje konektora čime je izbjegnuta moguća prekida veza konektor-cjevčica-detonator uzrokovanog gibanjem odminirane stjenke mase.

U jamskom sustavu ugrađuju se različita vremena kašnjenja u detonatore. Minsko polje inicira se tzv. *bunch konektorima*. Bunch konektori se sastoje od omče niskoenergetskog štapina punjenja 4 g/m – 6 g/m i trenutnog konektora. Budući da se svi detonatori iniciraju istovremeno, kašnjenje se kontrolira ugradnjom detonatora željenog usporenja. Neelektrični jamski detonatori napravljeni su tako da su standardni stupnjevi otpucavanja veći nego kod površinskih. Produžena vremena kašnjenja jamskih detonatora omogućuju dovoljno vremena za izbacivanje izdrobljene stjenke mase, te pružaju slobodnu površinu i slobodni volumen za djelovanje mina slijedećeg stupnja paljenja. Tunelski (jamski) detonatori proizvode se u seriji s vremenima kašnjenja od 100 ms, 200 ms, ..., 1000 ms; 1200 ms, ..., 2000 ms; 2500 ms, ..., 9000 ms (Dobrilović, 2008).

Jednako kao i kod električnih detonatora kašnjenje pojedinih stupnjeva paljenja postiže se pirotehničkim usporivačkim elementima. Nadalje, za povezivanje i prijenos inicijalnog impulsa između detonatora i vremensko razdvajanje odnosno kašnjenje pojedinih stupnjeva paljenja koriste se neelektrični konektori. Plastičnim kućištem s kojim je opremljen neelektrični konektor omogućuju brzo, jednostavno i pouzdano spajanje konektora i cjevčice (Dobrilović, 2008).

Iniciranje neelektričnog sustava moguće je (Dobrilović, 2008):

- Električnim detonatorima,
- Sporogorećim štapinom i rudarskom kapicom,
- Posebnim uređajima za iniciranje udarne cjevčice.

Uređaji za iniciranje udarne cjevčice mogu biti; uređaji s mecima i uređaji s iskrom.

2.6. Posebni sustavi iniciranja

U ovu grupu sustava iniciranja nalaze se sustavi posebne namjene koji u praksi nemaju masovnu upotrebu.

2.6.1. Sustav iniciranja elektroničkim detonatorima

Potreba za većom preciznošću kontrole vremena kašnjenja utjecala je na razvoj sustav iniciranja elektroničkim detonatorima. Sustav iniciranja elektroničkim detonatorima omogućio je smanjenja odstupanja stvarnog vremena kašnjenja od deklariranog vremena kašnjenja. Naime, pirotehnički usporivački element zamijenjen je s elektroničkim vremenskim sklopom. Zbog toga sustav omogućuje regulaciju vremena kašnjenja do 1 ms. Povećana sigurnost na minskom polju ostvarena je upotrebom sustava elektroničkog kodiranja pojedinih detonatora, njihovom pozicijom unutar vremenskog rasporeda otpucavanja te višestrukom kontrolom ispravnosti i pravilnog spajanja detonatora. Uz elektronički detonator, sustav čine kontrolni uređaj, tzv. *looger* i uređaj za iniciranje, tzv. *Blaster* (slika 2-12). Na slici 2-13 prikazan je elektronički detonator (Dobrilović, 2008).



Slika 2-12 Looger i Blaster (ORICA, 2021)



- 1 – električni vodiči
- 2 – kućište
- 3 – elektronički vremenski sklop
- 4 – zapaljiva glavica
- 5 – primarno punjenje
- 6 - sekundarno punjenje

Slika 2-13 Prikaz elektroničkog detonatora(Rock Products News, 2021)

Obzirom na način postizanja vremena kašnjenja, postoje tri različite izvedbe elektroničkih detonatora (Dobrilović, 2008):

- Detonatori s tvornički programiranim vremenom kašnjenja,
- Poluprogramabilni elektronički detonatori,
- Detonatori s programabilnim vremenom kašnjenja.

Prvi patent elektroničkog detonatora proizvedenim je 1986. godine u kompaniji Dynamit Nobel. Upotreba elektroničkih detonatora zahtjeva upotrebu namjenskog uređaja za paljenje. Kod tvornički programiranih elektroničkih detonatora odstupanje stvarnog vremena kašnjenja od nominalnog vremena kašnjenja manje je od 1 ms.

Ranije izvedbe programibilnih elektroničkih detonatora, koristile su tvornički ugrađen vremenski pojas unutar kojega se postavljalo željeno vrijeme kašnjenja. Najmanje i najveće moguće vrijeme kašnjenja detonatora definirana je vremenskim pojaskom pojedine podgrupe detonatora, vrijeme kašnjenja unutar pojasa može se definirati s točnošću od 1ms. Ukupan vremenski raspon kašnjenja u skladu s projektiranom vremenskom shemom miniranja, postiže se ugradnjom detonatora željenih vremenskih pojaseva, a unutar pojaseva vremenski se odvajaju stupnjevi paljenja pojedinih detonatora. S druge strane postoje detonatori koji imaju mogućnost programiranja unutar intervala od 1 ms do 100 ms. Dok se ukupni mogući intervali kašnjenja do 6100 ms postižu programiranjem unutar računalnog programa.

Aktualni sustavi iniciranja elektronički detonatori programibilni su u potpunosti u ukupnom vremenu raspoloživog kašnjenja od 0 ms do 15000 ms. Ovisno o izvedbi i proizvođaču minimalnim intervalom između stupnjeva paljenja može iznositi od 1 ms, 4 ms i 5 ms. Programiranje elektroničkih detonatora nakon ugradnje u minsku bušotinu obavlja se u slijedećim fazama (Dobrilović, 2008):

- Detonatori se spajaju s programatorom (logerom) pomoću spojnica i linijskog kabela,
- Programator identificira kod i provjerava ispravnost pojedinog detonatora,
- Korisnik programatorom određuje vrijeme kašnjenja koje se pohranjuje u memoriju,
- Nakon programiranja i provjere svakog pojedinog detonatora provjerava se ukupna ispravnost ukupnog spoja detonatora,
- Korištenjem uređaja za paljenje (blastera) programirani intervali kašnjenja se aktiviraju, kondenzatori unutar detonatora se pune i obavlja se posljednja provjera funkcije,
- Iniciranje minskog polja.

Pomoću posebnih računalnih programa moguće je programiranje željenih vremena kašnjenja i ukupne vremenske sheme minskog polja. Također, programski paketi jamče prikaz simulacije

redosljeda otpucavanja i pretpostavke veličine seizmičkih utjecaja miniranja (Dobrilović, 2008).

2.6.2. Sustav iniciranja niskoenergetskim detonirajućim štapinom

Sustav iniciranja niskoenergetskim detonirajućim štapinom sastoji od detonatora s većom masom brizantnog punjenja koji se inicira niskoenergetskim detonirajućim štapinom duljinske koncentracije punjenja od 0,9 g/m. Prednost ovog sustava u odnosu na neelektrični sustav iniciranja je u tome što nakon miniranja u odminiranoj stijenskoj masi nema plastične komponente, a koja je prisutna kod neelektričnog sustava, jer detonirajući štapin tijekom detonacije sagori u potpunosti. Detonatori imaju ugrađeno kašnjenje u ukupno 17 stupnjeva i to od 0 ms, 50 ms, 100 ms, 150 ms, 200 ms, 250 ms, 300 ms, 350 ms, 400 ms, 450 ms, 500 ms, 600 ms, 1000 ms, 1400 ms, 1800 ms, 2400 ms, 3000 ms i 3800 ms.

Primarna upotreba sustava je za iniciranje eksploziva koji nisu osjetljivi na inicijalni impuls rudarske kapice br. 8. Ukoliko se sustav koristi za iniciranje eksploziva osjetljivih na rudarsku kapicu br. 8 poželjno je da se ne koristi kombinacija osjetljivih i neosjetljivih eksploziva na rudarsku kapicu br. 8 jer može poremetiti planirani redosljed otpucavanja u minskoj bušotini. Detonator sustava iniciranja niskoenergetskim detonirajućim štapinom prikazan je na slici 2-14 (Dobrilović, 2008).



Slika 2-14 Detonator sustava iniciranja niskoenergetskim štapinom (Dobrilović, 2008)

2.6.3. Elektromagnetski sustavi iniciranja

Sustavi koji se primjenjuju na principu elektromagnetizma su Magnadet sustav i RCB sustav iniciranja. Sustavi su opisani u nastavku.

2.6.3.1. Magnadet sustav iniciranja

Sprečavanje neželjenih iniciranja i povećanje sigurnosti rukovanja inicijalnim sredstvima navele su mnoge kompanije na istraživanja i razvoj novih sistema iniciranja. Magnadet sustav iniciranja neosjetljiv je na elektromagnetska zračenja, pojave lutajućih struja, te izvore istosmjernih i izmjeničnih struja. Detonator sustava sastavljen je od toroidne zavojnice s feromagnetskom jezgrom koja je priključena na krajeve spojnih vodiča detonatora.

Jačina detonatora jednaka je jačini rudarske kapice br. 8. Potreban impuls paljenja iznosi $15 \text{ mJ}/\omega - 22 \text{ mJ}/\omega$ kako bi se svladao otpora mostića zapaljiva glavica koji iznosi $0,5 \omega - 0,8 \omega$. Toroid zavojnica osjetljiv je na frekvenciju koja se aktivira pomoću posebnog uređaja za iniciranje na izmjeničnu struju koji radi u frekvencijskom rasponu od 12 000 - 25 000 Hz.

Prema vremenu kašnjenja detonatori se proizvode u milisekundnim serijama intervala kašnjenja 25 ms, stupnjevi 1-12, i intervala kašnjenja 30 ms, stupnjevi 12-30, i polusekundnim serijama s 12 vremenskih stupnjeva.

Spajanje minskog polja Magnadet detonatora izvodi se provlačenjem jednožilnog električnog vodiča kroz toroidne zavojnice. Vodič se poslije toga spaja na stezaljke uređaja za iniciranje.

Spojani vodič polja provučen kroz toroidne zavojnice ima funkciju primarnog transformatora, a toroidne zavojnice su sekundarni transformatori. U sekundarnim namotajima elektromagnetskom indukcijom, izmjenična struja uređaja za paljenje inducira potrebnu struju za iniciranje električne zapaljive glavice. Magnadet detonator prikazan je na slici 2-15, a način povezivanja na slici 2-16 (Dobrilović, 2008).



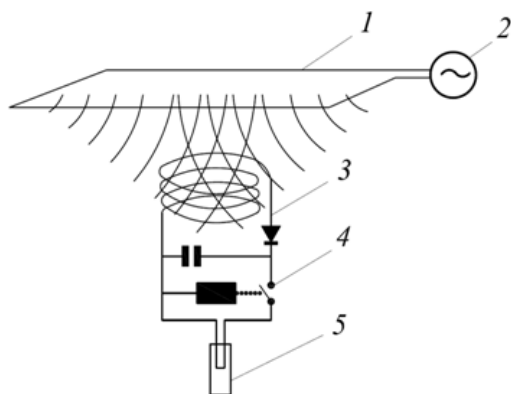
Slika 2-15 Magnadet detonator (Science Museum Group)



Slika 2-16 Povezivanje sustava magnadet (Types of explosives accessories)

2.6.3.2. RCB sustav iniciranja

RCB sustav iniciranja detonatora izvodi se elektromagnetskim poljem. Sustav je namijenjen za podvodna miniranja na većim dubinama. Odašiljač se napaja izmjeničnim izvorom frekvencije 550 Hz formira se elektromagnetsko polje koje pokriva područje minskog polja. Izmjenični napon koji se inducira u zavojnicama na površini vode puni kondenzator čija se energija koristi za iniciranje električnog detonatora. U svrhu smanjenja seizmičkih utjecaja miniranja detonatorski sustavi su trenutni, što predstavlja nedostatak zbog potrebe otpucavanja manjih minskih polja. Shema sustava prikazana je na slici 2-17 (Dobrilović, 2008).

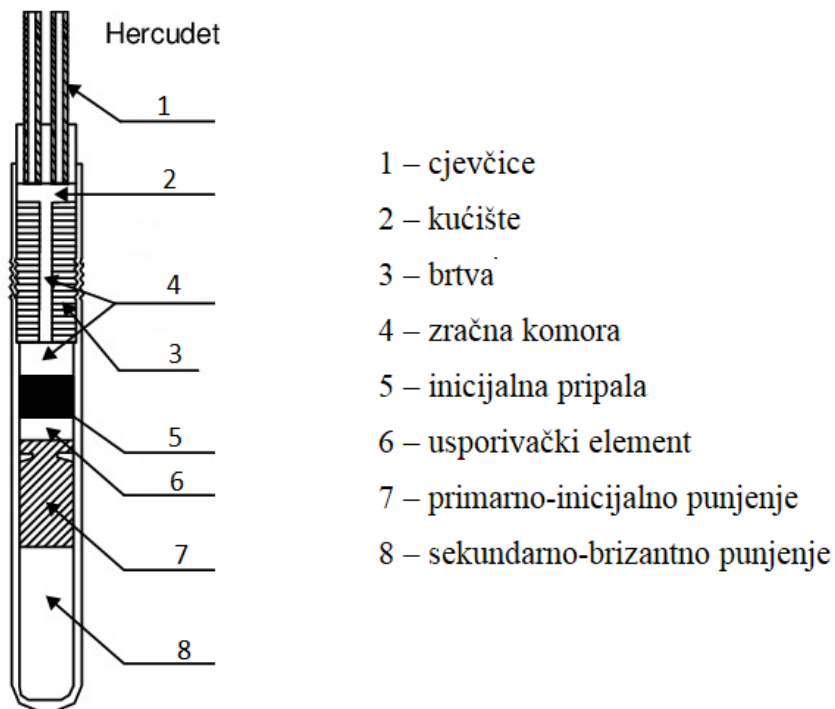


- Kazalo:
 1 - „antena“ predajnika,
 2 - izvor,
 3 - elektronički sklop i zavojnica
 prijemnika,
 4 - daljinska sklopka,
 5 - detonator.

Slika 2-17 RCB sustav iniciranja (Dobrilović, 2008)

2.6.4. Sustav iniciranja Hercudet

Inicijalni impuls prenosi se iz uređaja za paljenje do svih detonatora preko cjevčica ispunjene eksplozivnom smjesom plina. Uređaj za paljenje sastoji se od dva dijela, jedan dio koristi se punjenjem sustava cjevčica eksplozivnim plinom, a drugi za iniciranje mješavine plinova. Naime, prije samog punjenja sustava eksplozivnom smjesom plina, sustav se puni zrakom s ciljem provjere zabrtvljenosti spojeva. Detonator Hercudet sustava prikazan je na slici 2-18.



Slika 2-18 Hercudet detonator (Tatiya, 2005)

Hercudet sustav iniciranja verzija je neelektričnog sustava iniciranja. Zbog relativno kompliciranog načina upotrebe sustav nije naišao na široku primjenu u praksi. Sustav posjeduje milisekundno vrijeme kašnjenja, no također postoje duža vremena kašnjenja. Hercudet sustav zahtijeva sustav za brtvljenje. Kapice su veće čvrstoće od kapica koje se primjenjuju u električnom sustavu. Umjesto dvije žice kao kod električnog sustava, Hercudet sustav posjeduje dvije šuplje cjevčice. Naime, plastične cjevčice kojima je sustav opremljen nemaju eksplozivnu ispunu do pred samo iniciranje polja. Sustav funkcionira na temelju nisko energetske detonacije eksplozivnih plinova koje se nalaze u šupljim cjevčicama. Detonatori se mogu povezivati u serijske ili serijsko-paralelne sheme slično kao kod električnih krugova. Brzina detonacije plinova u cjevčici iznosi oko 2400 m/s (8000 fps). Nisko energetska detonacija ne uzrokuje puknuća cjevčica. Za podzemna miniranja dostupni su veća vremena kašnjenja sa duljim cjevčicama od 4,8 m do 7,3 m. Cjevčice se režu na potrebne duljine od strane минера a zatim spajaju serijski ili paralelno, pomoću spojnika i razdjelnika. Ako se prilikom provjere dovršenog kruga otkrije čep ili curenje, krug se rastavlja na segmente i provjerava Hercudet ispitivačem ili modulom za ispitivanje tlaka. Nakon što je sustav provjeren povezan se s jedinicom za dovod plina. Prije samog miniranja u cjevčice se utiskuje medij za prijenos inicijalnog impulsa. Medij je eksplozivna mješavina u metana i smjese vodika i kisika. Kako bi se povećala sigurnost

odnosno detektiralo propuštanja spojeva i potpuna ispunjenosti sustava, dodaje mješavini plinova odnosno miris. Eksplozivni plin mora se u sustav unositi tijekom odgovarajućeg vremenskog razdoblja kako bi se osiguralo da je sustav u potpunosti napunjen. Vrijeme potrebno za punjenje kruga plinom ovisi o veličini kruga.

Hercudet sustav ima prednosti, ne stvara zračnog udara, nema prekida punjenja, bez električnih opasnosti, svestrane mogućnosti kašnjenja i mogućnosti provjere sustava. Inertna priroda sustava do uvođenja plina predstavlja sigurnosnu prednost. Potrebna je posebna obuka od strane predstavnika proizvođača, jer je sustav u principu nešto drugačiji od starijih sustava, kao što su detonirajući štapin i električni detonatori (Dick, 1983).

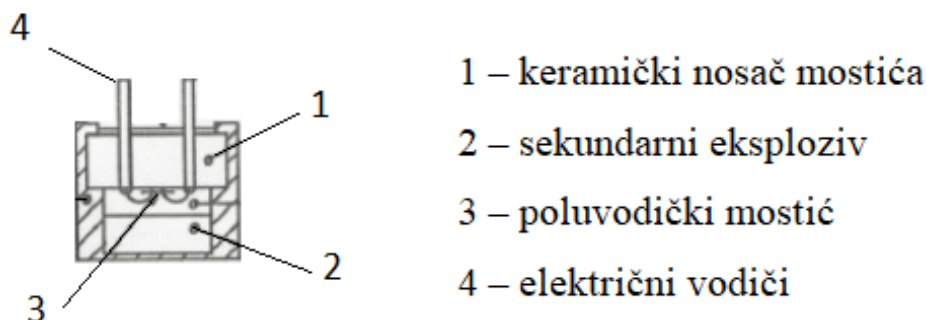
2.6.5. Posebne izvedbe električnih detonatora

Daljnijim razvojem društva detonatori su naišli na široku upotrebu u granama industrije kao što su svemirskoj tehnologiji i automobilskoj industriji itd. Obzirom na specifične zahtjeve radne sredine i primjene pojedinih inicijalnih sustava, primjenjuju se različiti mehanizmima iniciranja kao što su udar, trenje, toplina i laserske zrake. Daljnijim razvojem inicijalnih sustava pojavljuju se detonatori koji za svoju funkciju koriste nove fizikalne principe iniciranja sredstava. Pojedini detonatori ulaze u proizvodnju, no njihov način rada strogo je zaštićen. S druge strane postoje i detonatori čija je primjena ograničena na određene namjene, no i oni koji nisu ušli u komercijalnu primjenu, bilo to zbog troškova ili nezadovoljavanja pojedinih zahtjeva (Dobrilović, 2008).

2.6.5.1. Detonator s poluvodičkim mostićem

U uvjetima gdje je ograničen iznos raspoložive električne energije za iniciranje primjenjuje se detonatori s poluvodičkim mostićem (SCB). Poluvodički element odnosno mostić detonatora izrađen je od polisilicijskog materijala. U odnosu na klasične mostiće sa žicom, poluvodički mostić manjih je dimenzija. Samim time detonatoru je potrebna manja energija za iniciranje. Za iniciranje se koristi električna struja koja prolaskom u poluvodičkom detonatoru formira izboj plazme. Plazma potom inicira pirotehničku smjesu ili eksploziv u

kontakta s mostićem. Vrijeme iniciranja klasičnih mostića iznosi nekoliko ms dok poluvodičkog mostića iznosi μs . Izvedba poluvodičkog mostića s glavnim dijelovima prikazana je na slici 2-18. Detonatori s poluvodičkim mostićem primjenjuju se u automobilskoj industriji u zračnim jastucima, te u vojnim namjenama (Dobrilović, 2008).

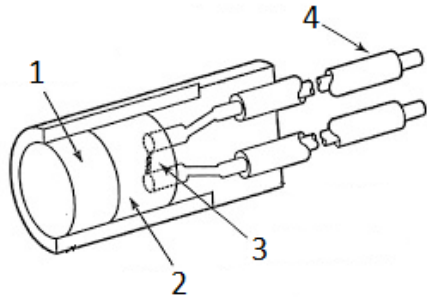


Slika 2-19 Poluvodički mostić (Kumar)

2.6.5.2. Detonator s eksplozivnim mostićem

U inicijalnim sustavima gdje je potrebno vrlo kratko i precizno vrijeme iniciranja mostića primjenjuje se detonator s eksplozivnim mostićem (engl. *Explodingbridgewire*, EBW). Vrijeme iniciranja eksplozivnog mostića je reda veličina $1 \mu\text{s}$. To je postignuto pražnjenjem visokonaponskog kondenzatora preko kratke, vrlo fine, zlatne žice da bi se stvorio zračni udar, zlatna plazma koji inicira primarno eksplozivno punjenje a primarno potom sekundarno. Mostići se najčešće izrađuju od zlata ali mogu biti izrađeni i od drugih materijala poput aluminija, bakra, srebra, željeza, platine i volframa. Najučinkovitiji materijali za EBW mostić imaju niska vrelišta, niske topline isparavanja i veliko povećanje otpora na prskanje. Stoga je prema efikasnosti utvrđeno da je najbolje zlato, a zatim srebro, bakar, aluminij, platina, volfram i na kraju željezo.

Daljim razvojem otkriveno je da prolaskom električne struje mostić se naglo zagrijava i eksplozivno isparava što je bio dostatan iznos energije da inicira samo sekundarni eksploziv u kontaktu s mostićem. Iniciranje strujama manjeg iznosa nije moguće jer detonator nema inicijalnog eksplozivnog punjenja i pirotehničke smjese. Izvedba detonatora s eksplozivnim mostićem prikazana je na slici 2-20 (Rae, 2019).



- 1 – drugi stupanj punjenja
- 2 – prvi stupanj punjenja
- 3 – eksplozivni mostić
- 4 – električni vodiči

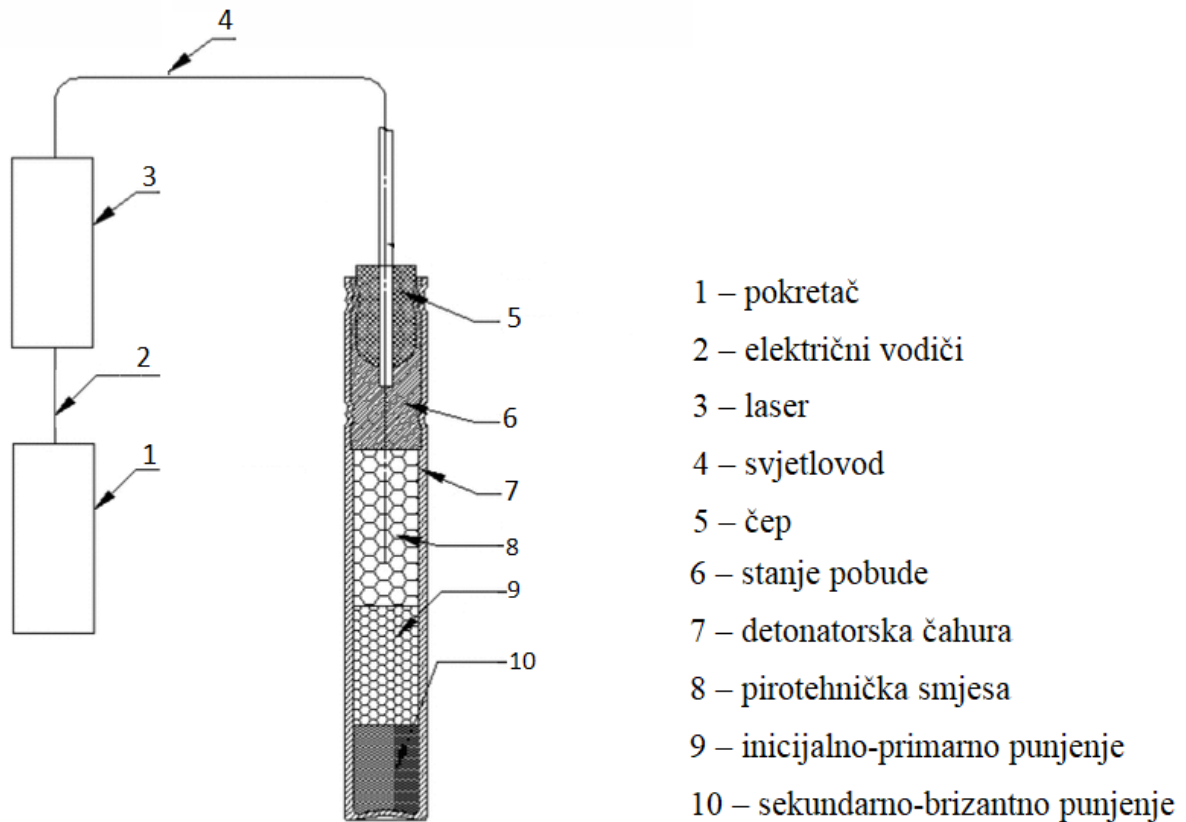
Slika 2-20 Detonator s eksplozivnim mostićem (Dickson, 2019)

2.6.6. Laserski i optički inicirani detonatori

Razvojem detonatora pokušavaju se unaprijediti nedostaci prethodno već razvijenih detonatora. U ovom poglavlju opisani su laserski i optički inicirani detonatori.

2.6.6.1. Laserski inicirani detonatori

Jedan od načina iniciranja koji bi zamijenio električne mostiće je razvoj laserski iniciranih detonatora. Zamjenom električnog mostića izbjegla bi se opasnost od iniciranja električnih detonatora u blizini jakih elektromagnetskih polja. Izvori laserske svjetlosne energije mogu biti jaki i slabi. Slabi izvori uglavnom su laserske diode energije reda veličina stotina mW. Jaki izvori imaju energiju reda veličina nekoliko W. Grafitni kolektori koji se koriste u laserskim iniciranim detonatorima onemogućuju disipaciju svjetlosti koncentrirajući toplinski impuls na taj način da lokalno zagrijavaju eksplozivnu tvar, ili sam eksplodira, te tako predaje energiju eksplozivnoj tvari. Na slici 2-21 prikazana je shema djelovanja laserski iniciranog detonatora (Dobrilović, 2008).



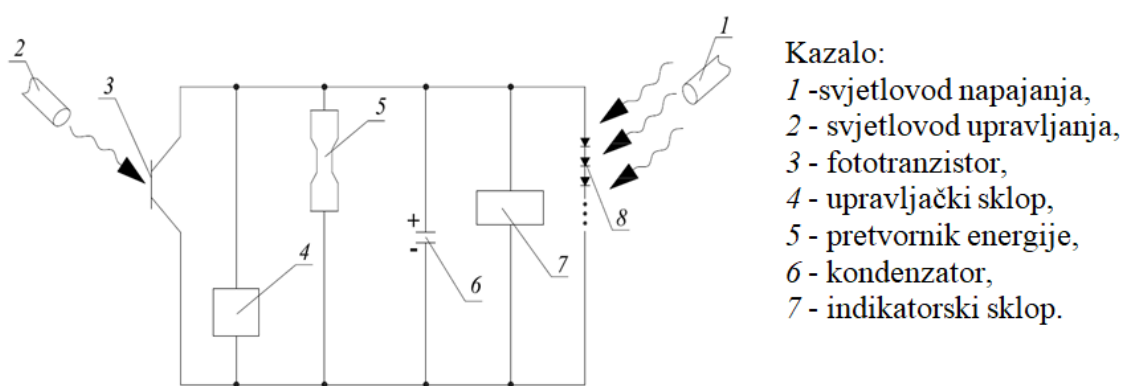
Slika 2-21 Shema djelovanja laserski iniciranog (Jian Guo Du, 2013)

Zavisno o površini poprečnog presjeka laserske zrake i njezinoj energiji vrijeme iniciranja kreće se u desecima μs . Energija lasera u iniciranju može se primijeniti i na drugi način. Obično se primjenom aluminijskog u obliku tankog filma metalizira kraj optičkog vodiča laserske zrake. Metalna prevlaka djelovanjem energije lasera se ispaljuje u eksplozivnu tvar i inicira je udarnim valom. Zbog slabe relativne toplinske vodljivosti koju aluminij posjeduje samo sloj koji je u kontaktu sa svjetlošću isparava, dok ostatak metala djeluje udarno (Dobrilović, 2008).

Lasersko pokretanje nudi nekoliko prednosti u odnosu na tradicionalne električne sustave za iniciranje, što se tiče sigurnosti i performansi. Iniciranje laserom omogućuje veće udaljenost između inicirajućeg izvora energije, i eksplozivnih uređaja, do nekoliko desetaka metara, u usporedbi s nekoliko metara za električne detonatore. Iznad ove duljine pogoršava se kvalitete laserskog impulsa. Laserski detonatorski sustav sastoji se od laserskog pokretača (izvor energije), metodu prijenosa optičke energije do eksplozivnog uređaja, kao što su optička vlakna i eksplozivna naprava ili detonator (Bowden, 2014).

2.6.6.2. Optički inicirani detonatori

Optički inicirani detonator transformira svjetlosnu energiju u električnu te njome pomoću fotoelementa nabija kondenzator. Optičkim kodiranim signalom upravlja se pražnjenjem kondenzatora odnosno iniciranjem. Integrirani sklop upravlja djelovanje detonatora. Električna shema detonatora dana je na slici 2-22 (Dobrilović, 2008).



Slika 2-22 Električna shema optičkog detonatora (Dobrilović, 2008)

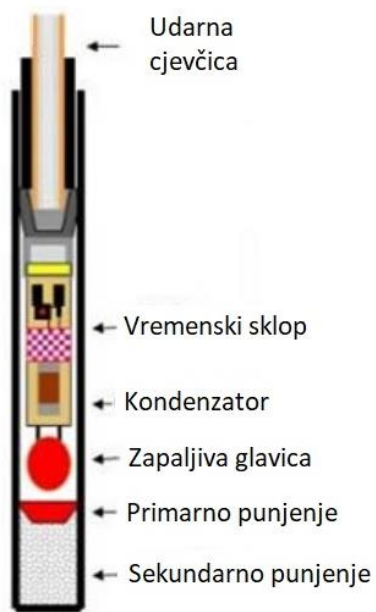
3. NEELEKTRIČNO ELEKTRONIČKI INICIJALNI SUSTAV

Ovaj sustav iniciranja nalazi se u grupi posebnih sustava iniciranja. Sustav se sastoji od udarne cjevčice i elektroničnog detonatora koji je prikazan na slici 3-1. Sustav radi na principu pretvorbe energije udarnog vala neelektrične cjevčice u električnu energiju potrebnu za aktivaciju vremenskog sklopa koji upravlja kašnjenjem i iniciranjem detonatora. Elektronički sklop osigurava točnost vremena kašnjenja.

EZshot sustav proizvod je kompanije Dyno Nobel. Sustav nudi tvornički programirano vrijeme kašnjenja u rasponu od 1100 ms do 8000 ms. Ponuđena vremena kašnjenja su: 1100 ms, 1400 ms, 1700 ms, 2000 ms, 2300 ms, 2700 ms, 3100 ms, 3500 ms, 3900 ms, 4400 ms, 4900 ms, 5400 ms, 5900 ms, 6500 ms, 7200 ms i 8000 ms (Dyno Nobel, 2020).

Navedena vremena kašnjenja povoljna su za podzemna ili tunnelska miniranja. Punjenje minskih bušotina jednako je kao i kod neelektričnog sustava. U odnosu na klasični neelektrični sustav iniciranja za EZshot sustav pokazalo se da čak 12% smanjuje preko profilni iskop. Uz sve navedeno sustav osigurava bolju kontrolu fragmentacije i bolju kontrolu vibracije. Time se osigurava veća stabilnost profila i manji završni radovi za oblikovanje profila nakon miniranja što ujedno štedi vrijeme i novac. Sustav koristi preciznost elektroničkog detonatora iniciranja, no zadržava jednostavnost neelektričnog sustava iniciranja (Gleeson, 2020).

Zbog toga, ne zahtijeva dodatnu obuku i dodatnu opremu za kontrolu miniranja. Sustav se može koristiti u rasponu okolne temperature od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+65\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na slici 3-2 prikazan je detonator EZshot sustav kompanije Dyno Nobel (Dyno Nobel, 2020).



Slika 3-1 Neelektrično elektronički inicijalni sustav(Mine Safety and Health Administration, 2021)



Slika 3-2 EZshot sustava kompanije Dyno Nobel (Dyno Nobel, 2020)

Prednosti neelektrično elektroničkog sustava iniciranja (Dyno Nobel):

- Velika preciznost koju osiguravaju elektronički detonatora,
- Jednostavnost korištenja,
- Manje dodatne obuke za minere koji su upoznati sa neelektrični sustav iniciranja,
- Manji troškovi izvođenja,
- Nisu potrebni posebni sustavi iniciranja kao kod elektroničkih detonatora,
- Smanjenje preko profilnog iskopa,
- Minimalizirano skaliranje,
- Manje potrebnog vremena za slaganje odminiranog materijala, odvoz i obradu,
- Poboljšana kontrola radijusa sigurnosne zone.

Nedostaci neelektrično elektroničkog sustava iniciranja:

- Nemogućnost provjere ispravnosti mreže nakon spajanja i povezivanja, osim vizualnog pregleda,
- Povećani troškovi miniranja (pri površinskim miniranjima u svaku se minsku bušotinu ugrađuje detonator i konektor).

4. PREDNOSTI I NEDOSTATCI POSTOJEĆIH INICIJALNIH SUSTAVA

Poznavanje prednosti i nedostataka pridonosi odabiru optimalnog inicijalnog sustava. U ovome poglavlju biti će navedene prednosti i nedostaci inicijalnih sustava.

4.1. Prednosti i nedostaci sustava iniciranja sporogorećim štapinom i rudarskom kapicom br. 8

Prednosti sustava iniciranja sporogorećim štapinom su (Dick, 1983):

- Relativno niska cijena,
- Jednostavnost upotrebe,
- Ne stvara zračni udar,
- Zaštite od električnih opasnosti.

Nedostaci sustava iniciranja sporogorećim štapinom su :

- Varijacija u duljine štapina,
- Odstupanje brzine gorenja sporogorećeg štapina,
- Nesiguran prilikom rada.

4.2. Prednosti i nedostaci sustav iniciranja detonirajućim štapinom

Prednosti detonirajućeg štapina su (Ester, 2005):

- Mogućnost vizualne kontrole mreže,
- Jednostavnost upotrebe i ugradnje usporivača,
- Mogućnost ugradnje dodatnog sigurnosnog voda za pouzdano iniciranje,
- Potpuno sagorijevanje,
- Relativno niska cijena.

Nedostaci detonirajućeg štapina su :

- Stvara buku i zračni udarni val,
- Uzrokuje stvaranje prašine,

- Nema mogućnost dodatne kontrole povezivanja osim vizualne,
- Razara čep minske bušotine,
- Razara eksplozive osjetljivima na inicijalni impuls r.k. br. 8, npr. u bušotini,
- Nepovoljno slaganje odminirane stjenske mase,
- Slabije iskorištenje energije eksploziva,
- Razbacivanje odminirane stjenske mase.

4.3. Prednosti i nedostaci sustava iniciranja električnim detonatorima

Prednosti sustava iniciranja električnim detonatorima su (Dobrilović, 2008):

- Trenutno iniciranje minskog polja sa sigurne udaljenosti,
- Mjerenjem električnog otpora može se obaviti kontrola povezanosti minskog polja i ispravnosti mostića detonatora,
- Jednostavno lociranje eventualnog prekida polja,
- Istovremenost iniciranja svih detonatora u električnoj mreži minskog polja,
- Neosjetljivost na prekide uzrokovane mehaničkim djelovanjem dijela odminirane stjenske mase,
- Odsustvo stvaranja zračnog udara i buke,
- Odsustvo destruiranja čepa minske bušotine.

Nedostaci sustava iniciranja električnim detonatorima su:

- Ograničenje raspoloživih stupnjeva paljenja u pojedinim serijama
- Ograničenje paljenja većeg broja detonatora u serijskom spoju zbog povećanja ukupnog otpora strujnog kruga,
- Izostanak paljenja prilikom iniciranja nedovoljnom strujom,
- Mogućnost neželjenog iniciranja u uvjetima gdje postoje elektromagnetski izvori zračenja ili pojave lutajućih struja prilikom podzemnih radova,
- Nemogućnost precizne kontrole spajanja svih detonatora u paralelnom spoju mjerenjem otpora i mogućnost izostanka iniciranja pojedinih detonatora,

- Mogućnost oštećenja spojnih električnih vodiča detonatora prilikom ugradnje i čepjenja bušotine,
- Nepreglednost prilikom spajanja minskih polja s velikim brojem bušotina i male površine.

4.4. Prednosti i nedostaci sustava iniciranja neelektričnim detonatorima

Prednosti neelektričnog sustava iniciranja su (Ester, 2005):

- Neosjetljivost na statički elektricitet i lutajuće struje,
- Jednostavnost rukovanja,
- Preglednost spajanja na minskom polju (različite boje cjevčica detonatora i konektora, kao i PVC zaštite na konektorima), što umanjuje mogućnost pogreške pri ugradnji,
- Neosjetljivost na vlagu,
- Ne izazivanje zračnog udarnog vala,
- Velika mehanička čvrstoća i nosivost cjevčice,
- Ne razaranje čepa minske bušotine,
- Neograničen broj minskih bušotina (stupnjeva otpucavanja) u minskom polju,
- Ne razaranje strukture eksploziva u minskoj bušotini.

Nedostaci neelektričnog sustava iniciranja su:

- Nemogućnost provjere ispravnosti mreže nakon spajanja i povezivanja, osim vizualnog pregleda,
- Povećani troškovi miniranja (pri površinskim miniranjima u svaku se minsku bušotinu ugrađuje detonator i konektor),
- Velikih usporenja uzrokuju nepreciznost u vremena kašnjenja,
- Ne postoji mogućnost ugradnje pomoćnih vodova koji osiguravaju iniciranje svake minske bušotine.

4.5. Prednosti i nedostaci sustava iniciranja elektroničkim detonatorima

Prednosti elektroničkog sustava iniciranja su (Dobrilović, 2008):

- Visoka točnost vremena kašnjenja,
- Fleksibilnost unutar odabira mogućih vremena kašnjenja,
- Pouzdanost rada uslijed višestrukih kontrola funkcije,
- Sigurnost rukovanja i izostanka neželjenog iniciranja,
- Mogućnost simulacije i programska podrška.

Nedostaci elektroničkog sustava iniciranja su:

- Komplicirana upotreba,
- Potreba za posebno izučenim operaterima,
- Nekompatibilnost sustava pojedinih proizvođača,
- Troškovi upotrebe sustava.

4.6. Prednosti i nedostaci sustava iniciranja niskoenergetskim detonirajućim štapinom

Prednosti niskoenergetskog detonirajućeg štapina su (Dobrilović, 2008):

- Jednostavnost upotrebe,
- Relativno niska cijena,
- Iniciranje eksploziva koji nisu osjetljivi na impuls rudarske kapice br. 8,
- U odminiranoj stjenskoj masi nema plastične komponente,
- Nemogućnost kombinacije osjetljivih i neosjetljivih eksploziva na rudarsku kapicu br. 8.

Nedostaci niskoenergetskog detonirajućeg štapina su :

- Stvara buku i zračni udarni val,
- Uzrokuje stvaranje prašine,
- Razbacivanje odminirane stjenske mase,
- Nepovoljno slaganje odminirane stjenske mase,
- Razara čep minske bušotine,

- Nema mogućnost dodatne kontrole povezivanja osim vizualne,
- Slabije iskorištenje energije eksploziva.

4.7. Prednosti i nedostaci Magnadet sustav iniciranja

Prednosti Magnadet sustav iniciranja su (Dobrilović, 2008):

- Neosjetljiv je na elektromagnetska zračenja, pojave lutajućih struja, te izvore istosmjernih i izmjeničnih struja,
- Jednostavno spajanje minskog polja,
- Nudi sve pogodnosti električnog sustava bez neželjenih iniciranja.

Nedostaci Magnadet sustav iniciranja su:

- Kašnjenje ovisi o točnosti usporenja usporivačkog elementa.

4.8. Prednosti i nedostaci RCB sustav iniciranja

Prednosti RCB sustav iniciranja su (Dobrilović, 2008):

- Pogodan za podvodna miniranja na većim dubinama,
- Neosjetljiv je na elektromagnetska zračenja, pojave lutajućih struja, te izvore istosmjernih i izmjeničnih struja.

Nedostaci RCB sustav iniciranja su :

- Detonatori sustava su trenutni (mogućnost otpucavanja samo manjih minskih polja).

4.9. Prednosti i nedostaci sustav iniciranja Hercudet

Prednosti sustava Hercudet su (Dick, 1983):

- Sigurna upotreba, spajanje polja odvija s inertnom cjevčicom,
- Ne stvara zračni udarni val,
- Bez opasnosti od neželjenog iniciranja električnom strujom,

- Svestrane mogućnosti kašnjenja,
- Mogućnosti provjere sustava.

Nedostaci sustava Hercudet su:

- Brtvljenje spojeva,
- Potreba za posebnom aparaturom za punjenje i iniciranje,
- Potreba za posebnom obukom.

4.10. Prednosti i nedostaci detonatora s poluvodički mostić

Prednosti detonatora s poluvodičkim mostićem su (Dobrilović, 2008):

- U odnosu na klasične mostiće sa žicom, poluvodički mostić manjih je dimenzija,
- Manja energija potrebna za iniciranje detonatora,
- Vrijeme iniciranja poluvodičkog mostića iznosi μs .

Nedostaci detonatora s poluvodičkim mostićem su:

- Zbog daljnjeg razvoja sustava trenutno nisu poznati nedostaci.

4.11. Prednosti i nedostaci detonatora s eksplozivnim mostićem

Prednosti detonatora s eksplozivnim mostićem su (Dobrilović, 2008):

- Vrlo kratko i precizno vrijeme iniciranja,
- Vrijeme iniciranja eksplozivnog mostića je reda veličina $1 \mu\text{s}$,
- Velika sigurnost prilikom uporabe,
- Bez opasnosti od neželjenog iniciranja električnom strujom.

Nedostaci detonatora s eksplozivnim mostićem su:

- Velika vrijednost struje potrebna za iniciranje.

4.12. Prednosti i nedostaci laserski inicirani detonatora

Prednosti laserski iniciranih detonatora su (Dobrilović, 2008):

- Vrijeme iniciranja kreće se u desecima μs ,
- Neosjetljiv je na elektromagnetska zračenja, pojave lutajućih struja, te izvore istosmjernih i izmjeničnih struja.

Nedostaci laserski iniciranih detonatora su:

- Sustav zahtijeva dodatnu opremu (laser).

4.13. Prednosti i nedostaci optički inicirani detonatora

Prednosti optički iniciranih detonatora su (Dobrilović, 2008):

- Neosjetljiv je na elektromagnetska zračenja, pojave lutajućih struja, te izvore istosmjernih i izmjeničnih struja,
- Iniciranje sustava u μs ,
- Veće udaljenost između inicirajućeg izvora energije, i eksplozivnih uređaja, u odnosu na električne sustave.

Nedostaci optički iniciranih detonatora su:

- Sustav zahtijeva dodatnu opremu (izvor svjetlosti).

4.14. Prednosti i nedostaci neelektrično elektroničkog inicijalnog sustava

Prednosti neelektrično elektronički inicijalnog sustav (Dyno Nobel) :

- Velika preciznost koju osiguravaju elektronički detonatora,
- Jednostavnost korištenja,
- Manje dodatne obuke za minere koji su upoznati sa neelektrični sustav iniciranja,
- Manji troškovi izvođenja,
- Nisu potrebni posebni sustavi iniciranja kao kod elektroničkih detonatora.

Nedostaci neelektrično elektroničkog inicijalnog sustav:

- Nemogućnost provjere ispravnosti mreže nakon spajanja i povezivanja, osim vizualnog pregleda,
- Povećani troškovi miniranja (pri površinskim miniranjima u svaku se minsku bušotinu ugrađuje detonator i konektor).

5. USPOREDBA POSTOJEĆIH INICIJALNIH SUSTAVA

Odabir optimalnog detonator doprinosi sigurnijem i ekonomski isplativijem izvođenju projekta. Osnovni kriteriji prema kojima se detonatori mogu usporediti su preciznost vremena kašnjenja, jednostavnost upotrebe i sigurnost prilikom manipulacije.

Sustav iniciranja sporogorećim štapinom i rudarskom kapicom br. 8 iako vrlo jednostavan i jeftin ne osigurava precizno vrijeme kašnjenja zbog odstupanja brzine gorenja sporogorećeg štapina i nepreciznosti koje mogu nastati prilikom odrezivanja štapina. Nepravilnim rukovanjem sporogoreći štapin može izazvati opekline što ga ne čini sigurnim. S druge strane sustav iniciranja detonirajućim štapinom karakterizira jednostavna uporaba i ugradnje usporivača te mogućnost vizualne kontrole mreže. Iako vrlo jednostavan za uporabu sustav ne osigurava veliku preciznost kašnjenja zbog primjene usporivača koji sadrže pirotehničku usporivački element. Zbog eksplozivnog punjenja sustav se nebi smio izlagati temperaturama većim od 50 °C te bi se trebao osigurati od iskre ili pada. Buka, zračni udarnog vala i prašine koji nastaje tijekom detonacije ograničavaju mogućnost uporabe detonirajućeg štapina. Slične karakteristika koje posjeduje sustav iniciranja niskoenergetskim detonirajućim ne čine ga najpogodnijim sustavom za iniciranje.

Nadalje, u odnosu na detonirajući štapin sustavi iniciranja električnim detonatorom ne stvara zračni udar, buku i ne destruiira čep minske bušotine. U odnosu na sustav iniciranja sporogorećim štapinom i sustav iniciranja detonirajućim štapinom, nudi jednostavno lociranje prekida i kontrolu ispravnosti detonatora mjerenjem električnog otpora. Sustav nudi veliku mogućnost odabira vremena kašnjenja detonatora i precizno vrijeme kašnjenja. Sustav nije pogodan za korištenje u uvjetima gdje postoji elektromagnetski izvori zračenja ili pojave lutajućih struja.

Nasuprot tome neelektrični sustavi iniciranja nisu osjetljivi na statički elektricitet i lutajuće struje. Udarne cjevčica neelektrinčnog detonatora posjeduje veliku mehanička čvrstoća i nosivost što ih čini sigurnijim za rukovanje. Jednako kao i električni sustav, neelektrični sustav ima relativno precizno vremena kašnjenja te pri detonaciji ne razara čep i eksploziv u bušotini kao detonirajući štapin. Isto tako sustav osigurava jednostavno rukovanje i preglednost prilikom spajanja minskog polja zbog različitih boja cjevčica detonatora i konektora što umanjuje mogućnost pogreške pri ugradnji.

U odnosu na prethodno opisane inicijalne sustave, elektronički detonatori osiguravaju visoku točnost vremena kašnjenja, te fleksibilnost unutar odabira mogućih vremena kašnjenja. Visoka točnost osigurana je primjenom elektroničkog vremenskog sklopa za razliku od električnih, neelektričnih detonatora te usporivača za detonirajući štapin koji sadrže pirotehnički usporivački element. Sustav također pruža sigurno rukovanje i izostanak neželjenog iniciranja. S druge strane sustav je kompliciran za upotrebu, zahtjeva posebnu opremu za iniciranje i izučene operatere.

Magnadet sustav nije osjetljiv na elektromagnetska zračenja, pojave lutajućih struja, te izvore istosmjernih i izmjeničnih struja što ga čini sigurnim za upotrebu. Navedena karakteristika slična je za sve prethodno opisane sustave osim električnog sustava. Jednostavno i brzo spajanje sustava izvod provlačenjem jednožilnog električnog vodiča kroz toroidne zavojnice. Sustav zadržava karakteristike električnog sustava no omogućuje jednostavnije spajanje i veću sigurnost budući da je opasnost od neželjenog iniciranja znatno manja.

Jednako kao i Magnadet sustav, RCB sustav koristi elektromagnetsko polje za iniciranje te s time zadržava iste prednosti u odnosu na električni sustav. U odnosu na ostale sustave, RCB sustav nudi trenutne detonatore što predstavlja nedostatak zbog potrebe otpucavanja manjih minskih polja.

Hercudet sustav iniciranja verzija je neelektričnog sustava iniciranja. U odnosu na prethodno navedene sustave, Hercudet sustav karakterizira komplicirana primjena. Dodatna oprema koju je potrebna za punjenje i iniciranje čine ga ne praktičnim. Spajanje se odvija u inertnim uvjetima što ga čini sigurnijim u odnosu na električni sustav i detonirajući štapin.

Prednost detonatora s poluvodičkim mostićem u odnosu na duge detonatore je iniciranje u uvjetima ograničenog iznos raspoložive električne energije. Sustav također ima iznimno precizno vrijeme kašnjenja koje iznosi u μs . Jednako kao i detonatora s poluvodičkim mostićem, detonatori s eksplozivnim mostićem imaju vrlo kratko i precizno vrijeme iniciranja. Vrijeme iniciranja eksplozivnog mostića je reda veličina 1 μs sto ga čini jednim od najpreciznijih sustava. U odnosu na ostale električne sustave detonatori s eksplozivnim mostićem zahtjeva visoku električnu struju iniciranja. Uvođenjem laserski detonatori zamijenili bi se električni mostići čime bi se izbjegla opasnost od neželjenog iniciranja u blizini jakih elektromagnetskih polja. Vrijem iniciranja kreće se u desecima μs .

Neelektrično elektronički sustav iniciranja karakterizira velika preciznost koju osigurava elektronički detonator no zadržava jednostavnost neelektričnog sustava. Naime, za iniciranje nije potrebna posebna oprema kao kod elektroničkog sustava a u odnosu na sustave koji koriste pirotehničku smjesu kao usporenje, elektronički sklop osigurava znatno preciznije vrijeme kašnjenja. Sustav također ne zahtjeva dodatnu obuku za minere koji su upoznati sa neelektričnim sustavom. Nadalje, kao i kod neelektričnog sustava udarna cjevčica pruža čvrstoću i otpornost na vanjske uvijete što ga čini sigurnim za rukovanje, a elektronički sustav osigurava izostanka neželjenog iniciranja. Osnovni nedostatak sustava je nemogućnost dodatne provjere ispravnosti mreže osim vizualne.

6. PRIKAZ CIJENE POJEDINIH INICIJALNIH SREDSTAVA

Prikaz cijene pojedinih inicijalnih sredstava koja su bila dostupna je dan u slijedećim potpoglavljima.

6.1. Cijena detonirajućeg štapina

Iz navedenih cijena prikazanih na slici 6-1 i slici 6-2 može se zaključiti da cijena detonirajućeg štapina ovisi o eksplozivnom punjenju po metru dužnom. Cijena koluta od 500 m eksplozivnog punjenja 5,3 g/m firme Dyno Nobel iznosi 1500 \$ dok cijena koluta od 350 m eksplozivnog punjenja 10,6 g/m iznosi 1940 \$. U ovom slučaju firma ORICA nudi nešto povoljnije cijene gdje 350 m eksplozivnog punjenja 10,0 g iznosi 1488,53 \$. Od dodatne opreme potreban je rezač za detonirajući štapin (Detonating cord cutter) čija cijena iznosi 39,66 \$ prikazana je na slici 6-4 i usporivači čija cijena nije ponuđena.

Code	Product Description	Metres/ Case	West \$/case	East \$/case
A320000MA	PRIMACORD 5-A 5.3 g/m (25g/ft)	2 x 500m	\$1,660.00	\$1,500.00
A340000MA	PRIMALINE 10-A 10.6 g/m (50g/ft)	2 x 350m	\$2,100.00	\$1,940.00

Slika 6-1 Prikaz cijena detonirajućeg štapina firme DYNNO NOBEL (Dyno Nobel Price List, 2021)

Type	Core Loading g/m	Reel Length	Reels/Box	List\$/Box
Cordtex™ AP	4.3g	500m	2	\$1,163.75
Cordtex™ XTL, NC	10.0g	300m	2	\$804.22
Cordtex™ Pyrocord	10.0g	350m	2	\$1,488.53

Slika 6-2 Prikaz cijena detonirajućeg štapina firme ORICA (ORICA, 2021)

6.2. Cijena električnog detonatora

Slika 6-3 prikazuje raspon cijene električnih detonatora koje nudi firma ORICA. Cijena trenutnih detonatora iznosi 10,24 \$ (Instantaneous II) ili 20,70 \$ (Carrick II Instantaneous) a onih sa stupnjem kašnjenja 20,70 \$ (Carrick II Delays 1-10) (Slika 6-3). Mjerenjem otpora kontrolira se povezanost minskog polja i ispravnost električnih detonatora. Za mjerenje električnog otpora

potreban je ohmmeter čija cijena je prikazana na slici 6-4 i iznosi za model CT100 Digital Ohmmeter 782,37 \$ ili nešto skuplji model Digital Ohmmeter Circuit Tester 2.282,65 \$. Uzmemo li u obzir uređaj za paljenje čija cijena može iznositi za model Beethoven Mk7* 100 Shot 7,344.86 \$ ili Schaffler 808T Exploder Each 5,996.24 \$. Cijena uporabe električnog inicijalnog sustava poprilično raste.

Length	No./Box	List\$/Box	List\$/Each
Carrick II Delays 1-10	400	\$8,280.00	\$20.70
Carrick II Instantaneous	400	\$8,280.00	\$20.70
Instantaneous II	256	\$2,621.44	\$10.24

Slika 6-3 Prikaz cijena električnih detonatora koje nudi firme ORICA (ORICA, 2021)

Product	Unit of Sale	List\$/Unit
Detonating Cord Cutter	Each	\$39.66
Easy Cord Cutter (10 Bag)	Bag	\$112.62
Ausdet Stinger 10 Shot	Each	\$1,429.14
Ausdet Stinger 100 Shot	Each	\$3,151.36
Key for Ausdet Exploder	Each	\$58.90
Beethoven Mk7* 100 Shot	Each	\$7,344.86
Schaffler 808T Exploder	Each	\$5,996.24
Schaffler Digiohm Ohmmeter	Each	\$2,041.73
Solus 808T Tester	Each	\$1,665.63
CT100 Digital Ohmmeter	Each	\$782.37
Digital Ohm meter Circuit Tester	Each	\$2,282.65
Shot Shell Starter Kit	Each	\$ 482.31
Borehole Retention Spring 75mm (420 Box)	Each	\$2.39
Ballistic Discs	2	\$3,359.50
Laser Sight System	Each	\$1,636.51
Autoprime Shell - Use with Pentex™ G	190	\$2.58
100-160mm - Use with Stopeprime™	40	\$3.66
60-100mm - Use with Stopeprime™	70	\$1.16
Twin Twist 500m-23swg	Reel	\$185.81
100m Gen Duty White	Reel	\$102.07
100m Heavy Duty Yellow	Reel	\$419.01
Pentex™ D Applicator	12	\$42.62
HOSE NOZZLE 1/2" Pentex™ D	PC	\$85.53
HOSE NOZZLE 3/4" PRODUCTION	PC	\$176.21
HOSE NOZZLE 3/4" X 8 PRODUCTION	PC	\$190.23
HOSE NOZZLE 1/2" MINIPUMP	PC	\$85.53
HOSETAIL Pentex™ D	PC	\$58.77
HOSETAIL PRODUCTION	PC	\$52.24
UG Bulk Delivery Hose 200m MK3	Roll	\$5,064.21
Lo Stat 20mm x 30m	Coil	\$616.28
Lo Stat 25mm x 60m	Coil	\$2,376.04

Slika 6-4 Prikaz cijena dodatne opreme koje nudi firme ORICA (ORICA, 2021)

6.3. Cijena neelektričnog detonatora

Detonatori mogu biti namijenjeni za površinsko miniranje, podzemno miniranje ili za rušenje. Serija NONEL MS, milisekunda je serije detonatora koja sadrži 28 kašnjenja u rasponu od 25 do 1000 milisekundi (slika 6-5). Cijena osnovnih neelektričnih detonatora kreće se od 9,68 \$ do 33,67 \$ (slika 6-5). Cijena posebne izvedbe NONEL® MS HD koju karakterizira dodatna čvrstoća, kreće se od 15,88 \$ -125,94 \$ po komadu ovisno o duljini detonatorom (slika 6-6). Nadalje, za povezivanje minskog polja koriste se konektori, sa svojim standardnim usporenjima čija je cijena prikazane na slici 6-7. Cijena konektora iznosi 12,42 \$. Značajno povećanje cijene nastaje na površinskim miniranjima gdje se za svaku bušotinu koristi konektor

i detonator. U podzemnom miniranju upotrebom bunch konektora inicira se veći broj detonatora čime se smanjuje potreba za konektorima i naposljetku rezultira smanjenjem troškova miniranja.

Product Description	Unit / Case	West Pricing \$ / Each*	East Pricing \$ / Each*
NONEL MS 4.8m	200	\$9.98	\$9.68
NONEL MS 6.0m	150	\$11.22	\$10.85
NONEL MS 7.2m	150	\$12.33	\$11.95
NONEL MS 9.0m	100	\$17.45	\$16.43
NONEL MS 12.0m	75	\$19.58	\$18.89
NONEL MS 15.0m	75	\$21.41	\$20.69
NONEL MS 18.0m	50	\$33.77	\$33.67

Slika 6-5 Prikaz cijena neelektričnih detonatora serije NONEL MS firme DYNO NOBEL (Dyno Nobel Price List, 2021)

Product Description	Unit / Case	West Pricing \$ / Each*	East Pricing \$ / Each*
NONEL MS HD 6.0m	150	\$16.31	\$15.88
NONEL MS HD 7.2m	150	\$18.43	\$17.97
NONEL MS HD 9.0m	100	\$20.95	\$20.34
NONEL MS HD 12.0m	75	\$23.78	\$23.02
NONEL MS HD 15.0m	75	\$26.85	\$26.05
NONEL MS HD 18.0m	50	\$36.68	\$35.54
NONEL MS HD 24.0m	30	\$43.16	\$41.50
NONEL MS HD 30.0m	30	\$49.76	\$48.02
NONEL MS HD 36.0m	30	\$54.93	\$53.13
NONEL MS HD 45.0m	30	\$66.34	\$64.38
NONEL MS HD 60.0m	30	\$81.22	\$79.05
NONEL MS HD 80.0m	30	\$128.74	\$125.94

Slika 6-6 Prikaz cijena neelektričnih detonatora NONEL MS HD serije firme DYNO NOBEL (Dyno Nobel Price List, 2021)

Product Description	West \$ / Each	East \$ / Each
NONEL MS CONNECTOR	\$12.75	\$12.42

STANDARD DELAY RANGE
17ms, 25ms, 42ms, 67ms, 109ms, 176ms

Slika 6-7 Prikaz cijena neelektričnih konektora serije NONEL MS CONNECTOR firme DYNO NOBEL (Dyno Nobel PriceList, 2021)

Product Description	Unit / Case	West Pricing \$ / Each*	East Pricing \$ / Each*
NONEL EZTL 4.8m	150	\$12.29	\$11.90
NONEL EZTL 6.0m	150	\$13.26	\$12.86
NONEL EZTL 7.2m	150	\$13.95	\$13.55
NONEL EZTL 9.0m	100	\$15.53	\$14.99
NONEL EZTL 12.0m	75	\$21.62	\$20.90
NONEL EZTL 15.0m	75	\$23.62	\$22.86

(*) = Prices are for Standard Delays only
STANDARD DELAY RANGE
17ms, 25ms, 42ms, 67ms, 109ms, 176ms

Slika 6-8 Prikaz cijena neelektričnih detonatora firme DYNO NOBEL (Dyno NobelPrice List, 2021)

Detonatori serije NONEL EZTL namijenjeni su za površinska miniranja i primjenu u građevinarstvu sa svojim standardnim usporenjima prikazanim u lijevom kutu slike (slika 6-8). Raspon cijene ove serije kreće se od 11,90 \$ - 22,86 \$.

Product Description	Unit / Case	West Pricing \$ / Each*	East Pricing \$ / Each*
NONEL LP 4.8m	200	\$8.39	\$8.11
NONEL LP 5.4m	175	\$8.74	\$8.44
NONEL LP 6.0m	150	\$9.13	\$8.79
NONEL LP 7.2m	150	\$9.51	\$9.16

Slika 6-9 Prikaz cijena neelektričnih detonatora firme DYNO NOBEL (Dyno Nobel Price List, 2021)

NONEL LP Series namijenjena je za podzemna miniranja i primjenu u građevinarstvu (slika 6-9). Ova serija sadrži 19 usporenja u rasponu od 25 ms do 8000 ms. Cijena NONEL LP serije prikazana je na slici 6-9.

Product Description	Length	West \$ / Each	East \$ / Each
NONEL Starter	300m	\$250.74	\$239.42
NONEL Starter	500m	\$448.51	\$434.49

Slika 6-10 Prikaz cijena NONEL Starter firme DYNO NOBEL (Dyno Nobel Price List, 2021)

NONEL Starter, iste je konstrukcije kao NONEL detonatori ali s većom duljinom udarne cjevčice. Firma Dyno Noble nudi NONEL Sarter sa duljinom udarne cjevčice 300 m ili 500 m (slika 6-10).

Length	No./Box	List\$/Box	List\$/Each
3.6m	210	\$1,207.50	\$5.75
6.0m	150	\$ 1,111.50	\$7.41
7.2m	125	\$1,190.00	\$9.52
9m	80	\$843.20	\$10.54
12m	80	\$1,024.00	\$12.80
15m	50	\$ 735.50	\$ 14.71
18m	40	\$705.20	\$17.63
24m	35	\$788.55	\$22.53

Slika 6-11 Prikaz cijena neelektričnih Exel™ Millisecond (MS) Detonatorsdetonatora firme ORICA (ORICA, 2021)

Length	No./Box	List\$/Box	List\$/Each
9m	80	\$1,243.20	\$15.54
12m	80	\$1,463.20	\$18.29
15m	50	\$1,015.00	\$20.30
18m	40	\$919.60	\$22.99
24m Range Delays 31-36	35	\$1,229.20	\$35.12
24m Range up to Delay 30	35	\$1,020.95	\$29.17
30m	36	\$1,242.72	\$34.52
36m	36	\$1,421.28	\$39.48
45m	36	\$1,793.52	\$49.82
60m	16	\$1,117.76	\$69.86
80m	16	\$1,504.80	\$94.05

Slika 6-12 Prikaz cijena ojačanih neelektričnih detonatora serije Exel Enduradet Detonators firme ORICO (ORICA, 2021)

Serije Exel Enduradet Detonators karakterizira veća čvrstoća i dulje vrijeme kašnjenja. Cijene serije exel enduradet detonatora prikazane su na slici 6-12. Povećanjem duljine detonatora raste i cijena.

Product	No./Box	List\$/Box	List\$/Each	Product
60m	16	\$ 692.16	\$43.26	60m
300m	3	\$597.66	\$199.22	300m

Slika 6-13 Exel™ Lead in lines (ORICA, 2021)

Cijena pojedinačnog detonatora koja se koristi za početno iniciranje sa sigurne udaljenosti prikazana je na slici 6-13 i slici 6-14. Iz priloženih slika vidimo da cijena raste kako raste duljina detonatora. Detonatori se primarno koriste za iniciranje površinskih minskih polja.

Length	No./Box	List\$/Box	List\$/Each
700m	2	\$749.48	\$374.74

Slika 6-14 Exel™ Connectaline (ORICA, 2021)

Product	No./Box	Nominal Delay Times	Colour	List\$/Box	List\$/Each
MSC	125	17ms	Yellow	\$1,606.25	\$12.85
MSC	125	25ms	Red	\$1,606.25	\$12.85
MSC	125	33ms	Pink	\$1,606.25	\$12.85
MSC	125	42ms	White	\$1,606.25	\$12.85
MSC	125	65ms	Blue	\$1,606.25	\$12.85

Slika 6-15 Prikaz cijena konektora serije Exel™ MS Connectors MSCs (ORICA, 2021)

Iz podataka o cijeni koje nudi firma ORICA vidljivo je da se cijena neelektričnih detonatora kreće između 5,75 \$ -22,53 \$ po komadu ovisno o dužini detonatora (slika 6-11). Povećanjem čvrstoće detonatora i vremenom usporenja, cijena detonatora raste, to je vidljivo na slici 6-12. Cijene konektora jednake su neovisno o vremenu kašnjenja i vidljive su na slici 6-15. Za iniciranje minskog polja koriste se pojedinačne neelektrični detonatori s duljom udarnom cjevčicom (slika 6-13 i slika 6-14). Na slici 6-14 cijena detonatora ovisi od duljini udarne cjevčice te je najskuplji detonatora sa duljinom od 700m čija cijena iznosi 374,74 \$.

6.4. Cijena elektroničkog detonatorima

Iz podataka o cijeni koje nudi firma Dyno Nobel vidljivo je da se cijena elektroničkih detonatora kreće od 58,69 \$ do 194,93 \$ po komadu. Na slici su prikazana četiri različite vrste elektroničkih detonatora SmartShot, DriftShot and DigiShot i Plus Electronics (slika 6-16).

Code	Product Description	West \$ / Each	East \$ / Each
SSST4010070H	SmartShot Detonator 10m X 7m	\$60.05	\$58.69
SSST4020100H	SmartShot Detonator 20m X 10m	\$78.69	\$76.33
SSST4025002H	SmartShot Detonator 25m X 0.2m	\$73.86	\$71.64
SSST4035002H	SmartShot Detonator 35m X 0.2m	\$83.19	\$80.69
SSST4045002H	SmartShot Detonator 45m X 0.2m	\$89.36	\$86.68
SS302532	SmartShot String Starter	\$98.02	\$97.05
SS303760	SmartShot Repeater	POA	
	DriftShot Starter Detonator 2m		\$34.87
DR4ST007	100/case	\$35.63	
DSP42BPC050H	DigiShot Plus Detonator 15m 60/case	\$49.11	\$47.26
DSP42BPC060H	DigiShot Plus Detonator 18m 52/case	\$52.43	\$50.04
DSP42BPC080H	DigiShot Plus Detonator 24m 40/case	\$56.57	\$54.21
DSP42BPC100H	DigiShot Plus Detonator 30m 32/case	\$60.70	\$58.38
DSP42BPC120H	DigiShot Plus Detonator 36m 24/case	\$68.15	\$65.33
DSP42BPC150H	DigiShot Plus Detonator 46m 18/case	\$73.66	\$70.89
DSP42BPC180H	DigiShot Plus Detonator 55m 16/case	\$88.81	\$86.18
DSP42BPC214H	DigiShot Plus Detonator 65m 16/case	\$98.42	\$95.97
DSP42BPC245H	DigiShot Plus Detonator 75m 16/case	\$108.08	\$105.64
DSPWIRE300M	DSP HARNESS WIRE - 300m - 3/CAS	\$153.52	\$153.52
DSPWIRE500M	DSP HARNESS WIRE - 500m - 2/CAS	\$194.93	\$194.93

Slika 6-16 Prikaz cijena elektroničkog detonatora koje nudi firme Dyno Nobel (Dyno NobelPrice List, 2021)

i-kon™ III RX Detonators

Programmable Electronic Detonators - specifically designed to handle the most severe blasting conditions.

Length	No./Box	\$/Box	List \$/Each
6m	70	\$3,465.00	\$49.50
10m	60	\$3,147.00	\$52.45
15m	60	\$3,274.80	\$54.58
20m	48	\$2,717.76	\$56.62
30m	30	\$1,803.60	\$60.12
40m	25	\$1,606.25	\$64.25
60m	18	\$1,452.24	\$80.68
80m	12	\$1,263.12	\$105.26

i-kon™ III Extreme Detonators*

Programmable Electronic Detonators - specifically designed to handle the most severe blasting conditions.

Length	No./Box	\$/Box	List \$/Each
10m	54	\$3,404.70	\$63.05
15m	36	\$2,351.25	\$65.31
20m	30	\$2,027.10	\$67.57
30m	18	\$1,370.16	\$76.12
40m	12	\$1,026.96	\$85.58
60m	8	\$901.44	\$112.68
80m	8	\$1,183.44	\$147.93

Slika 6-17 Prikaz cijena elektroničkih detonatora koje nudi firme ORICA (ORICA, 2021)

Firma ORICA nudi dvije vrste elektroničkih detonatora s mogućnošću programiranja vremena kašnjenja. RX Detonators cjenovnog raspona od 49,50 \$ - 105,26 \$, i Extreme Detonators 63,05 \$- 147,93 \$ (slika 6-17). Uporaba elektroničkih detonatora zahtjeva uporabu loogera i blastera. Cijena loggera i-kon™ Logger II iznosi 3,165.33 \$, dok se cijena blasterai-kon™ Blaster 400 iznosi 6,036.08 \$ ili nešto skuplji blaster i-kon Blaster 3000 Leaky Feeder VHF Each 10,253.26 \$ (slika 6-18). Slika 6-19 i slika 6-20 također prikazuje moguće dodatke za elektronički sustav.

Product	Unit of Sale	List\$/Unit
i-kon™ Control Equipment		
i-kon™ Logger II	Each	\$3,165.33
i-kon™ Blaster 400	Each	\$6,036.08
i-kon™ Blaster 3000 Surface w/ SATEL Modem	Each	\$8,477.06
i-kon™ Blaster 3000 WLAN/LAN	Each	\$8,477.06
i-kon™ Blaster 3000 Leaky Feeder VHF	Each	\$10,253.26
i-kon™ Blaster 3000 Analogue	Each	\$8,477.06
i-kon™ Accessories		
i-kon™ II Connector	Each	\$1.83
Logger Dock	Each	\$528.96
i-kon™ Blaster 400 Firing Key	Each	\$142.66
i-kon™ Logger Beep Booster	Each	\$158.94
Dongle MSTR RD B3000	Each	\$155.85
Dongle REM BL B3000	Each	\$155.85
i-kon™ Copy Cable	Each	\$156.47
i-kon™ Download Cable	Each	\$158.04
i-kon™ II Logger Cable	Each	\$169.32
Charger Logger/B400	Each	\$173.17
i-kon™ Car Charger Logger/B400	Each	\$142.51
EBS Tool Bag	Each	\$198.94
i-kon™ Blaster 3000 AC POWER SUPPLY	Each	\$225.00
i-kon™ Stethoscope Cable	Each	\$198.94
Harness Wire Sling Bag	Each	\$110.02
i-kon™ Logger Bag	Each	\$84.54
i-kon™ Blaster 400 Bag	Each	\$84.54
EBS Hybrid Practice Puck	Each	\$80.64
Harness Wire and Cable		
Lead-in-Line Cable-18 Ga (250m)	Each	\$188.45
Duplex Harness Wire (2 x 400m roll per box)	Roll	\$121.09

Slika 6-18 Prikaz cijena dodatka za elektroničke detonatora firme ORICA (ORICA, 2021)

Product	Unit of Sale	List\$/Unit
uni tronic™ Control Equipment		
uni tronic™ Blast Box 310R+remote+bluetooth comms + Adaptor Cable	Each	\$7,481.43
uni tronic™ Scanner 200 with Accessories	Each	\$4,248.82
uni tronic™ Accessories		
uni tronic™/eDev™ Scanner Charger		
uni tronic™/eDev™ Blast Box 310 Series Charger	Each	\$389.56
uni tronic™/eDev™ Blast Box Load	Each	\$97.85
Serial Cable for Blast Box	Each	\$157.13
uni tronic™ Synchronisation Cable	Each	\$562.47
uni tronic™ Blast Box 310 Key	Each	\$169.62
uni tronic™ 600 Connector	Each	\$1.83
Antenna Extension	Each	\$96.39
EBS Tool Bag	Each	\$198.94
Harness Wire Sling Bag	Each	\$110.02
Harness Wire and Cable		
Lead-in-Line Cable-18 Ga (250m)	Roll	\$188.45
Duplex Harness Wire (2 x 400m roll per box)	Roll	\$121.09

Slika 6-19 Prikaz cijena dodataka za elektroničke detonatora firme ORICA (ORICA, 2021)

Product	Unit of Sale	List\$/Unit
eDev™ Control Equipment		
eDev™ Blast Box 610 (includes charger, key & serial cable)	Each	\$5,266.82
eDev™ Blast Box 610C (includes charger, key & serial cable)	Each	\$5,266.82
eDev™ Scanner 260 with Accessories	Each	\$ 4,248.82
eDev™ Accessories		
uni tronic™/eDev™ Scanner Charger		
uni tronic™/eDev™ Blast Box 310 series charger	Each	\$389.56
uni tronic™/eDev™ Blast Box Load	Each	\$97.85
Serial Cable for Blast Box	Each	\$157.13
eDev™ Blast Box Firing Key	Each	\$169.32
eDev™ II Connector	Each	\$1.83
EBS Tool Bag	Each	\$198.94
Harness Wire Sling Bag	Each	\$110.02
Harness Wire and Cable		
Duplex Harness Wire (2 x 400m roll per box)	Roll	\$121.09

Slika 6-20 Prikaz cijena dodataka za elektroničke detonatora firme ORICA (ORICA, 2021)

6.5. Usporedba navedenih sustava na temelju cijene

Usporedimo li cijena navedenih sustava, detonirajući štapin pokazao se ekonomski najisplativijim. Cijena štapina za kolut od 500 m eksplozivnog punjenja 5,3 g/m iznosi 1500 \$ ili 500 m firme ORICA eksplozivnog punjenja 4.3 g/m koji iznosi 1,163.75 \$. Cijena opreme potrebne za iniciranje neelektričnog sustava znatno je niža od cijene opreme električnog sustava. Prilikom upotrebe neelektričnog sustava koji se sastoji od detonatora, konektora, početnog detonatora veće dužine i uređaja za iniciranje, možemo zaključiti da je sustav nešto skuplji od detonirajućeg štapina zbog potrebe za konektorima i detonatorima. Cijena električnih detonatora ne odstupa previše od cijene neelektričnih detonatora, budući da se cijene detonatora većinom kreću između 9 \$ - 22 \$. Cijena elektroničkih detonatora gotovo je tri puta veća od cijene električnih detonatora. Uz znatno skuplje detonatora sustav zahtijeva upotrebu loogera i blastera, čije se cijene kreću iznad 5000 \$. Navedene cijene čine sustav skupljim za korištenje u odnosu na ostale sustave.

Uz sve navedeno cijena detonirajućeg štapina niža je u odnosu na ostale sustave. Sustav ne zahtijeva skupe uređaje za iniciranje već se može inicirati sporogorećim štapinom i rudarskom kopicom br. 8.

7. ZAKLJUČAK

Pregledom postojećih inicijalnih sredstava napravljena je analiza prednost i nedostataka te su sustav međusobno uspoređeni s ciljem odabira optimalnog sustava. Pojedini sustavi zadovoljavaju uvjete jednostavnosti korištenja no zbog manje točnosti vremena kašnjenja nisu optimalni, ovo se odnosi na sustave iniciranja detonirajućim štapinom, niskoenergetskim detonirajućim štapinom i sporogorećim štapinom. S druge strane sustav Hercudet gdje se spajanje minskog polja odvija u inertnim uvjetima nije praktičan jer zahtjeva dosta posebne opreme. Uzmemo li u obzir elektronički sustav koji ujedno osigurava precizno vrijeme kašnjenja i sigurnost prilikom manipulaciju, sustav pokazuje nedostatke prilikom uporabe. Dodatna oprema koja je potrebna za rad sustava također zahtjeva izučene operatere što ga čini kompliciranim za uporabu.

Optimalnim sustavom pokazao se neelektrično elektronički sustav iniciranja. Prednost neelektrično elektronički sustav iniciranja je sigurnost tijekom manipulacije i precizno vrijeme kašnjenja koje sustav zadržava upotrebom elektroničkog sklopa. Jednostavnost uporabe, sustav je zadržao uporabom neelektrične cjevčice. Točnost koju sustavu pruža elektronički vremenski sklop znatno je veća u odnosu na sustave koji koriste priotehničku smjesu kao usporivački element, a to su električni sustav, usporivač detonirajućeg štapina, neelektrični sustav. U odnosu na novije sustave kao što je elektronički sustav, laserski ili optički sustav, sustav ne zahtjeva dodatnu opremu. Iniciranje sustava također je jednostavno i može se odraditi na isti način kao i kod udarne cjevčice. Osnovni nedostatak ovog sustav je nemogućnost dodatne kontrole povezanosti mreže minskog polja nakon spajanja. Kontrola se jedino može obaviti vizualnim pregledom.

Uz sve navedeno neelektrično elektronički sustav iniciranja pokazao se optimalnim uzmemo li u obzir preciznost vremena kašnjenja, jednostavnost upotrebe i sigurnost prilikom manipulacije.

8. LITERATURA

Bowden, M. (2014): *The development of a laser detonator system. Cranfield university.*

Dick, R. A., Fletcher, L. R., D'Andrea, D. V. (1983): *Explosives and Blasting Procedures Manual*

Dobrilović, M. (2008): *Raspoloživa energija tlačnog udarnog vala udarne cjevčice i njezina primjena u iniciranju elektroničkog detonatora, Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.*

Ester, Z. (2005): *Miniranje I. Eksplozivne tvari, svojstva i metode ispitivanja.*

Udžbenik: Rudarsko – geološko – naftni fakultet. Sveučilište u Zagrebu

Web izvori:

Gleeson, D. (2020): *Dyno Nobel takes aim at underground mine development challenges with EZshot*

URL: <https://im-mining.com/tag/nonel/> (17.6.2021.)

Dyno Nobel, *EZshot driven by NONEL*

URL: https://www.dynonobel.com/~media/Files/Dyno/ResourceHub/Brochures/North%20America/EZshot%20Slick_English.pdf (17.6.2021.)

Dyno Nobel, (2021): *Asia Pacific Pty Limited ABN 38 003 269 010 Price List Effective*

URL:

<https://www.dynonobel.com/apac/~media/Files/Dyno/ResourceHub/Price%20Lists/Price%20List.pdf> (17.6.2021.)

Dyno Nobel, (2020): *Tehcnical data sheet EZ SHOT® Electronic Initiation System LP Series*

URL:

https://www.dynonobel.com/~media/Files/Dyno/ResourceHub/Technical%20Information/North%20America/Initiation%20Systems/Electronics/EZShot%20LP_Final.pdf (18.6.2021.)

Ehardt, S. (2008): *Fuse*

URL: <https://www.britannica.com/technology/fuse-ignition-device> (4.6.2021.)

Jian Guo Du, Hong Hao Ma, Zhao Wu Shen (2013): *Laser Initiation of Non-Primary Explosive*

URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/prop.201200132> (12.6.2021.)

Kumar, V. , Agrawal, A. P., Muthurajan, H., and Agrawal J. P. , *BNCP A Novel DDT Explosive and its Applications.*

URL : <https://pdfslide.net/documents/ordnance-factory-bandara-final.html> (28.5.2021.)

Leonard, F., Hasenfelder, U. (2017): *Assessment of shock tube systems by synchrotron X-ray computed tomography.*

URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Assessment-of-shock-tube-systems-by-synchrotron-Leonard-Hasenfelder/4690e8d33f9db0a1e30248b1fc8611aade7e4282> (28.5.2021.)

Mine Safety and Health Administration, (2021)

URL: <https://www.safetyandhealthmagazine.com/articles/20789-electronic-vs-electric-> (19.6.2021.)

Orica, (2021): *Australia national price list*

URL :

http://www.oricaminingservices.com/uploads/Aus%20Pricelist/1%20July%202021%20Australia%20national%20price%20list_Orica_Website%20published.pdf (17.6.2021.)

Orica, (2021): *Productos y Servicios, Overview*

URL:

http://www.oricaminingservices.com/ce/es/page/products_and_services/blast_based_services/avm/overview?AspxAutoDetectCookieSupport=1 (25.6.2021.)

Sharma, P. D. (2008): *Explosivs and blasting*

URL: https://issuu.com/sharmapd1/docs/explosives_and_blasting/6 (2.5.2021.)

Rae, P. J., Dickson, P. M. (2019): *A review of the mechanism by which exploding bridge-wire detonators function*

URL: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspa.2019.0120> (28.5.2021.)

Rock Products News, (2021): *Electronic Detonators Are Not the Same as Electric Detonators*

URL: <http://rockproducts.com/2021/01/12/electronic-detonators-are-not-the-same-as-electric-detonators/> (3.6.2021.)

Science Museum Group, *Magnadet toroid and dummy detanator*

URL : <https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co8403934/magnadet-toroid-and-dummy-detanator-explosive> (16.5.2021.)

Tatiya, R. (2005): *Surface and Underground Excavations: Methods, Techniques and Equipment*

URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Surface-and-Underground-Excavations%3A-Methods%2C-and-Tatiya/7be88572bb50668635f1b22aba7a3e00937e7cb6> (16.5.2021.)

Types of explosives accessories

URL: <https://miningandblasting.files.wordpress.com/2009/09/types-of-explosive-accessories.pdf> (5.6.2021.)

Zou, D. (2016): *Theory and Technology of Rock Excavation for Civil Engineering*

URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-1989-0_4 (10.6.2021.)