Efekti i konstrukcija pirotehničkih sredstava IV razreda

Jurić, Fran

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:572128

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb







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

EFEKTI I KONSTRUKCIJA PIROTEHNIČKIH SREDSTAVA IV RAZREDA

Završni rad

Fran Jurić
R-3545

Zagreb, 2016.

Sveučilište u Zagrebu Završni rad
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

EFEKTI I KONSTRUKCIJA PIROTEHNIČKIH SREDSTAVA IV RAZREDA

FRAN JURIĆ

Završni rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarstvo-geološko-naftni fakultet
Zavod za rudarstvo i geotehniku
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

Pirotehnička sredstva imaju široku namjenu upotrebe, koristi se u zabavne, gospodarske i druge svrhe. Osnovna zadaća pirotehničkih sredstava je stvaranje efekata kao što su boja, dim i zvuk. Pirotehnička sredstva IV razreda spadaju u profesionalnu pirotehniku. Efekti pirotehničkih sredstava zasnivaju se na njihovoj konstrukciji i upotrjebljenim pirotehničkim punjenjem. U radu je prikazana konstrukcija i način te komponente za dobivanje efekata pirotehničkih sredstava IV razreda .

Ključne riječi: Vatromet, pirotehnika, efekti, konstrukcija
Završni rad sadrži: 32 stranica, 8 slika, 3 tablice i 19 referenci
Jezik izvornika: hrvatski.
Završni rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Voditelj: Dr. sc. Mario Dobrilović, izvanredni profesor RGNF

Ocjenjivači: Dr. sc. Mario Dobrilović, izvanredni profesor RGNF
Dr. sc. Želimir Veinović, docent RGNF
Dr. sc. Vječislav Bohanek, docent RGNF

Datum obrane: 16. lipanj 2016., Rudarsko – geološko – naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

SADRŽAJ

POPIS SLIKA.....II
POPIS TABLICA.....III
1. UVOD.....1
2. POVIJEST VATROMETA.....4
3. PIROTEHNIČKKA SREDSTAVA IV RAZREDA.....8
3.1 Podjela pirotehničkih sredstva IV razreda.....9
4. EFEKTI I KONSTRUKCIJA PIROTEHNIČKIH SREDSTAVA IV RAZREDA.....20
4.1. Konstrukcija.....20
4.2. Pirotehničke smjese za postizanje efekata.....23
4.2.1. Boja.....23
4.2.2. Bliješteće smjese.....26
4.2.3. Iskre.....26
4.2.4. Dimni efekti.....27
4.2.5. Zvučni efekti.....28
5. ZAKLJUČAK.....30
6. LITERATURA.....31

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Prikaz kineskog vatrenog koplja (Wikipedia, 2015).....……..……...……...5

Slika 4-1. Konstrukcija sferične i cilindrične bombe (roundeyespyro,2015)……...…..22

Slika 4-2. Pucajuće punjenje (skylighter,2015) …….……...……..22

Slika 4-3. Zvijezde (Wikipedia,2014).....…….....……23

Slika 4-4. Spektar boja (scifun, 2015).....24

Slika 4-5. Svjetlosni efekti vatrometa (sciencenotes, 2015).....25

Slika 4-6. Prikaz iskri (chemistry.about, 2015).....27

Slika 4-7. Prikaz dimnog efekta (alibaba, 2015).....28

POPIS TABLICA

Tablica 3-1. Podjela vrsta pirotehničkih sredstava IV razreda.....10

Tablica 3-2. Podjela podvrsta pirotehničkih sredstava IV razreda.....13

Tablica 4-3. Popis kemijskih spojeva za postizanje efekata.....29

1. UVOD

Pirotehnika je tehnika stvaranja i iskorištavanja posebnih učinaka pirotehničkih smjesa koji nastaju pri egzotermnoj reakciji između sastojaka pirotehničke smjese. S obzirom na namjenu, odnosno učinak koji stvaraju pirotehničke smjese, možemo ih podijeliti na:

- sredstva za stvaranje svjetlosnih učinaka (osvjetljavajuća sredstva, signalna sredstva, sredstva s obojenom svjetlošću, itd.),
- sredstva za stvaranje dimnih efekata (maskirni i obojeni dim),
- sredstva za stvaranje plina i topline (termitne smjese),
- sredstva za stvaranje zvučnih učinaka (petarde, topovski udari, simulatori, itd.).

Temeljem Zakona o eksplozivnim tvarima (NN 178/04), propisuju se uvjeti za proizvodnju, promet, skladištenje, ispitivanje i ocjenu sukladnosti, uporabu, reciklažu, neutralizaciju i uništavanje eksplozivnih tvari. Nadalje, propisuju se uvjeti koje moraju ispunjavati osobe koje rukuju s eksplozivnim tvarima kao i nadzor nad primjenom ovoga Zakona. Eksplozivne tvari temeljem ovog Zakonu su:

- gospodarski eksplozivi,
- sredstva za iniciranje eksplozivnih tvari,
- pirotehnička sredstva,
- streljivo,
- baruti,
- proizvodi punjeni eksplozivnim tvarima,
- sirovine eksplozivnih svojstava koje služe za proizvodnju eksplozivnih tvari.

Gospodarski eksplozivi su eksplozivne tvari koje se koriste za lomljenje, rastresanje i usitnjavanje mineralnih sirovina i drugih materijala, rušenje građevinskih i drugih objekata, te oblikovanje predmeta i materijala energijom oslobođenom pri detonaciji eksplozivnih punjenja.

Sredstva za iniciranje eksplozivnih tvari su eksplozivna sredstva koja su namijenjena za aktiviranje ili iniciranje eksplozivnih tvari.

Pirotehnička sredstva su sredstva koja se koriste za zabavu, te u gospodarske i druge svrhe, a sadrže sastojke čije sagorijevanje ili eksplozija služi za postizanje učinka vatre, svjetlosti, topline, zvuka ili dima, a uključuju i protugradne rakete.

Streljiva su čahure ili patrone napunjene barutom, a mogu biti opremljene kapsulom i kompletirane sa zrnom, kuglom ili sačmom za sve tipove lovačkih, športskih i industrijskih pušaka, te revolvera i pištolja.

Baruti su eksplozivi koji sagorijevaju termičkom vodljivošću i primarno su namijenjeni potisku projektila. Dijele se na crne i malodimne barute koji služe za gospodarske i športske potrebe.

Proizvodi punjeni eksplozivnim tvarima su proizvodi koji su punjeni eksplozivnim i/ili pirotehničkim smjesama, a njihov je učinak ovisan o tim tvarima.

Pirotehnička sredstva za zabavu, ovisno o količini i vrsti pirotehničke smjese odnosno eksplozivnog punjenja, te jačini zvuka i drugih sigurnosnih zahtjeva, dijele se u IV razreda:

- pirotehnička sredstva razreda I
- pirotehnička sredstva razred II
- pirotehnička sredstva razred III
- pirotehnička sredstva razred IV

Razred I- pirotehnička sredstva za vatromete koja predstavljaju vrlo nizak rizik i zanemarivu razinu buke i koja su namijenjena za uporabu u ograničenim prostorima, uključujući i pirotehnička sredstva za vatromete namijenjena za uporabu unutar stambenih zgrada. Pirotehnička sredstva razreda I smiju se prodavati tijekom cijele godine osobama starijim od 14 godina.

Razred II- pirotehnička sredstva za vatromete koja predstavljaju nizak rizik i nisku razinu buke i koja su namijenjena za vanjsku uporabu u ograničenim prostorima. Pirotehnička sredstva razreda II smiju se prodavati osobama starijim od 18 godina u vremenu od 15. prosinca do 1. siječnja. Ova sredstva smiju upotrebljavati i osobe mlađe od 18 godina ali uz prisutnost roditelja ili staratelja.

Razred III – pirotehnička sredstva za vatromete koja predstavljaju srednji rizik, koja su namijenjena za vanjsku uporabu na velikim otvorenim prostorima i čija razina buke nije štetna za ljudsko zdravlje.

Razred IV – pirotehnička sredstva za vatromete koja predstavljaju visok rizik, koja smiju koristiti samo osobe sa stručnim znanjem (uobičajeno poznata kao sredstva za profesionalnu uporabu) i čija razina buke nije štetna za ljudsko zdravlje. Ova sredstva se ne nalaze u slobodnoj prodaji, te podliježu posebnim dozvolama za promet i uporabu.

2. POVIJEST VATROMETA

Prvi vatromet nastao je otprilike prije 2000 godina u Kini. Legenda kaže kako je kuhar sasvim slučajno smiješao ugljen, sumpor te salitru (sastavne komponente baruta, tada normalni sastojci svake kuhinje). Izgarajući ta smjesa davala je očaravajući plamen, no mješavina stisnuta u spremnik (bambusov štap) zapaljena bi eksplodirala. Iako precizan, datum nastanka baruta nemoguće je utvrditi. Većina povjesničara vjeruje da je prvi pirotehnički sastav, preteča baruta, otkriven negdje tijekom Sui i Tang dinastije (~600.-900.g.) u Kini. To su vjerojatno slučajno otkrili alkemičari koji su eksperimentirali sa sumpornim smjesama u pokušaju stvaranja eliksira života. Tijekom tog razdoblja kemijskih otkrića i eksperimentiranja, alkemičari su čuvali evidenciju određenih otrovnih i opasnih pripravaka koji se nikada ne smiju miješati, uključujući jednu određenu smjesu koja sadrži sumpor, salitru (kalijev nitrat), med i arsen. Tekstovi navode da se takva smjesa zapalila slučajno, dok se kuhala na vatri, a rezultat toga je veliki, svijetli, vatreni plamen. Unatoč upozorenjima, neki alkemičari su zaintrigirani smjesom i nastavljaju eksperimentirati s njom, te pokušavaju pronaći načine kako bi pojačali učinak. Njihove prve smjese nisu bile toliko snažne kao moderan barut jer nisu sadržavale toliko kalijevog nitrata (salitre), ali unatoč tome ipak izgara vrlo svijetlim plamenom. Smjesa je dobila ime HUO Yao, ili "kemijska vatra". Uskoro se otkrilo da, ako se "kemijska vatra" stavi unutar bambusove stabljike, te baci u vatru kako bi se zapalila, plinovi proizvedeni od izgaranja stvorili bi prasak, te je na taj način stvorena petarda. Tijekom vremena, kemičari su otkrili da je ključ za snažno spaljivanje baruta bila činjenica da je salitra bogata kisikom koji se oslobađa gorenjem. Uskoro su shvatili kako dodavanjem više salitre smjesa brže izgara, čime je eksplozivnija i glasnija kada se koristi u petardi. Ugljen, nusproizvod nepotpunog izgaranja na bazi celulozne biljne tvari, kao što su drvo, zamijenio je med i druge materijale u ranim formulama. Kroz mnogo eksperimentiranja, otkriveno je da uređaji na bazi baruta mogu funkcionirati na različite načine, ovisno o njihovoj konstrukciji. Kao što je već spomenuto, kada je barut zapaljen u skučenom prostoru, kao što je bambusova stabljika, to će generirati vruće plinove pod velikim pritiskom, te će na kraju spremnik puknuti i ostaci spremnika letjeti će u svim smjerovima. Ako se barut stavi u spremnik s otvorenim krajem, gorući prah stvoriti će briljantnu erupciju plamena, iskri i gustog dima koji izlazi iz kraja spremnika. Kinezi su bili svjesni ubojite snage tih eksplozivnih naprava, a od 10. stoljeća, počeli su ih koristiti u vojne svrhe. Također koriste svoj barut za izradu raznih eksploziva, uključujući i sirove bombe i "vatrene strelice" - bambusove petarde

pričvršćene na obične strelice koje se ispaljuju na neprijatelja. Početna namjera iz ranih kineskih bombi bila je jednostavno u svrsi psihološkog rata (zastrašujuće, bučne, munjevite eksplozije nikada prije nije stvorio čovjek), te su tako vrlo lako mogli prestrašiti i zbuniti neprijatelja, prisiljavajući ih na bijeg. Na kraju, međutim, cilj je prešao iz zastrašivanja neprijatelja u nanošenje štete. Vatrene strelice mogle su se ispaljivati na neprijatelja iz velike udaljenosti, a bombe su se mogle bacati sa zidina tvrđava na neprijateljske postrojbe. Drugo oružje, poznato kao vatreno koplje, koja se sastoji od otvorene cijevi ispunjenom barutom pričvršćeno na koplje, može se koristiti kao bacač plamena. Komadići stijene, metala, keramike, pa čak i strijele također mogu biti pomiješane s prahom unutar koplja, koje bi se ispaljivalo zajedno sa smjesom, te nanosile dodatnu štetu. Na slici 2-1. prikazano je vatreno koplje.



Slika 2-1. Prikaz kineskog vatrenog koplja (Wikipedia, 2015)

Oko 11. stoljeća, udio salitre u barutu je podignut je na oko 75% od ukupne smjese, zajedno s oko 15%, ugljena i 10% sumpora (ista formula i danas se koristi, gotovo 1000 godina kasnije). Kako je barut stvarao više energije, petarde su se počele mijenjati. Umjesto korištenja bambusovih stabljika, petarde su se počele puniti u krute papirnate

cijevi s barutom, te su se postavljali fitilji izrađeni od tanke linije baruta omotane sa tankim papirom. Varijacija petarda, pod nazivom "zemljani štakor", vjerojatno je otkrivena oko 1200. godine. Petarda se sastojala od laganog papira koji je bio otvoren na jednom kraju, poput vatrenog koplja. Kao i kod vatrenog koplja, izgaranjem se stvarao plin unutar spremnika, te je potiskivao zemljanog štakora koji bi se slobodno kretao po zemlji.

Štakori su se brzo prilagoditi za korištenje od strane kineske vojske zbog psihološkog učinka na neprijatelja, zastrašivanje vojnika i konja koji bi se razbježali. Često nepredvidljivo kretanje štakora te kratkotrajna uzlijetanja dalo je ideju vojnim inženjerima za stavljanje peraja kako bi se izravnala putanja letenja. To je dovelo do stvaranja prvih raketa. Civilni izrađivači vatrometa preuzeli su vojni raketni dizajn i mijenjali ga uključivši eksploziv, koji su potom ispalili u zrak, te napravili prvu upotrebu zračnih vatromet. Kroz korištenje vatrenog koplja, otkriveno je da ukoliko pakiramo čvrste objekte, poput strelica ili kamenja s barutom, stvaramo veće sile, te projektili lete do većih udaljenosti. Ako su strelice i drugi predmeti zamijenjeni s jednim velikim projektilom, samo malo manjim od promjera cijevi, izbačeni objekt bi letio znatno većom brzinom na veće udaljenosti, te je tako nastao prvi top. Prvi topovi koji su izrađeni od strane Kineza bili su načinjeni od bambusovih cijevi. Međutim, bambus je često bio preslab da izdrži eksploziju, tako da su se topovske cijevi počele oblikovati od metalnih cijevi. Vojna uporaba baruta polako se počela širiti diljem Azije i na Bliskom istoku, a tijekom 1200-tih, topovi i rakete su se intenzivno koristili u mongolskim osvajanjima u Aziji. U istom vremenskom razdoblju, sredinom 13. stoljeća vijesti o barutu putuju diljem svijeta, u Europu preko dominikanca i fratara. Jedan od franjevaca je donio petarde iz Kine i dao ih Rogeru Baconu, franjevačkom redovniku i profesoru na Sveučilištu Oxford u Engleskoj. Bacon je postao jedan od prvih Europljana koji je proučavao barut i pisao o njemu. Znao je da je salitra daje pokretačku silu pored zastrašujuće buke petardi, a otkrio je i način pročišćavanja prirodnih minerala iz zemlje kako bi pojačao učinak baruta. Shvatio je potencijal ove tvari, te pokrenuo revoluciju ratovanja u Europi i uzrokovao mnoge smrti. U međuvremenu, Talijani su bili fascinirani vatrometom, otkako je Marko Polo donio natrag petarde sa Orijenta 1292. godine. Tijekom renesanse u Europi (1400.-1500.g.), Talijani su počeli razvijati vatromet u pravi oblik umjetnosti. Ovo razdoblje je razdoblje umjetničkog stvaralaštva i izražavanja i mnogi novi vatrometi su stvoreni. Vojne rakete, bile su modificirane dodavanjem metala i ugljena kako bi se stvorila zlatna i srebrna iskrenja na nebu. Talijani su razvili razne zračne čahure, spremnike sa eksplozivnim punjenjem koji bi bili ispaljeni u nebo i eksplodirali na velikoj nadmorskoj visini.

Kinezi su također razvili čahure kuglastog oblika. Ipak, najspektakularniji vatrometi još još se nisu razvili. Izrađivači vatrometa otkrili su kako posebne mješavine baruta, koje sporije sagorijevaju, mogu staviti u otvorene cijevi, što rezultira ispuštanjem svjetlećih iskri. Gusta kiša svjetlećih iskri nalikovalo je na vodu iz fontana, pa su taj novi pirotehnički uređaj nazvali u skladu s tim. Ako su raketni motori bili pričvršćeni na drveni okvir kotača, to bi izazvalo brzu vrtnju i ispuštanje iskri u kružnom uzorku. Dvorci i palače bili su ukrašavani fontanama, kotačima i bakljama kako bi došli do izražaja i bili su lijep i ugodan prizor. Takvi prikazi postali su sve traženiji u cijeloj Europi. Ideja kontroliranog požara bila je neodoljiva za sve. Kraljevi nisu imali bolji način pokazivanja svojeg bogatstva i moći, na vjerskim festivalima, vjenčanjima i svečanostima krunidbe, nego kroz vatromet. Kroz godine vatrometi su se sve više razvijali. Oko 1730-ih, vatrometi se u Engleskoj prikazuju na javnim površinama, a ne samo za privatnu zabavu plemića. Otkriće brzo gorućeg fitilja napravljenog stavljanjem običnog fitilja u malu, kontinuiranu papirnatu cijev dao je mogućnost zapaljenja više vatrometa istovremeno i omogućila spektakularne vatromete. Približno 1000 godina, boje koje su mogle biti proizvedene vatrometom bile su narančasti bljesak, iskre iz crnog baruta i bijele iskre iz metalnog praha. U Italiji 1830-ih, znanstveni napredak u području kemije omogućuje pirotehničarima stvaranje crvene, zelene, plave i žute boje dodajući metale (stroncij = crvena, barij = zelena, plava = bakar, natrij = žuta) i obojeni prah u pirotehničko punjenje (pyrouniverse, 2013).

3. PIROTEHNIČKA SREDSTVA IV RAZREDA

Javni vatromet je uporaba pirotehničkih sredstava pri čemu se stvara zvučni i/ili svjetlosni učinak, a može služiti, među ostalim , i za scenske i filmske efekte (Pavelić, 2010). Vatromet je izrazito popularan zbog svoje ljepote, koja se postiže raznim kombinacijama tvari. Kako bi se napravio vatromet, potrebno je dobro poznavati kemijske tvari koje ulaze u smjesu, budući da svaka tvar tvori određeni efekt. Isto tako potrebna je opreznost pri miješanju tvari zbog reaktivnosti nekih tvari i smjesa. Za vatromete se mogu koristi različita pirotehnička sredstva II, III i IV razreda. Pirotehnička sredstva II i III razreda mogu koristiti svi, dok pirotehnička sredstva IV razreda smiju koristiti samo profesionalci jer su izrazito opasni , te je za rukovanje istima potrebno posebno znanje i posebne vještine. Pirotehnika IV razreda naziva se i profesionalna pirotehnika i namijenjena je za vrlo velike vatromete. Pirotehnički proizvodi IV razreda podliježu Zakonu o eksplozivnim tvarima i Pravilniku o izvođenju javnih vatrometa. Ova sredstva se ne nalaze u slobodnoj prodaji i potrebne su posebne dozvole za promet i uporabu

Pravilnikom o sigurnosnim zahtjevima za pirotehnička sredstva (NN 135/08 stari i novi 34/10, 14/13 i 150/13), propisuju se sigurnosni zahtjevi koje moraju ispuniti pirotehnička sredstva glede mase, kemijskog sastava, vrste materijala, jačine zvuka, dometa, vremena aktiviranja, učinkovitosti i drugih značajki. Svako pirotehničko sredstvo mora postići efekt koji je proizvođač naveo za pojedino pirotehničko sredstvo, te biti oblikovano i proizvedeno tako da ga se poslije uporabe može sigurno odložiti prikladnim postupkom s najmanjim utjecajem na okoliš.

Pirotehnička sredstva moraju biti izrađena od materijala koji ne smiju pri neispravnom radu ugrožavati sigurnost tj. ne smiju sadržavati metalne elemente konstrukcije, namotaje žice, tvrdu neoslabljenu plastiku i drugo, što može predstavljati opasne leteće fragmente.

Konstrukcija i izvedba pirotehničkog sredstva mora onemogućiti gubitak pirotehničkog sadržaja izvan kućišta, odnosno slobodno kretanje pirotehničkog sadržaja unutar kućišta. Rakete, vatrometne bombe, efekti iz mnogocijevnih kutija, rimske svijeće, te drugi pirotehnički predmeti koji lete, ne smiju se kretati na nepravilan i nepredvidiv način, ne smiju letjeti u visinu više od dopuštene, eksplodirati ili izgorjeti ispod visine od 20 m, niti njihovi zapaljeni ostaci smiju padati na tlo. Pojedinačne krhotine moraju biti bezopasne i ne smiju biti teže od 60 g, a letvica za stabilizaciju leta rakete treba padati što je moguće više položeno. Odstupanja sastava pirotehničke mase moraju biti manja od ± 20% svake

komponente u sadržaju manjem od ± 25%, odnosno ± 10% svake komponente u sadržaju većem od ± 25%.

Odstupanja mase pirotehničkog punjenja moraju se nalaziti unutar ± 25% za deklariranu masu pirotehničkog punjenja manju od 10 g, odnosno ± 10% za deklariranu masu veću ili jednaku 10 g.

Odstupanja oblika i dimenzija ne smiju biti takva da utječu na funkcionalnost sredstava i veća od ± 25% od deklaracije proizvođača (izuzevši karakteristike koje se posebno propisuju).

Posebni zahtjevi za pirotehnička sredstva IV razreda su:

1. Količina pirotehničke smjese jednog pirotehničkog sredstva smije iznositi:
    - za rakete do 500 g pirotehničke smjese,
    - za fontane do 1000 g pirotehničke smjese,
    - za mnogocijevne vatrometne kutije do 10000 g pirotehničke smjese,
    - za vodopade do 1500 g pirotehničke smjese,
    - za petarde s bljeskom do 15 g nitratno-metalne smjese, odnosno do 10 g perklorat-metalne smjese;
2. Vrijeme kašnjenja iznosi pet do trinaest (5 – 13) sekundi;
3. U pucajućoj smjesi rakete ne smije biti više od 50 g baruta ili 30 g nitratne pucajuće smjese;
4. Rakete, vatrometne bombe, efekti iz mnogocijevnih kutija, rimskih svijeća, te drugi pirotehnički predmeti koji lete, ne smiju letjeti u visinu više od 250 m;
5. Pirotehnička sredstva za vatromete IV. razreda moraju biti zaštićena od nehotičnog zapaljenja metodama koje je naveo proizvođač.

3.1. Podijela pirotehničkih sredstava IV razreda

Prema FprEN 16261-1:2012 pirotehnika IV razreda je podijeljen na 12 generičkih tipova (vrsta) i 24 podvrste. U tablici 3-1 dane su pojedine vrste, a u tablici 3-2 pojedine podvrste.

Tablica 3-1. Podjela vrsta pirotehničkih sredstava IV razreda.

Vrsta	Opis	Komentar	Efekt
3.1 Zračni kotač (Aerial Wheel)	Patrona sadrži propelant, smjesu za proizvodnju plamena-iskre i ili smjesu za proizvodnju buke. Patrona je pričvršćena na nosač koji je dizajniran da rotira i penje se u zrak.	Neke od patrona (ako ne sve) pričvršćene su na takav način da se uređaj podiže u zrak.	Rotacija i uzgon sa emisijom iskri i plamena, proizvodi vizualni i zvučni efekt.
3.2 Vodeni vatromet (Aquatic firework)	Vatromet osmišljen kako bi pluta na ili u blizini površine vode (na temelju plovnost), kako bi funkcionirao na ili ispod površine vode.		Efek daje poput bengalske vatre, fontane, vatrometne bombe.
3.3 Kombinacija (Combination)	Konstrukcija konstruirana kombinacijom nekoliko elemenata, jednog ili više tipova, svaki odgovara tipovima u ovoj tablici. Sadrži više stupnjeva paljenja. Smjesa vatrometa se ne smatra	Elementi mogu biti spajani serijski ili paralelno, sa ili bez usporivačkog fitilja kako bi dali svoje efekte u sekvencama ili u istom trenutku.	Efekt ovisi o pojedinom elementu u kombinaciji.

	kombinacijom.		
3.4 Komponenta (Component)	Proizvod obično uključen vatromete, u većini slučajeva bez propelanta što zahtijeva dodatnu priprema.		
3.5 Fontana (Fountain)	Patrona kod koje dolazi do emisje iskre i ili plamena i ili zvučnih efekata.		Emisija iskri i plamena sa zvučnim efektom.
3.6 Vođeni vatromet (Guided Firework)	Pirotehnička smjesa dizajnirana da funkcionira duž konopa ili nekog drugog vodiča kako bi proizvelo vizualni efekt.	Primjerice mogu se koristiti za zapaljenje ostalih vatrometa pričvršćenih na okvir.	Vizualni i zvučni efekti.
3.7 Mina (Mine)	Naprava koja uključuje upotrebu cijevi, sadrži propelant te pirotehničko punjenje.	Pirotehničko punjenje mogu biti zvijezde, bangers, butterflies, petarde, propeleri, zviždači.	Razletanje svih komponenti pirotehničkog punjenja daje široki vizualni i zvučni efekt.
3.8 Pucanj (Report)	Proizvod koji sadrži pirotehničko punjenje koje je namijenjeno proizvodnji pucnja.		Također osim pucnja, može sadržavati boju ili neki drugi efekt.
3.9 Raketa (Rocket)	Proizvod koji sadrži pirotehničko		Vizualni efekt i/ili zvučni efekt.

	punjenje, motor za potisak i štap ili neki drugi oblik stabilizacije te je dizajniran kako bi se podigao u zrak.		
3.10 Rimska svijeća (Roman candle)	Patrona koja sadrži jedno ili naizmjenično propelantno punjenje, pirotehničko punjenje i prenosne fitilje.	Pirotehničko punjenje može biti komet, kesten, male bombe, zvijezde itd.	Izbacivanje pirotehničkog punjenja ostvaruje serije vizualnih efekata.
3.11 Bomba (Shell)	Proizvod sa ili bez propelantskog punjenja, jednim ili više usporivačkih fitilja, sadrži pirotehničko punjenje te je dizajniran za ispaljivanje iz cijevi.	Pirotehničko punjenje mogu biti zvijezde, zvrkovi, petarde itd., kako bi se dobili različiti efekti.	Izbacivanje pirotehničkog punjenja ostvaruje serije vizualnih efekata.
3.12 Dimna sredstva (Smoke/aerosol generator)	Proizvod koji sadrži pirotehničku smjesu koja proizvodi dim ili pirotehničku smjesu koja proizvodi toplinu/plin. Koristi se na tlu ili učvršćen na nosač.	Kućište može biti načinjeno od različitih materijala kao npr. plastika, papir.	Emisija bijelog ili obojanog dima, bez zvučnog efekta.

Tablica 3-2. Podvrste pirotehničkih sredstava IV razreda

Vrsta	Opis	Komentar *Poveznica sa vrstom (tablica4-1.)	Efekt
3.2.1 Vodena bomba (Aquatic Shell)	Sferična, cilindrična ili patrona nekog drugog oblika dizajnirana kako bi plutala na vodi. Ispaljuje se iz cijevi.	*pogledaj **bomba**	Efekt poput bombe.
3.2.2 Vreća mina (Bag Mine)	Spremnik koji sadrži propelant i pirotehničko punjenje, dizajniran za korištenje u cijevi.	*pogledaj **mina** Spremnik je od obična platnena, papirnata, ili plastična vrećica, ili platneni ili papirnati cilindar.	Isti efekt poput mine.
3.2.3 Baterije (Battery)	Proizvod sastavljen od nekoliko elemenata, svaki istog tipa ili podtipa i odgovara nekom od tipova vatrometa unutar tablice, jednim ili više stupnjeva paljenja.	Elementi mogu biti zapaljeni zajedno u seriji ili paralelno, sa ili bez usporivačkih fitilja kako bi dali efekat u sekvencama ili od jednom.	Zaseban efekt za individualan element.
3.2.4 Bengalska vatra (Bengal flame)	Patrona koja sadrži sporo goruću pirotehničku smjesu.	Pirotehnička smjesa može biti utisnuta. Patrona ne izgara tijekom rada.	Emisija bijelog ili obojenog plamena.
3.2.5 Kompleksna bomba (Complex Shell)	Sastav koji se sastoji od nekoliko zasebnih elemenata dizajniranih	*pogledaj **bomba**	Efekat zasebnog elementa.

	da budu ispaljeni iz cijevi s jednim propelantskim punjenjem, funkcioniraju sekvencijski ili simulirano. Ova podvrsta uključuje sljedeće proizvode: -Multi break shell bomba s nekoliko zasebnih elemenata s ili bez propelantskog punjenja, s usporivačkim fitiljima i pucajućim punjenjem, pirotehničkim punjenjem(zvijezdama), dizajnirana za ispaljivanje iz cijevi. -Kikiriki patrona Patrona s dvije ili više bombi u zajedničkom omotu, pogonjene s istim propelantom. -Repeater shell bomba s nekoliko zasebnih elemenata s ili bez propelantskog punjenja, usporivačkim		

	fitiljem, pucajućim punjenjem , zvijezdama, dizajnirana za ispaljivanje iz cijevi, funkcioniraju u sekvencama paljenjem unutarnjeg fitilja zapaljenog prijašnjim elementom.		
3.2.6 Dnevna bomba (Daylight Shell)	Sferična ili cilindrična patrona dizajnirana za ispaljivanje iz cijevi, sadrži zasebne elemente koji proizvode vidljivi efekt po danu ili proizvode zvučni efekt.	*pogledaj **bomba**	Emisija obojene svijetlosti i dima sa zvučnim efektom.
3.2.7 Petarda sa bljeskom (Flash banger)	Nemetalna patrona koja sadrži pirotehničko punjenje na bazi metala.	*pogledaj **pucanj** Može se koristiti unutar patrona vatrometa kao dio pirotehničkog punjenja.	Svjetleći bljesak.
3.2.8 Podni pucanj (Ground maroon)	Pucanj bez propelanta i bez usporivačkog fitilja, dizajniran za proizvodnju pucnja.	*pogledaj **pucanj**	Efekt glasnog pucnja.
3.2.9 Pripala (Lance)	Patrona malog promjera koja sadrži kompaktnu pirotehničku smjesu, gori poput cigarete, namjena je proizvodnja topline za ručno paljenje vatrometa.	*pogledaj **fontana** Pirotehnička smjesa može biti utisnuta ili sama konsolidirana. Patrona za razliku od fontana, izgara tijekom rada.	Stvaranje topline ili vizualni efekt.

3.2.10 Leteća bomba s pucnjem (Maroon Shell)	Konstrukcije poput bombe, koristi se za proizvodnju glasnog pucnja.	*pogledaj **bomba** *pogledaj **pucanj**	Stvaranje glasnog pucnja.
3.2.11 Pucanj (Maroon)	Vatromet koji sadrži pirotehničko punjenje koje je namijenjeno za proizvodnju glasnog pucnja.	*pogledaj **pucanj** Nije poput petarde, dizajn je sličan bombama.	Stvaranje glasnog pucnja.
3.2.12 Raketa sa padobranom (Parachute Rocket)	Proizvod koji sadrži pirotehničko punjenje, koje se spuštaju pomoću padobrana. Opremljeni su propelantom i štapovima za stabilizaciju tijekom leta i dizajnirani su tako da se sami uzdižu u zrak.	*pogledaj **raketa**	Efekt individualne podkomponente.
3.2.13 Padobranska bomba (Parachute Shell)	Sferična, cilindrična ili nekog drugog oblika patrona, dizajnirana tako da se može ispaljivati iz cijevi, sadrži podkomponente koje se spuštaju pomoću padobrana.	*pogledaj **bomba**	Efekt zasebnih komponenata unutar patrone.
3.2.14 Napunjene vatrometne cijevi (Preloaded mortar, shell in mortar)	Konstrukcija sastavljena od patrone unutar cijevi iz koje se ispaljuje patrona.	*pogledaj **bomba**	Efekat zasebnih komponenti.
3.2.15 Propeler	Cijev koja je u sredini	Konstrukcija poput	Rotacija uz

(Saxon)	pričvršćena na stalak, tako da se može rotirati, kada pirotehnička smjesa izgara dolazi do potiska i okretanja propelera.	*pogledaj **fontana** Dva pirotehnička punjenja mogu se spojiti u jedno punjenje, u tom slučaju to punjenje gori na dva slobodna kraja.	emisiju iskri i/ili plamena sa ili bez zvučnih efekata.
3.2.16 Setovi (Set Piece)	Konstrukcija koja sadrži jedan ili više elemenata koji su dizajnirani da se ne rotiraju.	To je kombinacija. Generalno ovi elementi spadaju u podvrste pripala, fontana i kaskada, ali mogu i sadržavati petarde, podne kestene i/ili zviždače.	Efekat zasebnog elementa.
3.2.17 Vatrometne cijevi (Shot tube)	Cilindrična patrona koja sadrži jedan propelant i pirotehničko punjenje, sa ili bez pucajućeg punjenja, sa ili bez prenosnog fitilja.	*pogledaj **rimske svijeće** Pirotehničko punjenje mogu biti kometi, zvrkovi, bombe, zviždači.	Pucanj u segmentima poput rimskih svijeća.
3.2.18 Signalna raketa (Signal rocket)	Patrona koja sadrži pirotehničko punjenje, sadrži štap ili neki drugi način stabilizacije za let, dizajnirana je kako bi se podigla u zrak i pretežno stvorila zvučni efekt.	*pogledaj **raketa**	Konstantan ili segmentni visoko frekventan zvuk ili pucanj.
3.2.19 Zvrk (Spinner)	Cijev ili cijevi koje sadrže pirotehničku smjesu	*pogledaj **zračni kotač**	Rotacija praćena emisijom iskri i/ili plamena.

3.2.20 Bljeskovi (Strobe)	Patrona sadrži brzogoreću pirotehničku smjesu koja stvara dugu i brzu seriju bljeskova konstantne frekvencije	*pogledaj **fontana**	Proizvodnja serije bljeskova.
3.2.21 Podvodni vatromet (Sub aquatic firework)	Vatromet dizajniran za rad ispod vode blizu površine.	*pogledaj **vodeni vatromet** Ima sposobnost plutanja nekoliko centimetara ispod površine vode.	Sličan efekt poput bengalske vatre, emisija obojenog plamena.
3.2.22 Vulkan (Volcano)	Konusno kućište u kojemu je utisnuta pirotehnička smjesa čiji efekt (intenzitet ili visina) raste vremenom.	*pogledaj **fontana**	Proizvodi rastući vizualni efekt.
3.2.23 Vodopad (Waterfall)	Patrona sadrži utisnuto pirotehničko punjenje koje proizvodi iskre i plamen, patrona izgara tijekom gorenja.	Proizvodi izgaranja su istisnuti iz zone plamena pri maloj brzini zatim padaju, poput vode vodopada.	Proizvodnja svijetle bijele ili obojene svjetlosti vizualnog efekta poput vodopada
3.2.24 Kotač (Whell)	Konstrukcija se sastoji od patrona koje sadrže pirotehničko punjenje te se okreće na stalku.	Konstruiran je tako da rotira oko fiksne točke, u vertikalnom ili horizontalnom smjeru.	Rotacija oko fiksne točke ili osi i emisija iskri i plamena sa ili bez zvučnog efekta

Iz tablice 3-1 vidljivo je da je podjela pirotehnike IV razreda u pojedine vrste izvedena na osnovu primarnog efekta pojedinog pirotehničkog sredstva. Radi lakšeg prepoznavanja pojedinog pirotehničkog u tablicama je dan i opis pojedinog sredstva. Da bi se postigao zadovoljavajući primarni efekt potrebno je uskladiti konstrukcijske zahtjeve za oblik i izvedbu pirotehničkog sredstva i koristiti odgovarajuće pirotehničke smjese za postizanje efekta.

4. EFEKTI I KONSTRUKCIJA PIROTEHNIČKIH SREDSTAVA IV RAZREDA

4.1. Konstrukcija

Konstrukcija započinje izradom patrone, koja mora odgovarati zahtjevima smjese koja se u istu stavlja, željenom efektu, te mora ispunjavati zadane sigurnosne uvjete. Nakon patrone radi se smjesa koja će zadovoljiti tražene efekte. Ponekad se smjesa treba više puta ispitivati i kombinirati kako bi došli do željenih rezultata.

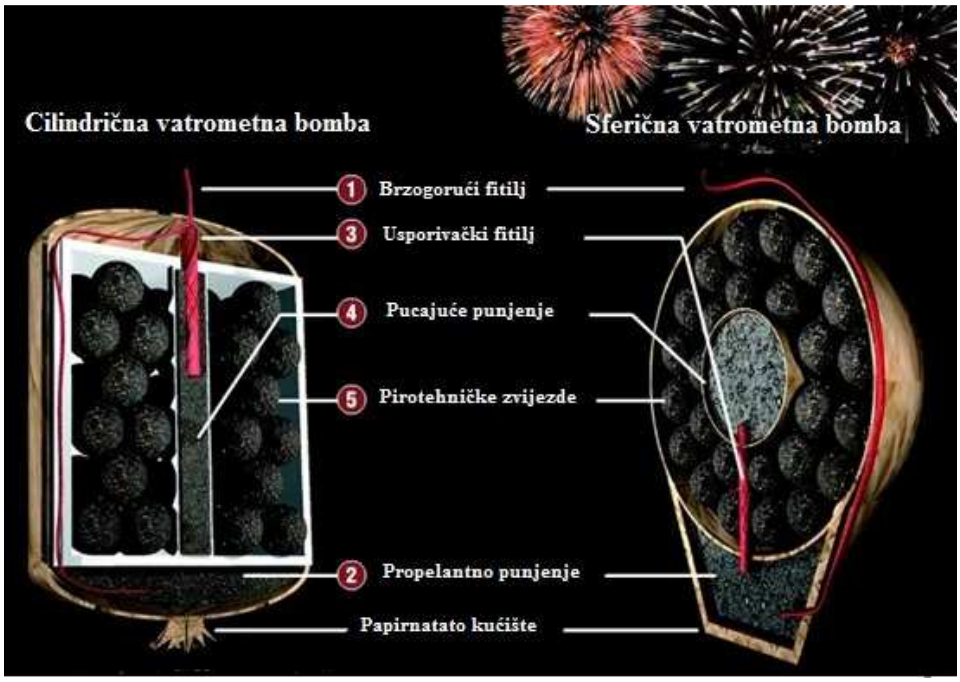
Svako pirotehničko punjenje pirotehničkih sredstava zahtjeva određeni oblik spremnika. U prošlosti, patrone su se izrađivale od papira ili čak od drveta, a danas se rade od pak papira, plastike ili metala. Zadnjih nekoliko desetljeća tehnika izrade patrona nije se znatno promijenila. Profesionalni vatrometi dolaze u dvije osnovne izvedbe kućišta, a to su cilindrični i sferični oblik. U slučajevima gdje je potrebna otpornost na visoke tlakove, patrone se umjesto od papira izrađuju od metalnih patrona ili patrona obloženih smolom. Primjerice, signalne rakete ponekad se utiskuju u čelične patrone, ali u situacijama gdje se zahtjeva da patrona izgori sa smjesom, koriste se tanke aluminijske ili plastične patrone koje nastoje zamijeniti papirnate patrone. Plastika i aluminij isto tako imaju mnogobrojne prednosti s obzirom na papir koji se širi ili skuplja ovisno o pojavi vode. Obzirom da sve te tanke patrone moraju izdržati visoke pritiske tijekom punjenja, moraju se osigurati kalupima kako bi se spriječilo pucanje patrone. Kalupe obično nalazimo u dva tipa. Prvi se sastoji od metalnog bloka u kojem je izbušena rupa, veličine patrone. Površina unutrašnjosti kalupa mora biti glatka i ispolirana. Ploča sa donje strane kalupa drži patronu na mjestu tijekom punjenja, te nakon punjenja ploča se miče kako bi se patrona mogla izvaditi. Druga metoda je korištenje kalupa koji se mogu razdvojiti. Metoda se sastoji od kalupa načinjenog od tri metalna segmenta koji u potpunosti okružuju patronu. Tijekom punjenja segmenti se povezuju metalnim prstenima. Kako bi se papir spojio koristimo razna ljepila. Postoji mnogo različitih ljepila, ovisno o vrsti papira na kojima se primjenjuje. Ljepila na bazi kazeina ili dekstrina obično se primjenjuju za patrone velike čvrstoće izrađene od pak papira, a škrobna i celulozna ljepila mogu se koristiti za tanji ili jeftiniji papir. Patrone vezane dekstrin ljepilom nažalost imaju tendenciju upijanja vlage, što je nepoželjno kod vatrometa. Dobra i jeftina pasta može se izraditi miješanjem pšeničnog brašna u finu smjesu, dodavanjem potrebne količine hladne vode. Nakon toga dodaje se vruća, ne kipuća voda, kako bi se dobio cjelokupan volumen smjese. Ta smjesa se zatim kuha do određene gustoće i dodaje se mali postotak konzervansa u obliku borne

kiseline da bi se spriječio moguć nastanak bakterija, te kako ne bi došlo do pojave plijesni i truljenja u vlažnim uvjetima.

Izrada patrona nije kompliciranа. Kako bi se dobio željeni oblik i veličina patrone, papir se omata oko metalnog cilindra određenog promjera. Drvo za izradu nije primjenjivo zbog primjene mokrih ljepila, ali može se koristiti za izradu čunjeva (završetaka raketa) i ostalih elemenata koji se lako skidaju s kalupa. Veći cilindri ponekad na krajevima imaju drvene drške za lakše izvlačenje. Dugačke, uske patrone su ponekad nespretne jer se znaju javiti poteškoće pri skidanju sa cilindra. Skidanje u takvim situacijama rješava se na vrlo jednostavan način. Na stolu se učvrsti šiljak i na kraju cilindra se izbuši rupa, te se stavi na šiljak. Nakon učvršćenja se patrona lagano povlači sa cilindra. Stolovi za rolanje moraju biti od čvrstog masivnog drveta sa neapsorbirajućom površinom koja se lako čisti. Mramorne ili sintetičke površine također su vrlo zahvalne za tu namjenu. Kvaliteta papira je bitna, ali nije presudna kao što se očekuje. Čvrste patrone koje moraju izdržati veliki tlak obično se izrađuju od neglaziranog pak papira. Slabije patrone za rimske svijeće, koje se koriste za svjetlosne efekte, izrađuju se samo od jeftinog, neglaziranog smeđeg papira (šećerni papir). Da bi se dobile patrone sa debljim stjenkama puno je praktičnije omatati nekoliko listova papira nego omatati jedan dugačak sloj u jednom komadu. Isto tako puno je praktičnije koristiti velike tanke slojeve papira na vanjskoj strani i jedan ili više nešto debljih slojeva na unutrašnjoj strani. Koristeći takvu metodu lakše je zalijepiti vanjski sloj, te koristeći relativno kratke namotaje postoji manja mogućnost izrade nekvalitetne patrone. Patrone se izrađuju u slojevima, cilindar se stavi na papir te se papir omata oko cilindra, nanosi se sloj ljepila, te se postupak ponavlja za svaki idući sloj. Sušenje patrona mora se odvijati sporo, najbolji način je sušenje na sobnoj temperaturi u roku od tjedan dana, u protivnom kod naglog sušenja dolazi do zakrivljenja patrona pa čak i nemogućnosti skidanja sa cilindra (Lancaster, 1992).

Ukoliko pirotehničko sredstvo djeluje na određenoj visini ono mora sadržavati u sebi propelant koji podiže patronu na potrebnu visinu. Propelantsko punjenje je u pravilu odvojeno od smjese za postizanje efekta i nalazi se u zasebnom odjeljku patrone (kućišta). Pirotehničko sredstvo se inicira pripalnim stijenom (fitiljom). Ukoliko u pirotehničkom sredstvu postoji propelantsko punjenje ono je odvojeno od smjese za postizanje efekta usporivačkim elementom. Vremensko usporenje je definirano visinom efekta i brzinom leta pirotehničkog sredstva.

Na slici 4-1. nalazi se prikaz konstrukcija sferične i cilindrične bombe (shell), brojevi označavaju redoslijed iniciranja.



Slika 4-1. Konstrukcija sferične i cilindrične bombe (roundeyespyro, 2015)

Kao propelant uobičajeno se koristi barut. Pucajuće punjenje se nalazi se u sredini patrone i kada se aktivira uzrokuje raspadanje patrone, popraćeno bljeskom i eksplozijom. Najčešće je ta smjesa napravljena od visoko eksplozivnog baruta ili rižinih ljuskica obloženih barutom, a obje komponetne su vrlo dostupne i ekonomski isplative, te je jednostavno rukovati njima. Rižine ljuskice vlaže se vodom se se na njih posipava barut kako bi se zalijepio. Rižine ljuskice imaju prednost što su lagane te ne povećavaju sveukupnu masu patrone, a imaju veliku eksplozivnost (Kosanke, 1995). Na slici 4-2. prikazane su rižine ljuskice obložene barutom te upakirane u sfernu patronu.



Slika 4-2. Pucajuće punjenje (skylighter, 2015)

Za stvaranje efekata zaslužne su pirotehničke zvijezde, pomoću kojih zadajemo željeni oblik vatrometa. Budući da danas raspolažemo s mnogobrojnim kemikalijama, mogućnost stvaranja efekata je beskonačna uz samo 3 različite vrste zvijezda:

- utisnute zvijezde (cilindričnog oblika)
- rezane zvijezde (kubičnog oblika)
- sferične zvijezde

Na slici 4-3. Prikazane su utisnute, rezane i sferične zvijezde.



Slika 4-3. Zvijezde (Wikipedia, 2014)

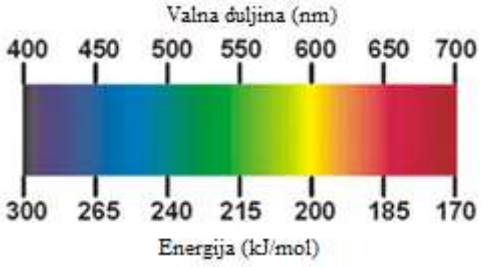
4.2. Pirotehničke smjese za postizanje efekata

Primarna zadaća pirotehnike je stvaranje efekata u obliku svjetlosti, dima, zvuka ili topline. Željeni efekti nastaju kombinacijom pirotehničkog punjenja i načina konstrukcije samog pirotehničkog sredstva. Kao što je već spomenuto efekti nastaju miješanjem raznih kemijskih komponenata u jednu smjesu. U tablici 4-3. navedeni su kemijski spojevi za postizanje određenih efekata Da bi smjesa bila uspješna, točni omjeri moraju biti pogođeni, a te omjere već imamo propisane ili se postižu eksperimentiranjem.

4.2.1. Boja

Proizvodnja jarkog svjetla i živih boja primarna je svrha mnogih pirotehničkih sastava. Boje nastaju zagrijavanjem soli metala, kao na primjer kalcijevog klorida ili natrijevog nitrata, koji emitiraju karakterističnim bojama. Atomi svakog elementa apsorbiraju energiju, te je emitiraju u obliku svjetlosti određene boje. Energija apsorbirana

u atomu preslaguje elektrone iz njihovog najnižeg energetskog stanja, zvanog osnovno stanje, do višeg energetskog stanja, zvanog pobuđeno stanje. Višak energije iz pobuđenog stanja emitira se kao svjetlost. Količina energije koja je svojstvena emitiranju elemenata je količina energije koja određuje boju emitiranog svjetla. Na primjer, kada se natrijev nitrat zagrijava, elektroni natrijevih atoma apsorbiraju toplinsku energiju i postaju pobuđeni. To visoko energetsko pobuđeno stanje ne traje dugo. Uzbuđeni elektroni iz atoma natrija brzo otpuste svoju energiju, oko 200 kJ / mol, što rezultira žutim svjetlom. Na slici 4-4. prikazan je vidljivi spektar boja te energija pri kojoj dolazi stvaranja određene boje (Scifun, 2015).



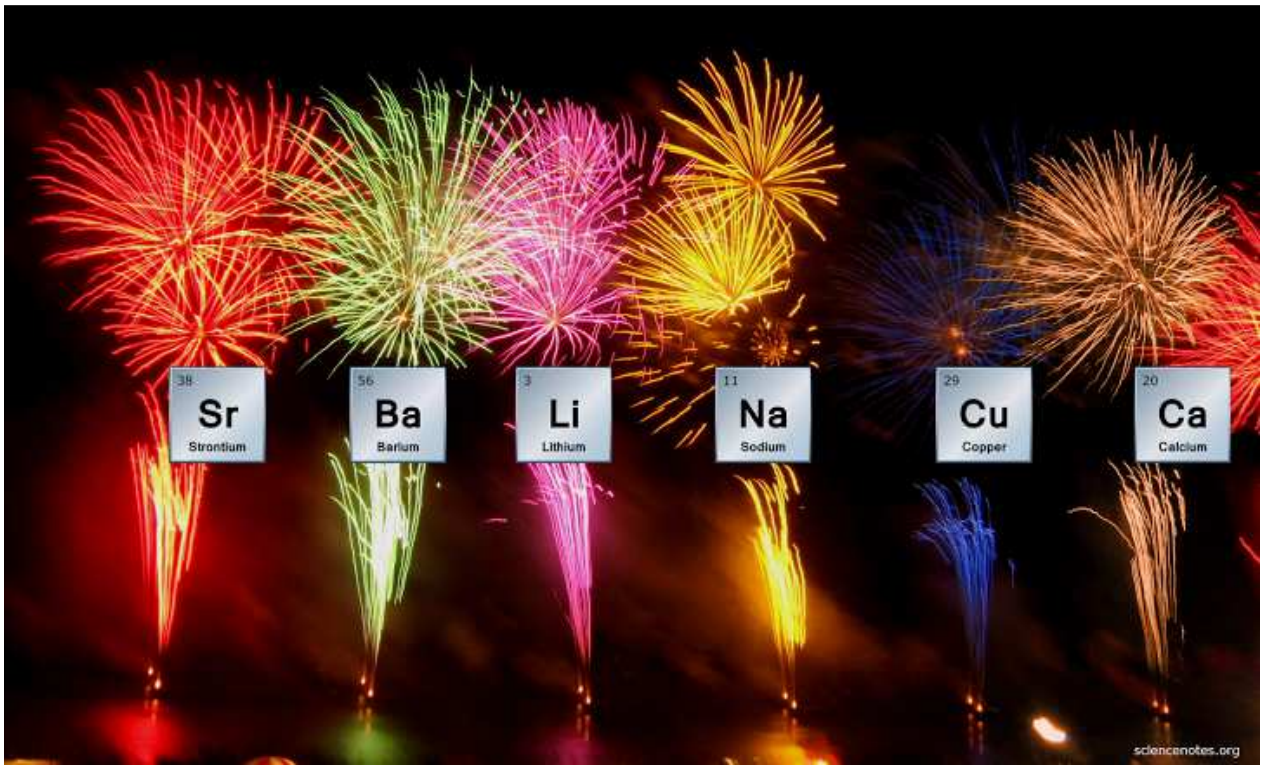
Slika 4-4. Spektar boja (scifun, 2015)

Pri dobivanju određenih boja bitan faktor je temperatura, jer intenzitet boje varira visinom temperature. Što je temperatura veća, boja će biti intenzivnija.

Određeni elementi i sastavi pri zagrijavanju na visoke temperature, imaju specifično svojstvo emitiranja tankih linija svjetlosti u vidljivom elektromagnetnom spektru (380-780 nm). Ta emisija, od strane promatrača percipirana je kao boja, a proizvodnja obojenih efekata jedan je od najvažnijih zadataka pirotehničkih smjesa. Boja može biti proizvedena emitiranjem tanke linije svjetlosti ili emitiranjem nekoliko spektara boje koji kombiniranjem proizvode određenu boju. Primjerice, miješanje plave i crvene boje svjetlosti, u određenim omjerima proizvest će svjetlosni efekt ljubičaste boje.

Dakle sastavi smjesa koje će emitirati valnu duljinu ili mješavinu valnih duljina moraju biti u pirotehničkom plamenu. Temperatura pirotehničkog plamena kreće se od 1000 ^{o}C do 2000 ^{o}C pa i više, ovisno o upotrjebljenom sastavu.

Na slici 4-5.prikazani su svjetlosni efekti vatrometa i metali, čiji spojevi su zaslužni za obojenje.



Slika 4-5. Svjetlosni efekti vatrometa (sciencenotes, 2015)

Vidljivi spektar crvene boje nalazi se u intervalu od 620 nm do 750 nm. Za dobivanje crvene boje koriste se stroncijevi spojevi. Najbolji kemijski spoj za proizvodnje crvene boje je stroncijev klorid, SrCl. Stroncijev klorid emitira svjetlost spektra 620-640 nm. Stroncijev hidroksid, SrOH emitira svjetlost u području spektra crveno narančaste boje. Stroncijev karbonat ($SrCO_3$) je blijedo ružičast, fini prah. Koristi se u industriji vatrometa za dobivanje crvenog plamena i zvjezdica, ali se nekada primjenjuje kao retardant u nekim smjesama. Kalcijev karbonat ($CaCO_3$) je sol karbonatne ili ugljične kiseline, u obliku bijelog praha. Nekada se koristi kao neutralizator za neke smjese i koristi se u izradi raketa. Stvara crveno narančastu boju.

Vidljivi spektar zelene boje nalazi se u intervalu od 495 nm do 570 nm. Za dobivanje zelene boje koriste se spojevi barija. Barijev klorid, BaCl izgaranjem emitira svjetlost spektra 505-535 nm. Barijev nitrat $Ba(NO_3)_2$ i barijev klorat $Ba(ClO_3)_2$ najčešće se koriste za proizvodnju zelene boje te oba imaju svrhu oksidansa i izvora boje.

Vidljivi spektar plave boje nalazi se u intervalu od 450 nm do 495 nm. Plavu boju je dosta teško postići u pirotehnici, jer je poprilično zahtjevno postići ravnotežu između temperature i molekularnog ponašanja elemenata. Element najviše korišten za dobivanje plave boje je bakar.

Bakar (Cu) je metal sjajne svijetle crvene do crvenkastosmeđe boje. Temperature tališta 1083 °C. Bakrov prah se koristi za dobivanje plavih boja ili kao pojačivač zelene boje. Bakrov karbonat [$CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$] se kombinira s amonijevim perkloratom za dobivanje plave boje. Ukoliko temperatura izgaranja postane viša od potrebne nastati će zelena boja.
Vidljivi spektar ljubičaste boje nalazi se u intervalu od 380 nm do 450 nm. Ljubičasta boja je relativno nova boja u pirotehnici. Postiže se pravilnim balansiranjem crvene i plave boje. Miješanjem te dvije boje stvaramo iluziju ljubičaste boje u očima promatrača.
Vidljivi spektar žute boje nalazi se u intervalu od 570 nm do 590 nm. Žutu boju postižemo natrijevim spojevima. Natrijev oksalat ($Na_2C_2O_4$) se priprema neutralizacijom oksalne kiseline i tvori bijele kristale topljive u vodi. Talište je oko 250 °C. Dvije su glavne uporabe ove tvari. Prva je za stvaranje žute boje u kombinaciji sa kalijevim perkloratom i prikladnim gorivom. Također se koristi za dobivanje žutih iskrica, u kombinaciji sa barutom, aluminijem i antimonom (CONKLING, 1985)

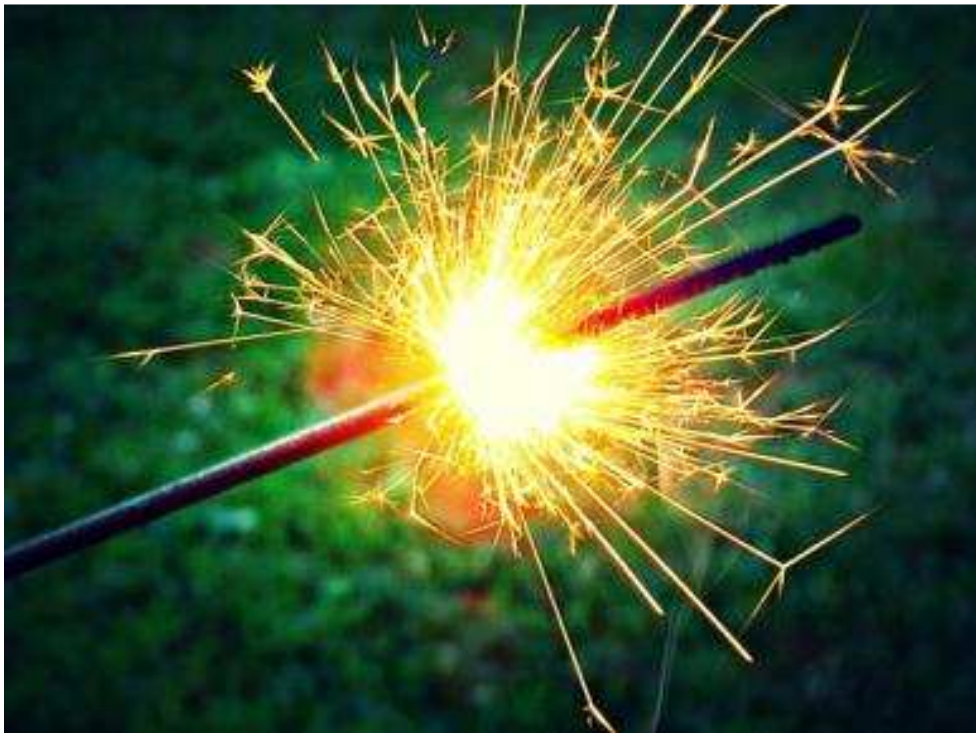
4.2.2. Blješteće smjese

Da bi se dobio izboj svjetlosti kratkog trajanja, potrebno je da smjesa reagira izrazito brzo. Koriste se sitne, fine čestice za oksidanse i gorivo kako bi se povećala reaktivnost, a isto tako se povećava osjetljivost smjese. Te smjese su dosta opasne za pripremu i mješanje tih smjesa se mora raditi uz dodatan oprez (CONKLING, 1985)

4.2.3. Iskre

Iskre se javljaju gorenjem mnogih pirotehničkih smjesa. Nastaju kada su tekuće ili krute čestice izbačene iz smjese pomoću tlaka nastalog tijekom visoko energetske reakcije. Čestice napuštaju područje plamena i nastavljaju isijavati svjetlost dok se postupno hlade ili reagiraju sa atmosferskim kisikom. Veličina čestica goriva će uvelike utjecati na količinu i veličinu iskri, što su veće čestice goriva, to su veće iskre. Često se u proizvodnji kombiniraju sitne čestice goriva za dobivanje topline sa većim česticama za dobivanje iskri. Metalne čestice, poput aluminija, titanija i magnalija, proizvode zlatno bijele iskre. Veće čestice ugljena daju karakterističnu narančastu boju iskri. Iskre nastale od čestica željeza variraju od zlatne do bijele boje, ovisno o temperaturi reakcije.
Za dobivanje dobrog efekta iskrenja, gorivo mora sadržavati čestice koje su dovoljno velike da „*pobjegnu*˝ iz plamena prije potpunog izgaranja. Također, oksidans ne smije biti

previše efektivan, jer će se tada potpuno sagorijevanje dogoditi u plamenu. Zbog bolje uspješnosti, ponekad se koristi neka vrsta plina koja bi stvorila potisak za izbacivanje čestica iz plamena. Za postizanje iskri koristi se aluminijev prah (Al), magnezijev prah (Mg) i magnalij, kombinacija aluminija i magnezija (CONKLING, 1985).
Na slici 4-6. prikazan je efekt iskrenja.



Slika 4-6. Prikaz iskri (chemistry.about, 2015)

4.2.4. Dimni efekt

Dimni efekti se izbjegavaju kod tipičnih vatrometa kako ne bi smetali i prikrili svjetlosne efekte, ali su zato poželjni kod dnevnih vatrometa i signalizacije.
Za dobivanje dima koristimo dvije osnovne metode. Jedna je kondenzacija isparenog materijala, a druga metoda je raspršivanje krutih ili tekućih čestica. Materijal se može sporo otpuštati ili izrazito brzo se raspršiti pomoću eksploziva. Razlikujemo termin dima i magle. Dim nastaje raspršivanjem čvrstih čestica, a magla raspršivanjem tekućih čestica.
Da bi dobili obojani dim smjesa mora proizvesti dovoljnu toplinu da dođe do isparavanja boje, a isto tako i da nastane dovoljna količina plina, kako bi se boja raspršila. Smjesa se mora inicirati na niskim temperaturama i nastaviti goriti stalnom niskom temperaturom (ispod 1000 °C). Ukoliko je temperatura previsoka, molekule boje će se raspasti i kvaliteta

boje će drastično pasti. Također tvar koju odabiremo mora dobro sublimirati bez razlaganja na temperaturi pirotehničke reakcije, kako bi kvaliteta boje i dima ostala postojana. Arsenov disulfid (As_2S_2) se koristi za stvaranje žutog dima, antracen ($C_{14}H_{10}$), katran i naftalen($C_{10}H_8$) tvore crni dim, a cinkov oksid (ZnO) daje bijelu boju dima. Laktoza ($C_{12}H_{24}O_{12}$) se koristi s kalijevim kloratom u nekim obojanim dimnim smjesama kako bi nastala reakcija niske temperature koja može isparavati organsku boju (CONKLING, 1985). Na slici 4-7. prikazan je primjer dnevnog vatrometa uz dimne efekte.



Slika 4-7. Prikaz dimnog efekta (alibaba, 2015)

4.2.5. Zvučni efekt

Vatrometi proizvode dvije vrste zvuka. Proizvode glasan pucanj, odnosno zvuk eksplozije i zviždanje. U tu svrhu najčešće se koristi kalijev klorat i kalijev perklorat. Eksplozivne smjese koje proizvode buku, moraju biti gusto pakirane u patroni i što dulje odolijevaju pritisku, to je jača eksplozija. Te smjese smatraju se izuzetno opasnima i rizičnima za rad i ne smiju se skladištiti nigdje blizu radnog osoblja.

Zvuk zviždanja dobiva se paljenjem čvrsto utisnutih smjesa oksidansa i goriva u kartonske patrone. Taj zvuk nastaje zbog toga što pritisnuta smjesa gori sloj po sloj. Zviždanje je zapravo reakcija na rubu eksplozije, pa se smjesa mora pažljivo puniti u patrone (CONKLING, 1985).

U tablici 4-3 dan je popis pojedinih kemijskih spojeva i naveden efekt koji se postiže upotrebom tih spojeva.

Tabica 4-3. Popis kemijskih spojeva za postizanje efekata

Naziv	Kemijska formula	Efekt
Aluminij	Al	Iske
Antracen	$C_{14}H_{10}$	Crni dim
Arsenov disulfid	As_2S_2	Žuti dim
Bakrov karbonat	$[CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2]$	Plava boja
Barijev klorat	$Ba(ClO_3)_2$	Zelena boja
Barijev klorid	BaCl	Zelena boja
Barijev nitrat	$Ba(NO_3)_2$	Zelena boja
Cinkov oksid	ZnO	Bijeli dim
Kalcijev karbonat	$CaCO_3$	Crveno narančasta boja
Laktoza	$C_{12}H_{24}O_{12}$	Dim
Magnezij	Mg	Iskre
Naftalen	$C_{10}H_8$	Crni dim
Natrije nitrat	$NaNO_3$	Žuta boja
Natrijev oksalant	$Na_2C_2O_4$	Žuta boja
Stroncijev hidroksid	SrOH	Crveno narančasta boja
Stroncijev karbonat	$SrCO_3$	Crvena boja
Stroncijev klorid	SrCl	Crvena boja

5. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu, u prvom poglavlju, navedena je podjela pirotehničkih sredstava temeljem zakona o eksplozivnim tvarima, drugo poglavlje opisuje povijest i razvoj vatrometa od njegovih začetaka pa do suvremenog doba. Pirotehnička sredstva IV razreda su prikazana u trećem poglavlju te je navedena podjela pirotehničkih sredstava na vrste i podvrste. Za svaku od 12 vrsta i 24 podvrste naveden je naziv vrste ili podvrste, opis sredstva i primarni efekt. U četvrtom poglavlju navedene su konstrukcijske značajke i način izrade pirotehničkih sredstava. Pobliže su opisane kemijske smjese za postizanje pojedinih efekata. Općenito efekti i konstrukcija pirotehničkih sredstava dva su elementa koji ovise jedan o drugom. Načini izrade i konstrukcije pirotehničkih sredstava kroz vrijeme su se mijenjali kako su pirotehničari usvajali nova znanja. Pirotehnička sredstva IV razreda spadaju u profesionalnu pirotehniku te ju radi visokog stupnja opasnosti smiju koristiti samo ovlašteni pirotehničari. Izrada vatrometa zahtjeva stručno znanje poznavanja kemijskih spojeva kako bi se dobili željeni efekti. Uz određeno znanje i vještine izrade vatrometa, mogućnost postizanja željenih efekata je neograničena.

6. LITERATURA

CEN Pyrotechnic articles - Fireworks, category 4 - Part 1:Terminology

CONKLING, J.A., 1985. Chemistry of pyrotechnics, New York, MARCEL DEKKER, INC.

Europske norme, FprEN 16261-1:2012

Konstrukcija sferične i cilindrične bombe, 2015. URL: http://www.roundeyespyro.com/faq.htm

Kosanke, K. L., Kosanke, B. J., 1995. *The Illustrated Dictionary of Pyrotechnics*, 1775 Blair Road, Whitewater, Journal of Pyrotechnics, Inc.

Lancaster, R., 1992. *Fireworks – Principles and Practice*. 2nd Edition. New York, N. Y.: CHEMICAL PUBLISHING CO., INC.

NARODNE NOVINE, br. 135/2008, 34/2010. Pravilnik o sigurnosnim zahtjevima za pirotehnička sredstva te uvjetima za njihovu podjelu. Narodne novine, d. d. , Zagreb.

NARODNE NOVINE, br. 178/2004, 109/2007, 67/2008, 144/2010. Zakon o eksplozivnim tvarima. Narodne novine, d. d. , Zagreb.

Prikaz dimnog efekta, 2015. URL: http://www.wuxingfireworks.cn/product/437010974-212272081/Color_Smoke_Fireworks_daytime_celebration_fireworks.html

Prikaz iskri, 2015. URL: http://chemistry.about.com/od/demonstrationsexperiments/ht/sparkler.htm

Prikaz kineskog vatrenog koplja, 2015. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Firearm

Pucajuće punjenje, 2015. URL: http://www.skylighter.com/fireworks/how-to-make/star-pattern-shell.asp

PYROUNIVERSE, 2013. URL: http://www.pyrouniverse.com/history.htm

SCIENCE HOW STUFF WORKS, 2015. URL: http://science.howstuffworks.com/innovation/everyday-innovations/fireworks1.htm

SCIFUN, 2015. URL: http://www.scifun.org/chemweek/fireworks/fireworks.htm

SKYLIGHTER, 2015. URL:http://www.skylighter.com/fireworks/how-to-make/Stars-and-Shell-Inserts.asp

Spektar boja, 2015. URL: http://scifun.chem.wisc.edu/chemweek/fireworks/fireworks.htm

Svjetlosni efekti vatrometa, 2015. URL: http://sciencenotes.org/firework-colors-chemistry/

Zvijezde, 2014. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Pyrotechnic_star