

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

**UPRAVLJANJE VREMENOM KAŠNJENJA ELEKTRONIČKOG
DETONATORA ELEKTRONIČKIM SKLOPOM**

Diplomski rad

Matej Grbavac
R-100

Zagreb, 2016.

UPRAVLJANJE VREMENOM KAŠNJENJA ELEKTRONIČKOG DETONATORA
ELEKTRONIČKIM SKOLOPOM

MATEJ GRBAVAC

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za rudarstvo i geotehniku
Pierottijeva 6, 10 002 Zagreb

Sažetak

Elektronički detonatori su najnovija vrsta inicijalnih sustava koji mogu pokrenuti detonacijski proces u minskoj bušotini. Razlikuju se od NONEL i električnog sustava iniciranja po tome što kao usporivački element koriste koriste elektronički vremenski sklop, kojim je postignuto odstupanje vremena zakašnjenja detonacije na red veličine ± 1 ms. Elektronički vremenski sklopovi koji se koriste u ovom radu su LM3708, MC14541b te LM14536b.

Ključne riječi: elektronički detonator, LM3708, MC14536B, MC14541B.

Diplomski rad sadrži: 30 stranica, 5 tablice, 14 slika i 19 referenci.

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Voditelj: Dr. sc. Mario Dobrilović, docent RGNF

Pomoć pri izradi: Dr. sc. Siniša Stanković, stručni suradnik RGNF

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

Datum obrane: 26. rujna 2016.

CONTROL OF ELECTRONIC DETONATOR DELAY TIME USING AN
ELECTRONIC CIRCUIT

MATEJ GRBAVAC

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

Abstract

Electronic detonators are newest type of initial systems that can start detonation proces in mine borehole. Their difference between NONEL and electric initiation systems are in that electronic detonators use electronic time delay circuit which main advantage is very precise time delay (± 1 ms) of detonation. Electronic time delay circuit that are examined in this thesis are LM3708, MC14536B, MC14541B.

Keywords: electronic detonator, LM3708, MC14536B, MC14541B.

Thesis contains: 30 pages, 5 tables, 14 figures and 19 references.

Original in: Croatian

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

Supervisor: PhD Mario Dobrilović, Assistant Professor

Technical support: PhD Siniša Stanković, Research Assistant

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

Date of defense: September 26th, 2016

SADRŽAJ

SADRŽAJ.....	I
POPIS TABLICA.....	II
POPIS SLIKA	III
POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I SI JEDINICA	IV
1. UVOD.....	1
2. SUSTAVI INICIRANJA (ELEKTRIČNI SUSTAV INICIRANJA, NONEL)	3
2.1. Električni sustav iniciranja	3
2.2. NONEL sustav iniciranja.....	7
3. ELEKTRONIČKI DETONATOR	11
3.1. Elektronički sustavi iniciranja tvrtke Orica	13
3.2. Elektronički sustavi iniciranja tvrtke Davey Bickford	16
3.3. Elektronički sustav iniciranja tvrtke Austin Powder	19
4. MIKROPROCESOR I MIKROKONTROLERI.....	21
4.1. Mikroprocesor LM3708	21
4.2. Mikroupravljač MC14541B	23
4.3. Mikroupravljač MC14536B	24
5. USPOREDBA MOGUĆNOSTI ELEKTRONIČKIH SKLOPOVA	25
6. ZAKLJUČAK.....	27
7. LITERATURA	28

POPIS TABLICA

Tablica 2-1. Mjerenje vrijednosti vremena kašnjenja električnih detonatora MSED DEM-S (Dobrilović 2008).	6
Tablica 2-2. Mjerena vremena kašnjenja neelektričnih detonatora CRODET LP AD-0-9000 sustava (Dobrilović 2008).	10
Tablica 5-1. Maksimalne vrijednosti potrebne za rad mikroprocesora LM3708 (Texas instruments 2013).	25
Tablica 5-2. Maksimalne vrijednosti potrebne za rad mikroupravljača MC14541B (ON Semiconductor 2000).....	25
Tablica 5-3. Maksimalne vrijednosti potrebne za rad mikroupravljača MC14536B (ON Semiconductor 2014).....	26

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Električni detonator s vremenskim usporivačem (Zorić i Kuhinek 2013).	3
Slika 2-2. Električna zapaljiva glavica s mostićem (Ester 2005).	4
Slika 2-3. Presjek niskoenergetske udarne cjevčice (Duniam 2016).	7
Slika 2-4. Neelektrični konektor ili spojnica (Dyno Nobel 2011).	8
Slika 2-5. Prikaz „ <i>bunch connectora</i> “ (Gyslason 2000).	9
Slika 3-1. Prikaz dijelova elektroničkog detonatora (Reinders 2010).	11
Slika 3-2. Prikaz komponenti <i>i-kon</i> elektroničkog sustava iniciranja (Reinders 2010).	14
Slika 3-3. Postava blastera i programatora u minskom polju (Reinders 2010).	14
Slika 3-4. Komponente <i>Uni tronic</i> inicirajućeg sustava (Reinders 2010).	15
Slika 3-5. Komponente Daveytronic SP inicirajućeg sustava (Davey Bickford 2013 a)... ..	17
Slika 3-6. Komponente Daveytronic OP sustava iniciranja (Davey Bickford 2013 c)... ..	18
Slika 3-7. Komponente Daveytronic UG sustava iniciranja (Davey Bickford 2013 f).	19
Slika 3-8. Komponente <i>E*Star</i> elektroničkog sustava iniciranja (Austin Powder, 2012).. ..	19
Slika 3-9. <i>E*Star</i> elektronički detonator (Austin Powder, 2012).	20

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I SI JEDINICA

V_{cc}	izvor napona bipolarnog strujnog kruga	(V)
V_{RST}	standardni prag resetiranja	(V)
t_{RP}	period zaustavljanja reseta	(ms)
V_{MRT}	prag manualnog reseta	(V)
V_{DD}	napajanje istosmjerne struje	(V)
f_{OSC}	frekvencija oscilatora	(Hz)
n	broj faza frekvencija	(-)
V_{in}	iznos ulaznog napona	(V)
V_{out}	iznos izlaznog napona	(V)
I_n	ulazna jakost struje	(I)
I_{out}	izlazna jakost struje	(I)
PD	rasipanje snage po paketu	(mW)
TA	iznos ambijentalne temperature	(°C)
T_{stg}	iznos skladišne temperature	(°C)
TL	temperatura topljenja	(°C)

1. UVOD

U današnje vrijeme uporaba eksploziva za dobivanje mineralnih sirovina raznolikih namjena uvelike se širi svijetom. Za eksploziv se kaže da je on jedini izvor energije u bušotini, a pod pojmom eksploziv spada materija koja pod utjecajem egzotermne kemijske reakcije prelazi u produkte raspadanja čiji je volumen znatno veći od početnog (Ester 2006). Kako je kroz povijest rastao razvoj eksploziva taj razvoj je pratio razvoj inicirajućih sustava za detonaciju eksploziva. Inicijalni sustavi su bilo koje naprave koje mogu pokrenuti detonacijski proces eksploziva u minskoj bušotini. Inicijalni sustavi su se u Europi počeli koristiti i razvijati u 17. stoljeću. Tada se koristio crni barut u rasutom stanju. U tom vremenu došlo je do niza nesreća zbog nemogućnosti i nepouzdanosti kontrole vremena sagorijevanja rasutog baruta te je zbog toga tražen sigurniji način iniciranja. 1831. godine William Bickford je izumio prvi sporogoreći štapin koji se sastojao od crnog baruta u centru štapina, okružen tekstilom, te je bio prilično vodonepropustan. Najveći pomak u razvoju inicijalnih sredstava je pokrenuo Alfred Nobel 1863. godine kada je patentirao detonator s tekućim nitroglicerinom, a 1865. detonator sa živinim fulminatom. To su ujedno i bili prvi komercijalni detonatori. 1870. godine Julis Smith je patentirao prvi električni detonator sa prenosnicom, a 25 godina kasnije električni detonator sa usporenjem koji je koristio sporogoreći štapin kao usporivačko sredstvo. 1907. godine je patentiran detonirajući štapin koji je koristio TNT. 1930. godine živin fulminat je maknut iz inicirajućeg punjenja u detonatorima te je zamijenjen sa stabilnijim eksplozivima. Sedam godina kasnije se pojavio detonirajući štapin koji je punjen sa PENT. 1946. godine došlo je do uporabe detonatora sa milisekundnim usporenjem umjesto sekundnim. 1966. godine tvrtka Nitro Nobel je počela sa razvijanjem NONEL inicirajućeg sustava, da bi ga dvije godine kasnije uspješno i izumili. NONEL sustav iniciranja se najčešće koristi u svijetu danas. Prva pojava elektroničkih detonatora datira iz 1986. godine kada ih je britanska tvrtka ICI predstavila (Manzor i Choudhary 2014). Uz NONEL, najveću primjenu u svijetu ima električni sustav iniciranja. Zajednička mana ovih sustava iniciranja je dosta veliko odstupanje od nominalnog vremena zakašnjenja detonacije, a to pogotovo dolazi do izražaja kod viših rednih brojeva milisekundnog usporenja. Glavni uzrok tom odstupanju je pirotehnička smjesa koja ima svrhu usporenja detonacijskog procesa. Točno vrijeme kašnjenja detonacijskog procesa u pojedinoj minskoj bušotini je od najveće važnosti što se tiče kvalitetnog izvođenja procesa miniranja. Iz tog razloga se i započelo sa

razvojem elektroničkog detonatora. Elektronički detonator umjesto pirotehničke smjese, koja ima ulogu usporenja u električnom i neelektričnom sustavu iniciranja, posjeduje elektronički vremenski sklop. Ovakvom izvedbom detonatora sa elektroničkim vremenskim sklopom postignuto je odstupanje vremena zakašnjenja detonacije na red veličine ± 1 ms. Uz takvu mogućnost regulacije najmanjeg vremena kašnjenja do ± 1 ms, elektroničkom sustavu iniciranja pridodana je i sigurnost prilikom upotrebe na minskom polju sustavom elektroničkog kodiranja pojedinih detonatora, njihovom pozicijom unutar vremenskog rasporeda otpucavanja te višestrukom kontrolom ispravnosti i pravilnog spajanja detonatora (Dobrilović 2008).

2. SUSTAVI INICIRANJA (ELEKTRIČNI SUSTAV INICIRANJA, NONEL)

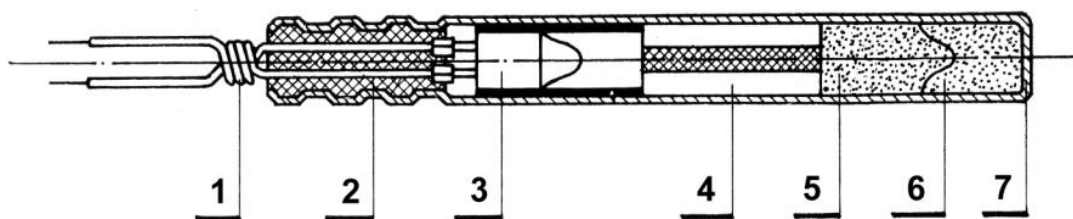
Električni sustav iniciranja i NONEL su prethodnici sustavu iniciranja elektroničkim detonatorima. Električni i neelektrični detonator su u svojoj osnovi i konstrukciji jednaki rudarskoj kapici br.8 koja se sastoji od aluminijske ili bakrene čahure u kojoj se nalazi glavno i inicijalno punjenje.

2.1. Električni sustav iniciranja

Osnovne komponente električnog sustava iniciranja su:

- električni detonator,
- glavni i pomoćni električni vodovi,
- instrumenti kojima se provjeravaju ispravnost detonatora, električnih vodiča i strojeva za paljenje i
- strojevi za paljenje električnih detonatora (dinamo- električni ili baterijski).

Električni detonatori se mogu podijeliti na trenutne električne detonatore i električne detonatore s vremenskim kašnjenjem (Slika 2-1). Razlikuju se po tome što trenutni električni detonator ne posjeduje pirotehničku smjesu za usporenje detonacijskog procesa.



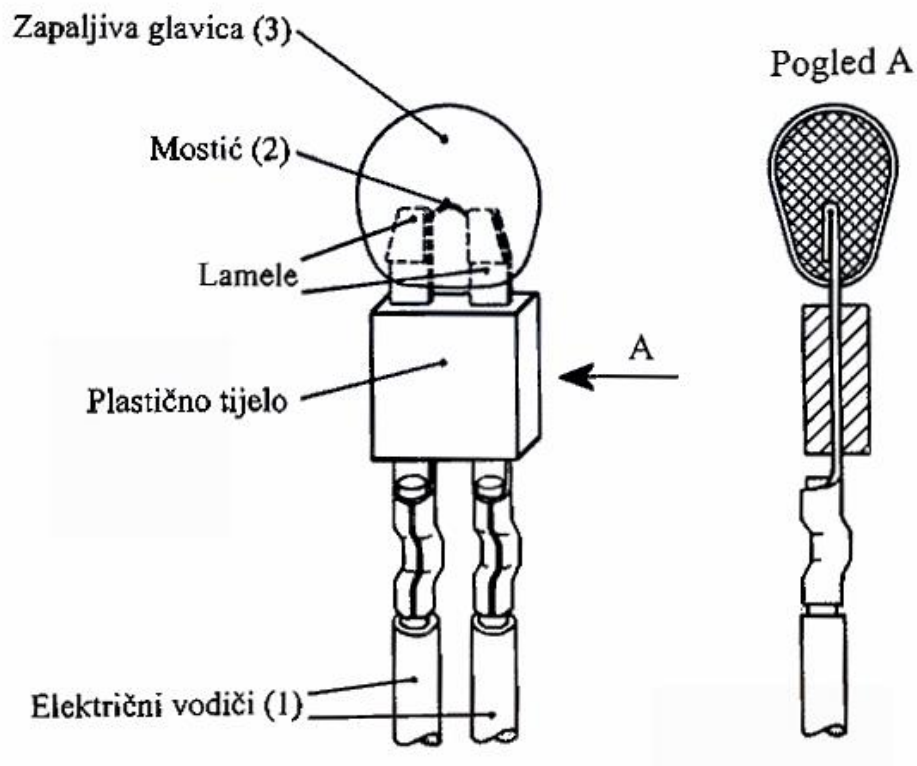
Slika 2-1. Električni detonator s vremenskim usporivačem (Zorić i Kuhinek 2013).

Kazalo:

1. Vodiči,

2. Element za brtvljenje,
3. Električna zapaljiva glavica,
4. Usporivački element,
5. Inicijalno (primarno) punjenje,
6. Sekundarno (brizantno) punjenje i
7. Aluminijsko ili bakreno kućište.

Električna zapaljiva glavica se izrađuje u dvije izvedbe, a to su zapaljive glavice s mostićem (Slika 2-2) i rascjepkom.



Slika 2-2. Električna zapaljiva glavica s mostićem (Ester 2005).

Detonatori koji u sebi sadrže ovakav tip zapaljive glavice (s mostićem) koriste Jouleov toplinski učinak prolaska električne struje za pripalu pirotehničke smjese zapaljive glavice. Detonatori s rascjepkom koriste energiju iskre tj. električno pražnjenje između dvije elektrode kojim nastaje električni luk te se na taj način inicira pirotehnička smjesa zapaljive glavice. Detonatori s rascjepkom se koriste ako se miniranje izvodi blizu trafostanica, rasklopnih postrojenja i sličnog.

Kao što je navedeno električni detonatori se dijele na trenutne i one sa vremenskim usporenjem. Trenutni električni detonatori detoniraju u vremenu do 10 ms, te se taj interval smatra trenutnim. Pošto u trenutnom električnom detonatoru ne postoji usporivački element, takav interval do 10 ms je posljedica vremena, koje je potrebno za iniciranje inicijalnog punjenja, potrebnog da se zagrije električni vodič i zapali pirotehnička smjesa zapaljive glavice. Detonatori sa vremenskim usporenjem se dijele na milisekundne te četvrtsekundne i polusekundne. Zadnja dva navedena se koriste u podzemnim miniranjima iz razloga što su potrebna veća usporenja između brojeva u seriji kako bi se omogućio slobodan pomak miniranog materijala. Milisekundni električni detonatori su standardnog usporenja od 25 i 34 ms i takvi se koriste u površinskim miniranjima. Vrijeme usporenja pojedinog detonatora definirano je umnoškom njegovog broja u seriji i vremenskim oznakom serije. Usporenje je izvedeno pirotehničkom smjesom koja ima definirano vrijeme gorenja. Ta pirotehnička smjesa je uzrok nepreciznosti vremena kašnjenja kod električnih detonatora. U laboratoriju za ispitivanje eksplozivnih tvari Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta je provedeno mjerenje vrijednosti vremena kašnjenja milisekundnih električnih detonatora DEM-S (vrijeme usporenja 25 ms) da bi se prikazala srednja vrijednost odstupanja od nominalnog deklariranog vremena usporenja (Tablica 2-1)

Tablica 2-1. Mjerenje vrijednosti vremena kašnjenja električnih detonatora MSED DEM-S (Dobrilović 2008).

Vrsta detonatora	Vrijeme usporenja prema tehničkoj specifikaciji (ms)		Srednja vrijednost mjerenja (ms)	Odstupanje od nominalnog vremena (%)	Srednja vrijednost (%)
MSED DEM-S	1	25	25,20	0,80	1,32
	2	50	50,90	1,80	
	3	75	76,14	1,51	
	4	100	101,93	1,93	
	5	125	124,76	0,19	
	6	150	151,62	1,08	
	7	175	171,83	1,81	
	8	200	199,90	0,05	
	9	225	226,54	0,69	
	10	250	249,80	0,08	
	11	275	271,18	1,39	
	12	300	305,48	1,83	
	13	325	327,18	0,67	
	14	350	344,51	1,57	
	15	375	370,27	1,26	
	16	400	390,66	2,33	
	17	425	416,37	2,03	
	18	450	441,53	1,88	
	19	475	464,10	2,29	
	20	500	492,51	1,50	
MSED DEM-S	21	550	555,01	0,91	1,32
	22	600	605,01	0,84	
	23	650	658,56	1,32	
	24	700	688,89	1,59	
	25	750	737,92	1,61	
	26	800	796,44	0,44	
	27	850	846,60	0,40	
	28	900	886,92	1,45	
	29	950	928,02	2,31	
	30	1000	980,78	1,92	

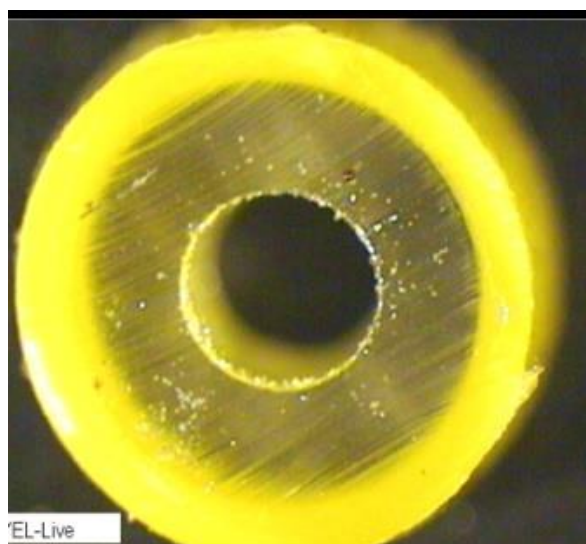
Provedena mjerenja su dala rezultat da je srednja vrijednost odstupanja od nominalnog vremena kašnjenja jednaka 1,32 %.

2.2. NONEL sustav iniciranja

Osnovne komponente NONEL sustava iniciranja su:

- udarna niskoenergetska cjevčica
- neelektrični detonator
- spojnica ili konektor

Ono što razlikuje neelektrični sustav iniciranja od električnog je udarna niskoenergetska cjevčica. Kod električnog sustava iniciranja električna energija se pretvara u toplinsku te nastaje detonacija, a kod neelektričnog sustava iniciranja inicijalni impuls u formi zračnog udarnog vala prolazi kroz unutrašnjost cjevčice te udarnim djelovanjem i lokalnim povišenjem temperature postignutim gorećim česticama aluminijske inicira detonator u bušotini. Udarne cjevčice su sačinjene od tri sloja plastike (Slika 2-3).



Slika 2-3. Presjek niskoenergetske udarne cjevčice (Duniam 2016).

Prvi unutrašnji sloj je napravljen od PVC Surlyna. Na taj sloj se nanosi tanki premaz prahe, mase 20mg/m, sastavljenog od oktogena i aluminijske. Drugi sloj ima odliku velike mehaničke čvrstoće što je bitno da se cjevčica ne bi oštetila prilikom spuštanja detonatora na dno minske bušotine. Zadnji, treći sloj daje zaštitu cjevčici od sunčevog ultraljubičastog zračenja te je štiti od trenja okoline prilikom korištenja cjevčice. Važno je napomenuti da cjevčica ostaje čitava prilikom prolaska zračnog udarnog vala kroz nju. Brzina zračnog udarnog vala u cjevčici je od 1980 do 2100 m/s.

Prijenos detonacije po cijelom minskom polju izveden je konektorima ili spojnicama (Slika 2-4). Konektori ili spojnice se sastoje od kućišta koji je napravljen od PVC-a, a u njemu se nalazi rudarska kapica br. 6 ili 8. Rudarska kapica br. 6 je u konektorima koji se koriste prilikom površinskih miniranja, dok se za podzemna koriste konektori sa rudarskom kapicom br.8.



Slika 2-4. Neelektrični konektor ili spojnica (Dyno Nobel 2011).

Standardna usporenja detonacije za neelektrične konektore prilikom izvođenja površinskih miniranja su: 0 ms, 7ms, 17 ms, 25 ms, 42 ms, 67 ms, 109 ms, 176 ms. Spojnice se koriste u kombinaciji s detonatorima koji imaju u sebi ugrađene usporivačke elemente s vremenom kašnjenja detonacije od 300 ms do 500 ms (Ester 2005). Takva kombinacija se koristi prvenstveno iz sigurnosnih razloga. Brzina zračnog udarnog vala u cjevčici je oko 2000 m/s što je relativno malo te da se ne koristi ovakva kombinacija usporenja konektora- detonatora u bušotini moglo bi se desiti da prve bušotine u minskom polju detoniraju, a da zadnje serije detonatora minskog polja nisu primile inicijalni impuls.

Kod izvođenja podzemnih miniranja, minsko polje se inicira „*bunch connectorom*“ (Slika 2-5) čiji su elementi niskoenergetski detonirajući štapin (4-6 g/m) te neelektrični konektor u koji je ugrađena rudarska kapica br.8. Takav konektor inicira niskoenergetski detonirajući štapin, dok štapin može pokrenuti detonacijski proces u do najviše 20 cjevčica.



Slika 2-5. Prikaz „*bunch connectora*“ (Gyslason 2000).

Usporenje detonacijskog procesa, kao i kod električnog sustava iniciranja izvedeno je pirotehničkim usporivačkim smjesama koje nisu dovoljno precizne. U laboratoriju za ispitivanje eksplozivnih tvari Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta izvedeno je mjerenje vrijednosti vremena kašnjenja detonatora neelektričnog sustava iniciranja LP 0-9000 (Tablica 2-2).

Tablica 2-2. Mjerena vremena kašnjenja neelektričnih detonatora CRODET LP AD-0-9000 sustava (Dobrilović 2008).

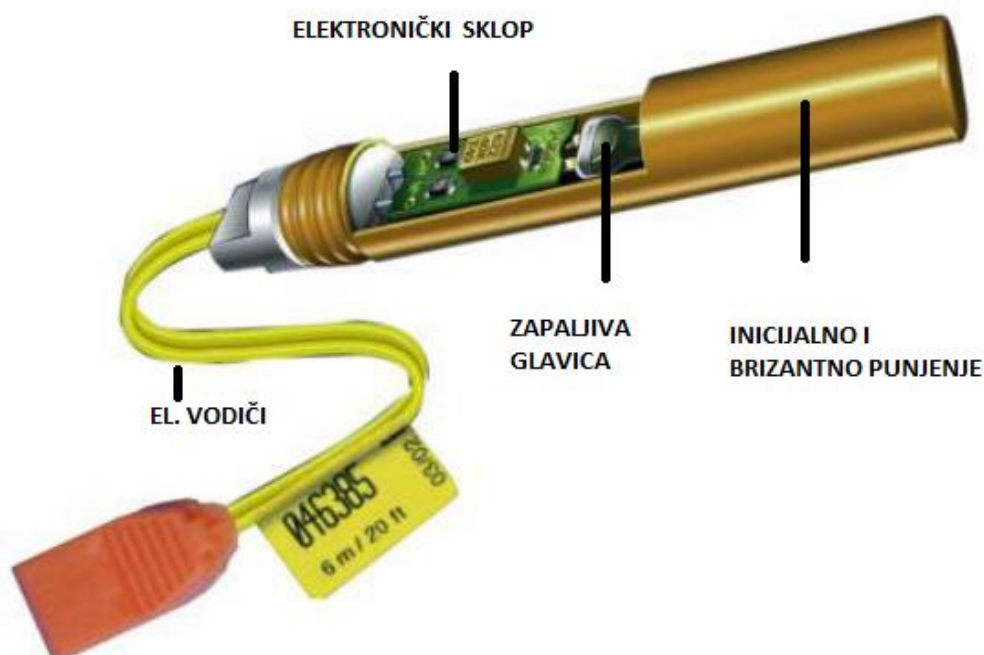
Vrsta detonatora	Vrijeme usporenja prema tehničkoj specifikaciji (ms)		Srednja vrijednost mjerenja (ms)	Odstupanje od nominalnog vremena (%)	Srednja vrijednost (%)
LP 0-9000	0	0	0,50	0,50	1,63
	1	100	103,24	3,24	
	2	200	202,70	1,35	
	3	300	294,18	1,94	
	4	400	394,44	1,39	
	5	500	486,51	2,70	
	6	600	588,98	1,84	
	7	700	694,23	0,82	
	8	800	778,63	2,67	
	9	900	874,81	2,80	
	10	1000	987,03	1,30	
	12	1200	1171,88	2,34	
	14	1400	1409,18	0,66	
	16	1600	1592,83	0,45	
	18	1800	1796,29	0,21	
	20	2000	1999,36	0,03	
	25	2500	2543,27	1,73	
	30	3000	2932,57	2,25	
	35	3500	3421,92	2,23	
	40	4000	4172,84	4,32	
45	4500	4514,11	0,31		
50	5000	5067,62	1,35		
55	5500	5501,27	0,02		
60	6000	5892,58	1,79		
65	6500	6453,25	0,72		
70	7000	7031,04	0,44		
75	7500	7657,01	2,09		
80	8000	7836,80	2,04		
85	8500	8611,44	1,31		
90	9000	9352,65	3,92		

Rezultat nam kazuje da je srednja vrijednost odstupanja od nominalnog (po tehničkoj specifikaciji) vremena jednaka 1,63 %, što je veće izmjereno odstupanje od mjenog odstupanja kod električnog detonatora DEM-S.

3. ELEKTRONIČKI DETONATOR

Sustav iniciranja elektroničkim detonatorima je najnoviji sustav iniciranja. Razvijen je prvenstveno iz potrebe što preciznije kontrole vremena usporenja detonacijskog procesa te da se smanji vrijeme odstupanja stvarnog vremena kašnjenja od deklariranog (po tehničkim specifikacijama) vremena kašnjenja. Elektronički detonatori su u svojoj osnovi vrlo slični električnim detonatorima. Razlika između električnih detonatora i elektroničkih je u tome što je zamijenjen usporivački element, tj. umjesto pirotehničke smjese u električnom detonatoru se nalazi elektronički sklop u elektroničkom detonatoru. Možemo reći da je elektronički detonator trenutni električni detonator kojemu je dodan elektronički vremenski sklop koji vrlo precizno određuje vrijeme kašnjenja. Sustav iniciranja elektroničkim detonatorima se sastoji od:

- elektroničkog detonatora (Slika 3-1),
- *loogera* – kontrolnog uređaja i
- *blastera* – uređaj za iniciranje.



Slika 3-1. Prikaz dijelova elektroničkog detonatora (Reinders 2010).

S razvojem elektroničkog detonatora se započelo 1986. godine. Prvi detonatori na tržištu su bili sa programiranim vremenom usporenja. Takvi se puno ne razlikuju od

električnih detonatora, osim po većoj preciznosti usporenja i upotrebi namjenskog uređaja za paljenje. Kasnije se započelo sa izvedbom poluprogramabilnih elektroničkih detonatora koji su bili definirani tvornički ugrađenim vremenskim pojasevima. Vremenskim pojaskom pojedine podgrupe detonatora definirano je najmanje i najveće moguće vrijeme kašnjenja detonatora. Unutar pojasa vrijeme kašnjenja bilo je s točnošću ± 1 ms (Dobrilović 2008). Elektronički detonatori koji su danas u uporabi u potpunosti se mogu programirati u ukupnom vremenu kašnjenja od 0 ms – 14000 ms, ovisno o proizvođaču. Minimalni interval paljenja stupnjeva paljenja je između 1 ms – 5 ms. Nakon postavljanja minskog polja i ugradnje detonatora u minske bušotine, počinje se sa programiranjem električnih detonatora. Faze programiranja detonatora su:

- programatori (*logger*) i detonatori se spajaju pomoću spojnika i linijskog kabela,
- programatorom identificiramo kod pojedinog detonatora te provjeravamo njegovu ispravnost,
- zatim, programatorom određujemo vrijeme usporenja svakom pojedinom detonatoru i to spremamo u memoriju,
- slijedi provjera ispravnosti cjelokupnog spoja detonatora,
- uređajem za paljenje (*blaster*) aktiviramo programirane intervale usporenja, kondenzatori unutar detonatora u bušotini se pune i obavlja se finalna provjera i
- uređajem za paljenje (*blaster*) iniciramo minsko polje.

Najveća prednost elektroničkog sustava iniciranja je jako velika preciznost vremena usporenja detonatora u odnosu na detonatore s usporivačkim elementima od pirotehničkih smjesa. Što se tiče vremena usporenja detonatora elektroničkom detonatoru možemo zadati bilo koje vrijeme usporenja dok kod ostalih sustava iniciranja to nije slučaj jer su vremena usporenja određena tvornički što elektroničke detonatore čini fleksibilnima u odnosu na ostale. Povećana sigurnost korištenja i mogućnost simulacije miniranja također odlikuje elektronički sustav iniciranja. Elektronički sustav iniciranja ima mnoge druge prednosti naspram ostalih sustava iniciranja. Istraživačkom studijom Davey Bickford kompanije utvrđene su mnoge prednosti upotrebe njihovog proizvoda Daevytronic digitalnog elektroničkog detonatora tijekom 1999. godine na Weaverland kamenolomu vapnenca. Prednosti koje su oni utvrdili studijom upotrebe njihovog elektroničkog detonatora su:

- optimizirana potrošnja eksploziva,
- precizna kontrola detonacijskog procesa,
- poboljšana fragmentacija odminiranog materijala,
- povećana produktivnost pridobivanja mineralne sirovine,
- smanjenje ukupnog troška pridobivanja mineralne sirovine i
- poboljšana kontrola nastalih vibracija tla prilikom miniranja (Bartley, Wingfield, McClure, Trousselle 2000).

Nedostaci elektroničkog sustava iniciranja su dosta visoka cijena upotrebe takvih sustava u odnosu na ostale, zatim potrebno je imati posebno educirane osoblje jer je upotreba elektroničkog sustava iniciranja kompliciranija od ostalih. Možemo još naglasiti da su elektronički sustavi pojedinih kompanija na tržištu nekompatibilni u odnosu na ostale, što znači da strojevi za paljenje određene kompanije mogu inicirati samo detonatore iste te kompanije.

Najpoznatiji proizvođači elektroničkih detonatora su: Orica, Davey Bickford, Dyno Nobel, Austin Powder itd.

3.1. Elektronički sustavi iniciranja tvrtke Orica

Elektronički sustavi iniciranja tvrtke Orica su *i-kon digital energy control*, *Unitronic electronic blasting system* i *eDev electronic tunnelling system*. *I-kon* sustav iniciranja je dizajniran za izvođenje kompleksnih miniranja na velikim površinama i prilikom podzemnih miniranja.

Komponente *i-kon* sustava (Slika 3-2) su:

- elektronički detonator,
- programator,
- blaster i
- svežanj električnih vodova.



Slika 3-2. Prikaz komponenti *i-kon* elektroničkog sustava iniciranja (Reinders 2010).

Ukupan broj detonatora koji se može inicirati *i-kon sustavom* iniciranja je 4800 pomoću dva sinkronizirana blastera 2400S. Pojedini blaster je spojen na najviše 12 programatora. Prilikom toga svaki programator može posluživati najviše 200 detonatora (Slika 3-3).



Slika 3-3. Postava blastera i programatora u minskom polju (Reinders 2010).

Konačno iniciranje blasterom moguće je izvesti i daljinskim bežičnim upravljanjem na takav način da imamo jedan blaster uz sebe na udaljenoj poziciji, a drugi u blizini minskog polja koji je povezan sa detonatorima.

Komponente *Uni tronic* sustava iniciranja su (Slika 3-4):

- elektronički detonator 500,
- čitač (*scanner*),
- tester mreže,
- uređaj za paljenje i
- svežanj električnih vodiča.



Slika 3-4. Komponente *Uni tronic* inicirajućeg sustava (Reinders 2010).

Elektronički detonator 500 je u potpunosti programabilan i to u vremenu usporenja od 0 ms do 10000 ms, s inkrementima od 1 ms. Iznimno je precizan sa odstupanjem od $\pm 0,1$ %. Ovakav detonator je moguće inicirati samo pomoću *Uni tronic* uređaja za paljenje. Svaki detonator posjeduje svoj unikatni identifikacijski broj koji je pričvršćen na kraju vodiča detonatora. Skenerom se očitava taj identifikacijski broj te se njime postavlja

vrijeme usporenja. Iniciranje se vrši pomoću stroja za paljenje naziva *Blast Box 310*. *Blast Box 310* može inicirati do 500 detonatora. Iniciranje je moguće i daljinskim bežičnim upravljanjem koji vrši uređaj za paljenje *Blast Box 310R*. Radi na udaljenosti od 2500 m (Reinders 2010).

eDev sustav iniciranja je dizajniran za miniranje tunela. Komponente su mu vrlo slične *Uni tronic* sustavu iniciranja te posjeduje *eDev* detonator, *eDev* tester mreže, *eDev* čitač (*skener*), svežanj električnih vodiča i *eDev* uređaj za paljenje *Blast Box 610*. Najveća mu je odlika to što bitno smanjuje vibracije tla u odnose na druge uređaje za iniciranje.

3.2. Elektronički sustavi iniciranja tvrtke Davey Bickford

Elektronički sustavi iniciranja kompanije Davey Bickford su Daveytronic SP, Daveytronic OP, Daveyseis te Daveytronic UG. Daveytronic SP je četvrta generacija elektroničkog sustava iniciranja te je najkompletniji sustav iniciranja što je kompanija Davey Bickford do sada dizajnirala. Najviše se koristi za površinska miniranja velikih površina. Daveytronic SP sustav iniciranja se sastoji od sljedećih komponenti (Slika 3-5):

1. prvi blaster za daljinsko upravljanje (DRB2),
2. drugi blastera (BD),
3. programatori,
4. RFID iskaznica,
5. 2,1 dB antena,
6. punjač sa više utora,
7. 12 V punjač i
8. vodootporna transportna kutija.



Slika 3-5. Komponente Daveytronic SP inicirajućeg sustava (Davey Bickford 2013 a).

Oba blastera mogu detonirati do 1500 detonatora, a u sinkroniziranom radu do 4500 komada. Blasterima se može upravljati na daljinu, domet je i do 5000 m. Jedan programator može raditi na najviše 1000 detonatora. Elektronički detonatori ovakvog sustava iniciranja se mogu programirati na vrijeme usporenja od 0 ms do 14000 ms sa točnošću odstupanja od $\pm 0.02\%$. Detonatori su punjeni olovnim azidom kao inicijalnim punjenjem te pentritom kao brizantnim. Većina elektroničkih detonatora su tim materijalima punjena (Davey Bickford 2013 b).

Daveytronic OP sustav iniciranja se najviše koristi za rušenje objekata te za manje površinske kopove. Komponente Daveytronic OP sustava za iniciranje su (Slika 3-6):

1. blaster na daljinsko upravljanje (DRB2),
2. programator (PU),
3. RFID iskaznica,
4. punjač sa više utora,
5. 12 V punjač i
6. voodootporna transportna kutija.



Slika 3-6. Komponente Daveytronic OP sustava iniciranja (Davey Bickford 2013 c).

Blaster može odjednom detonirati do 300 detonatora, a programator programirati i vršiti provjeru također na najviše 300 detonatora. Elektronički detonator za Daveytronic OP sustav iniciranja se može programirati na vrijeme usporenja od 0 ms do 14000 ms s točnošću od $\pm 0,02\%$ (Davey Bickford 2013 d).

Daveyseis sustav iniciranja je sustav elektroničkog iniciranja koji je specijalno napravljen za seizmička istraživanja. Izrađen je tako da ga se može koristiti sa sigurnošću u vrlo ekstremnim uvjetima, bilo to u polarnim krajevima ili suptropskim područjima (Davey Bickford 2013 e).

Daveytronic UG je sustav iniciranja dizajniran posebno za izradu podzemnih prostorija. Komponente sustava su (Slika 3-7):

- jednog blaster na daljinsko upravljanje,
- drugog blastera kojemu šaljem signal za iniciranje s prvog,
- programatorske jedinice i
- elektroničkih detonatora.



Slika 3-7. Komponente Daveytronic UG sustava iniciranja (Davey Bickford 2013 f).

3.3. Elektronički sustav iniciranja tvrtke Austin Powder

Elektronički sustav iniciranja tvrtke Austin Powder je naziva *E*Star*. Komponente *E*Star* elektroničkog sustava iniciranja su (Slika 3-8):

- tester ispravnosti elektroničkih detonatora,
- programator (*logger*) i
- dva blastera *E*Star* elektroničkih detonatora (Slika 3-9).



Slika 3-8. Komponente *E*Star* elektroničkog sustava iniciranja (Austin Powder, 2012).



Slika 3-9. E*Star elektronički detonator (Austin Powder, 2012).

Elektronički detonator E*Star se može programirati logerom na vrijeme kašnjenja od 1 ms do 10000 ms s inkrementom od 1 ms, uz odstupanje od nominalnog vremena od 0.01%. Detonatori su punjeni olovnim azidom kao primarnim punjenjem, a PENT-om ili RDX-om kao brizantnim. Jednim logerom se može programirati i do 1600 detonatora, a isto toliko detonatora blaster može inicirati. Testerom elektroničkih detonatora se provjerava ispravnost istih (Austin Powder 2012).

4. MIKROPROCESOR I MIKROKONTROLERI

Mikroprocesor je integrirani sklop koji u računalima i sličnim elektroničkim uređajima provodi aritmetičke i logičke operacije. U osnovi mikroprocesor je poluvodički mikroelektronički sklop (čip, integrirani sklop) koji se sastoji od više milijuna tranzistora i drugih elektroničkih elemenata, izrađenih na jednoj silicijskoj pločici površine tek nekoliko kvadratnih centimetara. Međusobnim povezivanjem i organiziranjem tih elemenata u složenu strukturu oblikuju se svi dijelovi procesora: registri, aritmetičko-logička jedinica, upravljačka jedinica, priručni spremnik i dr. U novije doba sve se više rabe višejezgreni procesori, tj. integrirani sklopovi koji sadrže više, uglavnom nezavisnih, procesora – jezgri (obično dvije, četiri, šest, ali i više desetaka). Osim prema broju jezgri, suvremeni se mikroprocesori razlikuju prema taktu na kojem rade, duljini registara, veličini pomoćnog spremnika i dr.

Mikroupravljač (mikrokontroler) je elektronički sklop (mikroračunalo) koji ima funkciju upravljanja određenim procesima. Ima rasprostranjenu primjenu u različitim uređajima i sustavima, a arhitektura mikroupravljača izravno zavisi o njegovoj primjeni. Građen je od procesora, memorije, ulaza, izlaza te posebnih izvedbi *U/I* sklopova, pojačala, pretvarača i sl. Prema tome mikroupravljač je integrirani sklop koji sadrži sve navedene elemente te predstavlja osnovu pri dizajniranju cjelovitog sustava za nadzor i upravljanje odnosno može se reći da je mikroupravljač programibilni vremenski sklop.

U ovome diplomskom radu su obrađeni mikroprocesor tvrtke National Semiconductor pod nazivom LM3708, te dva programibilna vremenska sklopa (mikrokontrolera) tvrtke ON Semiconductor naziva MC14536B i MC14541B.

4.1. Mikroprocesor LM3708

Ova serija mikroprocesorskih nadzornih sklopova pruža maksimalnu fleksibilnost za kontroliranje napajanja u sustavima pognojenima baterijama bez pričuvnih baterija. Značajke koje posjeduje mikroprocesor LM3708 (Texas instruments 2013):

1. Ponovno pokretanje (*Reset*) – koji je garantiran sve dok je napon (V_{cc}) > 1,0 V,

2. Ručno ponovno pokretanje (*Manual reset*) – ručna ulazna jedinica ponovnog pokretanja,
3. *Low line output* – indikator ranog pada napona i
4. *Watchdog timer* – brojač za nadzor ispravnog rada.

Ulazna jedinica ponovnog pokretanja mikroprocesor inicijalizira u poznato stanje. Standardni prag ponovnog pokretanja je $V_{RST} = 3,08$ V. U trenutku kada V_{CC} (izvor napona bipolarnog strujnog kruga) prekorači taj prag pokreće se unutrašnji sat koji održava ponovno pokretanje aktivnim tijekom 200 ms koliko iznosi period zaustavljanja ponovnog pokretanja (t_{RP}). Poslije tog perioda od 200 ms jedinica ponovnog pokretanja nije aktivna. Isto tako kada napon V_{CC} padne ispod praga ponovnog pokretanja od 3,08 V, ponovno pokretanje se aktivira i ostaje aktivno skroz dok napon V_{CC} ponovno ne prekorači prag ponovnog pokretanja, zatim se ponovno pokreće unutrašnji sat koji održava ponovno pokretanje aktivnim tijekom 200 ms potom ponovno pokretanje prelazi u neaktivno stanje. Ponovno pokretanje mikroprocesora LM3708 je tvornički programirano i dostupno je s periodima zaustavljanja (t_{RP}) od 1,4 ms, 28 ms, 200 ms te 1600 ms.

Ulaznom jedinicom ručnog ponovnog pokretanja prisilno se mikroprocesor vraća u poznato stanje. Prag ručnog ponovnog pokretanja (V_{MRT}) je jednak iznosu napona od 1,225 V što je jednako iznosu referentnog napona. Pritiskom sklopke ručnog ponovnog pokretanja pokreće se otpor od 56 k Ω te iznos V_{CC} padne ispod 1,225 V i na taj način se prisilno aktivira ponovno pokretanje.

Low line output komparator se koristi za dobivanje upozoravajućeg signala nemaskirajućeg prekida mikroprocesoru kada napon V_{CC} počne padati. Ovaj komparator nadzire napon izvora bipolarnog strujnog kruga i aktivira se kada napon V_{CC} padne ispod praga napona za 2 % većeg od standardnog praga resetiranja. Signal koji daje ovaj komparator mikroprocesor ne može ignorirati te se pokreće ponovno pokretanje.

Watchdog timer ili brojač za nadzor ispravnog rada je jedinica koja radi na način da ako program upisan u memoriju mikroprocesora ispravno radi on će povremeno u prikladnim vremenskim razmacima vratiti kontrolno brojilo na početnu vrijednost. Mikroprocesor u nekom određenom vremenu resetira *watchdog timer* koji iznova počinje brojati od početka i neće generirati ponovno pokretanje cijelog sklopa. Ukoliko mikroprocesor ne pokrene ponovno *watchdog timer* to znači da se mikroprocesor vrti u beskonačnoj petlji, odnosno 'zaglavio' je negdje u radu. U tom slučaju *watchdog timer*

nastavlja brojati ali će doći do nedozvoljene vrijednosti (0) te sam pokreće signal za ponovno pokretanje cijelog mikroprocesorskog sklopa. *Watchdog timer* broji od neke vrijednosti do nule. Može se reći da *watchdog timer* predstavlja sigurnost sustava kojeg mikrokontroler nadzire.

4.2. Mikroupravljač MC14541B

Mikroupravljač MC14541B se sastoji od 16-faznog binarnog brojača, integriranog oscilatora za korištenje s vanjskim kondenzatorima i s dva otpornika, sklopom za automatsko ponovno pokretanje i izlaz upravljačke logike.

Rad započinje uključivanjem napajanja, nakon čega omogućava automatsko ponovno pokretanje te se pokreće brojač, u navedenom V_{DD} (napajanje istosmjerne struje) rasponu. S uključenim napajanjem, moguće je primijeniti vanjsko ponovno pokretanje. Nakon objavljivanja početne naredbe ponovnog pokretanja, oscilator će oscilirati s frekvencijom određenom vanjskom RC mrežom. 16-fazni brojač dijeli frekvenciju oscilatora (f_{OSC}) na n faza frekvencija prema:

$$\frac{f_{osc}}{2^n} \quad (4-1)$$

Značajke koje posjeduje mikroprocesor MC14541B (ON Semiconductor 2000):

1. Mogući izlazi: 2^8 , 2^{10} , 2^{13} , 2^{16} ,
2. Inkrement na pozitivnoj strani prijelaza unutarnjeg sata,
3. Ugrađen nisko energetska RC oscilator (± 2 % točnosti u temperaturnom području, ± 20 % napajanja i ± 3 % zbog obrade na frekvencijama nižim od 10 kHz)
4. Oscilator se može premostiti vanjskom jedinicom, ako je dostupna (smješta se na pin 3),
5. Vanjsko glavno ponovno pokretanje je potpuno neovisno o automatskom ponovnom pokretanju,
6. Radi s 2^n djelitelem frekvencija ili samo s 1 prijelazom vremena,
7. Q/Q odabir omogućuje fleksibilnost u razinama izlazne logike

8. ponovno pokretanje (automatsko ili ručno) onemogućuje ponovno pokretanje oscilator zbog sprječavanja rasipavanja energije,
9. mogućnost podešavanja sata s jako dugim periodima rasta i pada vremenskog signala,
10. automatsko ponovno pokretanje inicijalizira sve brojače s pokretanjem,
11. Raspon napona za rad od 3,0 V do 18,0 V (istosmjerna struja) s isključenim automatskim ponovnim pokretanjem,
12. Raspon napona za rad od 8,5 V do 18,0 V (istosmjerna struja) s uključenim automatskim ponovnim pokretanjem.

4.3. Mikroupravljač MC14536B

MC14536B je programibilni vremenski sklopa s 24-stupanjska binarno-pulsirajuća brojača s 16 faza odabira binarnim kodom. Za rad može koristiti već ugrađeni RC oscilator ili se može priključiti vanjski sat. Ima ugrađen monostabilni sklop za izlaz različitih tipova pulsova. Odabirom odgovarajuće faze brojača s odgovarajućim ulaznim taktom frekvencije, mogu se postići različita vremena.

Značajke koje posjeduje mikroprocesor MC14536B (ON Semiconductor 2014):

1. 24 bistabilne faze – mogućnost brojanja od 20 do 224,
2. posljednjih 16 faza se mogu birati s četiri-bitnom kodom,
3. Ulaz s osmerostrukom premosnicom ulaz premošćivanje prvih osam faza,
4. ulazi za podešavanje i za ponovno pokretanje,
5. blokada ulaza za sat i oscilator,
6. mogućnost korištenja ugrađenog RC oscilatora,
7. mogućnost korištenja ugrađenog monostabilnog izlaza,
8. mogućnost podešavanja sata s jako dugim periodima rasta i pada vremenskog signala,
9. omogućen brzi redoslijed ispitivanja,
10. Raspon napona za rad od 3,0 V do 18,0 V (istosmjerna struja).

5. USPOREDBA MOGUĆNOSTI ELEKTRONIČKIH SKLOPOVA

Na osnovu tehničkih specifikacija za pojedine elektroničke sklopove napravljena je usporedba maksimalnih vrijednosti ulaznih napona potrebnih za napajanje elektroničkih sklopova.

U tablici 5-1. su prikazane maksimalne vrijednosti potrebne za rad mikroprocesora LM3708, a u tablicama 5-2. i 5-3. maksimalne vrijednosti potrebne za rad mikroupravljača MC14541B odnosno MC14536B.

Tablica 5-1. Maksimalne vrijednosti potrebne za rad mikroprocesora LM3708 (Texas instruments 2013).

Opis		Vrijednost
Izvor napona bipolarnog strujnog kruga		-0,3 V do 6,0 V
Svi ostali inputi		-0,3 V do $V_{cc} + 0,3$ V
ESD procjena	Model ljudskog tijela	1,5 kV
	Strojni model	150 V

Tablica 5-2. Maksimalne vrijednosti potrebne za rad mikroupravljača MC14541B (ON Semiconductor 2000).

Oznaka	Opis	Vrijednost	Jedinica
V_{dd}	iznos napona istosmjerne struje	-0,5 do 18,0	V
V_{in}, V_{out}	iznos ulaznog ili izlaznog napona	-0,5 do $V_{dd} + 0,5$	V
I_{in}, I_{out}	ulazna ili izlazna jakost struje po Pin-u	± 10	mA
PD	rasipanje snage po paketu	500	mW
TA	iznos ambijentalne temperature	-55 do +125	$^{\circ}C$
T_{stg}	iznos skladišne temperature	-65 do +150	$^{\circ}C$
TL	temperatura topljenja	260	$^{\circ}C$

Tablica 5-3. Maksimalne vrijednosti potrebne za rad mikroupravljača MC14536B (ON Semiconductor 2014).

Oznaka	Opis	Vrijednost	Jedinica
V_{dd}	iznos napona istosmjerne struje	-0,5 do 18,0	V
V_{in}, V_{out}	iznos ulaznog ili izlaznog napona	-0,5 do $V_{dd} + 0,5$	V
I_n, I_{out}	ulazna ili izlazna jakost struje po Pin-u	± 10	mA
PD	rasipanje snage po paketu	500	mW
TA	iznos ambijentalne temperature	-55 do +125	$^{\circ}C$
T_{stg}	iznos skladišne temperature	-65 do +150	$^{\circ}C$
TL	temperatura topljenja	260	$^{\circ}C$

Prema podacima iz tablica od 5-1. do 5-3. vidljivo je da maksimalni ulazni napon potreban za rad mikroprocesora LM3708 iznosi 6,3 V, a za mikroupravljače MC14541B i MC145436B iznosi 18,5 V.

S obzirom da je udarna cjevčica izvor energije za iniciranje punjenja detonatora i energije potrebne za rad elektroničkog upravljačkog sklopa, a veći dio te energije se utroši za iniciranje zapaljive glavice, manji dio ostane za rad elektroničkog upravljačkog sklopa, odnosno potreban je što niži napon za upravljanje elektroničkim sklopom. S te strane sva 3 elektronička sklopa zadovoljavaju.

6. ZAKLJUČAK

Udarne cjevčica je izvor energije potrebne za iniciranje punjenja detonatora i energije potrebne za rad elektroničkog upravljačkog sklopa. Glavnina raspoložive udarne energije udarne cjevčice pretvorene u električnu energiju piezopretvornikom utroši se na iniciranje zapaljive glavice, a manji dio ostaje za rad elektroničkog upravljačkog sklopa.

S obzirom na iznose ulaznog i izlaznog napona kod mikroupravljača odnosno iznos izvora napona bipolarnog strujnog kruga koji su relativno mali (do maksimalno 18,5 V) može se reći da sva 3 elektronička sklopa odgovaraju zahtjevima za izradu elektroničkog detonatora pokretanog udarnom cjevčicom.

7. LITERATURA

Austin Powder, 2012. E*Star: Electronic detonator with electronic timing

URL: <http://www.austinpowder.at/EN/products/detonator/Englisch/estar.pdf> (16.03.2016)

Bartley, D.A., Wingfield, B., McClure, R., Trousselle, R., 2000. Electronic detonator technology: Field application and safety approach. Rotterdam: Balkema, str. 149

URL:

<https://books.google.hr/books?id=YcUBwgOhoskC&pg=PA157&lpg=PA157&dq=phases+electronic+detonators&source=bl&ots=WmGibJxqcp&sig=pSEugT3QIxLKA-5LdKHNXgfMz7w&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwjF797ow8XLAhUELA8KHd1EDV8Q6AEIOzAF#v=onepage&q&f=true> (16.03.2016.)

Davey Bickford, 2013. Daveytronic SP: Digital blasting system – technical datasheet

URL:http://www.daveybickford.com/sites/default/files/brochures-all-uk-daveytronic_sp_dbs.pdf (15.03.2016.) a

Davey Bickford, 2013. Daveytronic SP: Electronic detonator – technical datasheet

URL:http://www.daveybickford.com/sites/default/files/brochures-all-uk-daveytronic_sp_det.pdf (15.03.2016.) b

Davey Bickford, 2013. Daveytronic OP: Digital blasting system – technical datasheet

URL:http://www.daveybickford.com/sites/default/files/brochures-all-uk-daveytronic_op_dbs.pdf (16.03.2016.) c

Davey Bickford, 2013. Daveytronic OP: Electronic detonator – technical datasheet

URL:http://www.daveybickford.com/sites/default/files/brochures-all-uk-daveytronic_op_det.pdf (16.03.2016.) d

Davey Bickford, 2013. Daveyseis : Seismic electronic initiation system

URL: <http://www.daveybickford.com/sites/default/files/brochures-na-uk-daveyseis.pdf> (16.03.2016.) e

Davey Bickford, 2013. Daveytronic UG: Digital blasting systems

URL:http://www.daveybickford.com/sites/default/files/brochures-na-uk-daveytronic_ug.pdf (16.03.2016.) f

Dobrilović, M., 2008. Raspoloživa energija tlačnog udarnog vala udarne cjevčice i njezina primjena u iniciranju elektroničkog detonatora: doktorska disertacija. Zagreb: Rudarsko-geološko- naftni fakultet

Duniam, P., 2016. Blasting Training International

URL:

http://online.blasttraining.com.au/pluginfile.php/94/mod_glossary/entry/70/shock%20tube%20section.jpg (14.03.2016.)

Dyno Nobel, kolovoz/2011. The nonelectric initiation system designed with safety in your mind

URL:

<http://www.dynonobel.com/~media/Files/Dyno/ResourceHub/Brochures/North%20America/NONEL%20Slick.pdf> (15.03.2016.)

Ester, Z., 2005. Miniranje I. - Eksplozivne tvari, svojstva i metode ispitivanja. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko- geološko- naftni fakultet

Gyslason, O., 2000. Explosives

URL:<http://www.oger.is/static/gallery/Sprengiefni/.large/sprengiefni-2-44ca2c828b2a0.jpg> (15.03.2016)

Manzor, S.H., Choudhary, D.B., travanj/2014. Detonator: Evolution, classification and comparison

URL:

http://www.academia.edu/7262939/DETONATOR_EVOLUTION_CLASSIFICATION_AND_COMPARISON (10.3.2016.)

ON Semiconductor, 2000. MC14541B Programmable timer

URL: http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/MC14541B-D.PDF (20.8.2016.)

ON Semiconductor, studeni/2014. MC14536B Programmable timer

URL: http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/MC14536B-D.PDF (23.8.2016.)

Reinders, P., listopad/2010. Electronic blasting systems. Velenje: Slovenian national blasting conference

URL:

http://www.dmvp.si/dokumenti/POSVET/REINDERS_Electronic%20Blasting%20Systems,%20Velenje.pdf (15.03.2016.)

Texas instruments, travanj/2013. LM3708/LM3709 Microprocessor Supervisory Circuits with Low Line Output, Manual reset and Watchdog timer

URL: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm3708.pdf> (15.8.2016.)

Zorić, I., Kuhinek, D., 2013. Upute i podloge za laboratorijske vježbe iz rudarske elektrotehnike. Zagreb: Rudarsko- geološko- naftni fakultet, str. 15