

# OGNJEMETI in druga zabavna PIROTEHNIKA ZASTRUPLJAJO OZRAČJE



Ognjemet je le redko tako lep kot na sliki. Lepota barv na temnem ozadju nočnega neba nas vseeno očara in vzbudi občutek neskončnosti.

Pri tem pozabljamo, da se pri eksploziji v ozračje sprostijo vse snovi, ki so del pirotehniškega izdelka, in tudi reakcijski produkti v obliki plinov in zelo majhnih trdnih delcev, ki nastanejo pri reakciji s kisikom oz. pri reakciji med posameznimi deli eksploziva.

Ognjemeti, petarde in iskrice povzročajo veliko in negospodarno onesnaženost ozračja s trdnimi delci ter predstavljajo tveganje za zdravje.

Projekt se izvaja v okviru programa SREDNJA EVROPA, ki ga sofinancira ESRR



**CENTRAL  
EUROPE**  
COOPERATING FOR SUCCESS.



EUROPEAN UNION  
EUROPEAN REGIONAL  
DEVELOPMENT FUND

**nano  
FORCE**

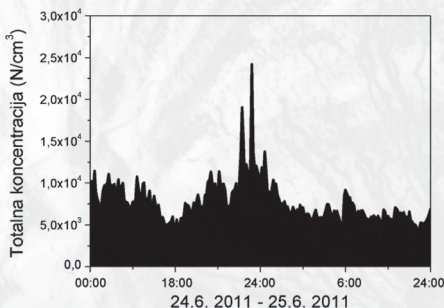
Delci, ki se sprostijo v ozračje pri ognjemetu, so veliki od 20 do 200 nanometrov, kar predstavlja petdesetinko do petinko mikrometra.

Na teh NANODELCIH se kondenzira zračna vlaga in nastane megla. Ta »meglenost« je najbolj vidna nekaj minut po začetku ognjemeta, ko se delci še nahajajo blizu središča eksplozij in direktno dokazuje prisotnost nanodelcev v ozračju.

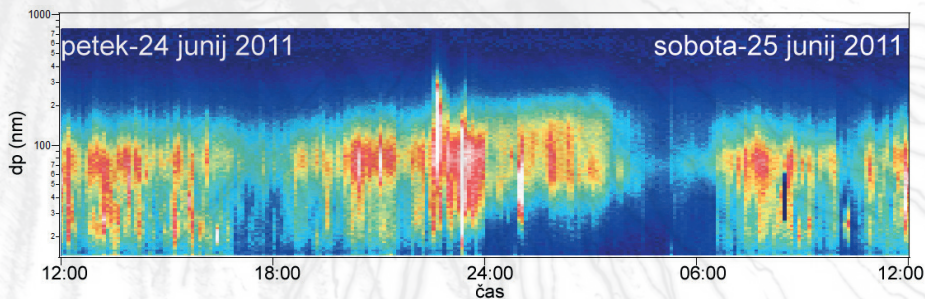
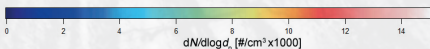
Že po nekaj minutah ognjemet nad Ljubljanskim gradom izgleda takole:



Foto: BoBo



Ob petminutnem **ognjemetu**, s katerim je bilo zaznamovano praznovanje 20. obletnice samostojnosti Slovenije, smo izmerili, da se je v ozračje sprostilo najmanj **1.000.000.000.000.000** nanodelcev oz. toliko, **da bi z njimi dva-in-pol-krat objeli Zemljo, če bi 50 nanometrov velike nanodelce zložili v vrsto drug zraven drugega.**



*Prikaz števila nanodelcev z različnimi velikostmi, izmerjenim pred, med in po ognjemetu, ki se je začel ob 22:21. Na navpični osi je velikost nanodelcev v logaritemski skali, na vodoravni osi čas, številska porazdelitev nanodelcev pa je prikazana z barvno skalo; več kot je bilo delcev, s toplejšo barvo so označeni. Ob šestih zvečer prvega dne je padal dež.*

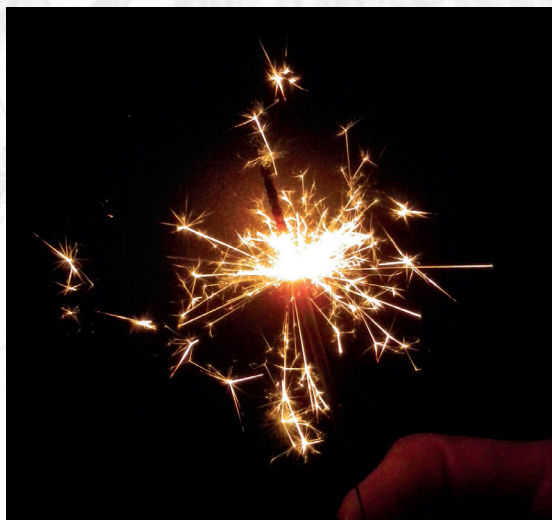
Število nanodelcev in njihovo porazdelitev velikosti smo merili s profesionalnim detektorjem nanodelcev, ki je bil postavljen 300 m stran od središča eksplozije. Ognjemet z raketami **rdeče, oranžne, rumene, bele, modre in zelene** barve je trajal 5 minut. Najprej so po 17 minutah prispeli do merilne postaje večji delci s povprečno velikostjo 150 nm (19.000 delcev/cm<sup>3</sup>), potem pa uro po začetku ognjemeta še manjši nanodelci s povprečno velikostjo 60 nm (24.000 delcev/cm<sup>3</sup>). Meritev je jasno pokazala, da so to bili delci, ki jih je povzročil ognjemet.

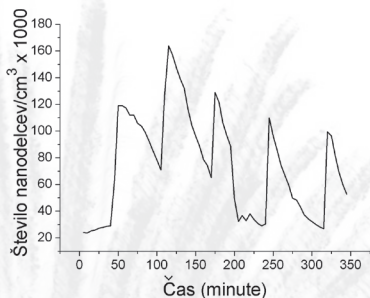
Kemijska analiza teh nanodelcev je pokazala prisotnost **fosforja, kalija, svinca, magnezija, aluminija, silicija, železa, bakra, kalcija, molibdena in natrija**. Ti elementi so običajna sestavina pirotehničnih izdelkov. Na primer, magnezij (Mg) gori z belim plamenom pri zelo visoki temperaturi in se uporablja kot sestavina za žareče zvezde; aluminij (Al) se najpogosteje uporablja v moderni pirotehniko zaradi intenzivnega belega plamena, srebrnih isker ali pa močnega bliska; bakrove (Cu) spojine dajejo modro barvo ob gorenju, svinčeve (Pb) spojine se včasih uporabljajo za vžig in za razpadajoče zvezde, železo (Fe) oziroma železove spojine se uporabljajo za efekt rumenih, pahljačastih isker, kalijeve (K) spojine vsebujejo najpogosteje uporabljeni oksidanti; kalcijeve (Ca) spojine se dodajajo za oranžno rdečo barvo itd..

## ISKRICE, KRESNIČKE, PRSKALICE

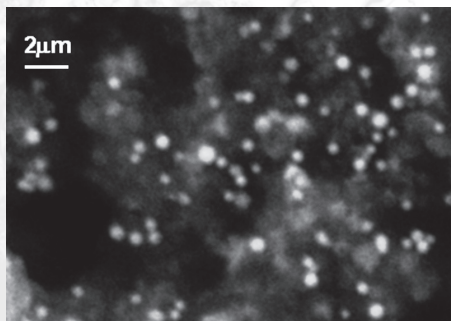
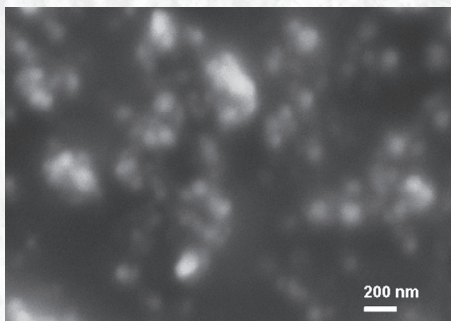
Tudi male otroške radosti pri prižiganju povsod dostopnih iskric niso le nedolžna zabava.

Izmerili smo nad 160.000 nanodelcev iz barijevih, aluminijevih in železovih reakcijskih produktov v cm<sup>3</sup> zraka med prskanjem ene same iskrice. Nanodelci dveh velikostnih redov, pod 20 nanometrov in okrog 100 nanometrov, so vztrajali v ozračju laboratorija več ur.

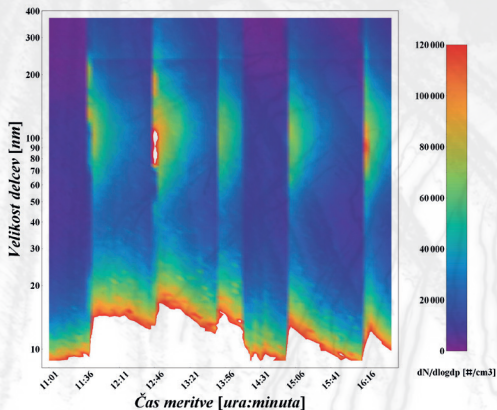




Število vseh nanodelcev z velikostjo med 10 nm in 750 nm v  $\text{cm}^3$  izmerjenega zraka, ki so se sprostili med gorenjem posameznih iskric. V vsakem  $\text{cm}^3$  zraka je bilo več kot 100.000 nanodelcev, ki so ostali v zraku, dokler nismo odprli okno po gorenju 3. iskrice.



Elektronsko-mikroskopski sliki nanodelcev kovinskih oksidov, ki so se sprostili v zrak med gorenjem iskric. Delci vsebujejo barij, železo, aluminij, cink, kalij, natrij, ogljik in kisik. Med temi elementi je najbolj strupen barij, ki je glavna sestavina iskric (37 %).



Večina nanodelcev, ki grejo v ozračje med prasketanjem iskric, je manjših od 20 nanometrov.

Številska porazdelitev nanodelcev v zraku, ki pove, koliko je v  $\text{cm}^3$  zraka delcev z določeno velikostjo, prikazuje nanodelce, ki so se sprostili med zaporednim prižiganjem iskric, ki jih prodajajo tudi v živilskih trgovskih centrih in so dostopne otrokom. Med tretjo in četrto iskrico smo odprli okno.

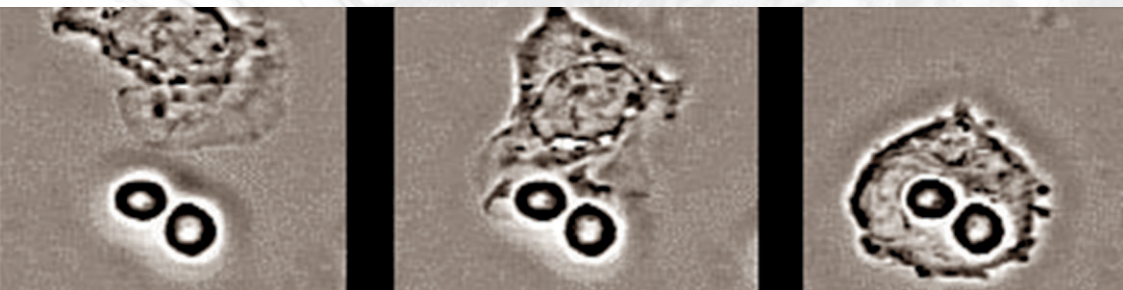
## KAJ SO NANODELCI?

Nanodelci so drobni skupki materiala, ki so manjši od **100 nanometrov = 0.1 mikrometra**. Nanodelci so premajhni, da bi jih videli s prostimi očmi.

V zraku lebdijo, potujejo, trkajo med seboj in z molekulami zraka ter dosežejo vse koticke prostora.

### Nanodelci so kemijsko zelo reaktivni, zato je njihovo vdihavanje zdravju škodljivo.

Ko jih vdihnemo, se deloma izločijo z izdihom, deloma pa prodrejo v krvni obtok. Kri jih raznese po vsem telesu, kopičijo pa se predvsem v organih, ki filtrirajo kri, v jetrih, ledvicah, vranici, itd., kjer povzročajo različne zdravstvene težave. Nekateri nanodelci lahko prodrejo tudi v možgane in vplivajo na živčevje. Pri eksploziji dobijo veliko hitrost vstran od centra eksplozije, kar jih med seboj oddalji in prepreči združevanje. S tem se ohranja njihova velika kemijska reaktivnost.



Makrofag »požira« nanodelce.

Nanodelci imajo zelo majhno maso, zato zlahka lebdijo v zraku, kjer ostanejo tudi po več tednov, dokler se na njih ne nabere dovolj zračne vlage, da se počasi spustijo na tla oz. naberejo na površinah stavb. Ozračje dokončno očisti šele prvi dež, ki spere te nanodelce v zemljo in vodotoke. Lokalno se onesnaženost izboljša tudi z vetrom, a v tem primeru jo samo izvozimo k sosedom.

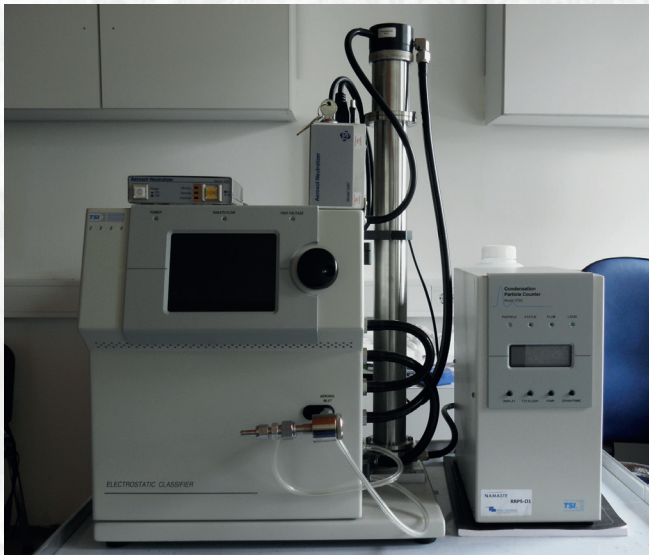
*Nanodelci, ki so približno kroglasti, se v alveolnih področjih pljuč lažje izognejo celicam makrofagov, zato ne povzročajo toliko vnetnih procesov kot nitkasti delci. So pa po velikosti bližji receptorjem celične membrane, zato pljučna celica takega delca ne spozna kot sovražni tujek in ga s procesom endocitoze spusti vase in posledično tudi v krvni obtok.*

## Meritve:

Meritve količine trdnih delcev z velikostjo pod 10 mikronov (PM10) ali 2.5 mikronov (PM2.5) v zraku izvaja Agencija Republike Slovenije za okolje. **Onesnaženosti zraka z nanodelci pa ne nadzoruje nihče, čeprav nanodelci predstavljajo znaten del onesnaženja s trdnimi delci.**

## Priporočene meritve onesnaženosti zraka z nanodelci:

- v mestih, blizu prometnic, v tunelih, na križiščih, v garažnih hišah
- v šolah, vrtcih, bolnišnicah
- v industrijskih objektih in v njihovi bližini
- blizu sežigalnic, toplarn, termoelektrarn
- v kamnolomih, na streliščih in na vojaških poligonih



## PRIMER NAPRAVE ZA MERITEV NANODELCEV V ZRAKU

Razvrščanje nanodelcev po velikosti poteka v cilindričnem kondenzatorju, ki prepušča samo nanodelce z določeno elektronsko mobilnostjo. Enako veliki nanodelci se potem oploščijo z vodno paro ter preštejejo z laserskim sipanjem. S spreminjanjem napetosti na kondenzatorju je mogoče izmeriti delce z velikostjo od 7 nm do 750 nm. Meritev poteka od nekaj minut do nekaj dni, lahko tudi dlje.

## Viri nanodelcev in zakonodaja:

Čeprav so viri trdnih delcev tudi drugi (dizelski motorji, kurišča biomase, industrijski obrati), ognjemeti in druga pirotehnika znatno poslabšujejo kvaliteto zraka.

Sestavina pirotehničnih izdelkov za doseganje svetlobnih efektov so visoko kemijsko aktivni kovinski prahovi, ki pri oksidaciji barvito zažarijo in kot majhni trdni delci kot reakcijski produkti ostanejo v ozračju. Prisotnost teh delcev v zraku ogroža zdravje ljudi, predvsem otrok, ki jih tako radi pripeljemo na ogled ognjemetov oz. jim priredimo lepo, a nezdravo zabavo na domačem vrtu. Neprijeten hrup, ki ga povzroča pirotehnika, je neznatna težava v primerjavi z dolgotrajno onesnaženostjo zraka.

**Veljavna zakonodaja ne nadzoruje in ne omejuje onesnaženosti zraka s trdnimi delci, ki so posledica uporabe pirotehnik.**

Iz javno dostopnih podatkov Agencije RS za okolje je razvidno, da koncentracije trdnih delcev v ozračju vsako leto na prehodu v novo leto večkrat presežejo dovoljeno dnevno mejo onesnaženosti za trdne delce z velikostmi pod 10 mikrometrov PM<sub>10</sub> (50 µg/m<sup>3</sup>), ki jo določa evropska regulativa. Ob tem je potrebno poudariti, da merilne postaje Agencije RS za okolje niso postavljene v ožjih središčih mest, torej so lokalne koncentracije na lokacijah bližje množični uporabi pirotehnik v starih mestnih jedrih še veliko večje.

## Odlomek iz Kazenskega zakonika:

### KAZENSKI ZAKONIK

uradno prečiščeno besedilo  
(KZ-1-UPB2), 32.poglavje

### KAZNIVA DEJANJA ZOPER OKOLJE, PROSTOR IN NARAVNE DOBRINE

Obremenjevanje in uničevanje okolja  
332. člen

[1] Kdor s kršitvijo predpisov:

1) **z izpusti**, emisijami ali vnosi količin **snovi** ali ionizirajočega sevanja **v zrak**, zemljo ali vodo spravi v nevarnost življenje ene ali več oseb ali povzroči nevarnost nastanka hude telesne poškodbe **ali dejanske škode kakovosti zraka**, zemlje ali vode ali živalim ali rastlinam; ...

Zloženko izdaja Laboratorij za raziskave v okolju Univerze v Novi Gorici v okviru projekta NANOFORCE, v katerem preučujemo nanodelce in spodbujamo njihovo varno rabo. Več o projektu je na voljo na povezavi: <http://www.nanoforceproject.eu/>

Uradu RS za kemikalije se zahvaljujemo za koordinacijo aktivnosti pri nastanku in razširjanju zloženke.

Avtorica zloženke: izr.prof.dr. Maja Remškar, Inštitut Jožef Stefan & Center odličnosti Namaste

Meritve nanodelcev sta izvedla: dr. Ivan Iskra (ognjemet) in Marko Đorić, univ.dipl.el. (iskrice)

Kemijska karakterizacija: dr. Gašper Tavčar in dr. Srečo D. Škapin, Inštitut Jožef Stefan

Kontaktne osebi za projekt Nanoforce: prof.dr. Urška Lavrenčič Štangar in dr. Jana Laganis, Univerza v Novi Gorici

## Dodatne informacije:

1. Knjižica NANODELCI IN NANOVARNOST, ki je javno dostopna na: [http://www.kemijskovaren.si/files/nano\\_knjiga.pdf](http://www.kemijskovaren.si/files/nano_knjiga.pdf)
2. Pravilnik za izvajanje ognjemetov, Uradni list RS, št. 104/2008
3. DIREKTIVA 2013/29/EU EVROPSKEGA PARLAMENTA IN SVETA o harmonizaciji zakonodaj držav članic v zvezi z dostopnostjo pirotehničnih izdelkov na trgu (prenovitev) , Uradni list Evropske unije, 28.6.2013
4. Zakon o eksplozivih in pirotehničnih izdelkih /ZEPI/ Uradni list RS, št. 35/2008
5. P R A V I L N I K o spremembah Pravilnika o tehničnih in varnostnih zahtevah, obrazcih ter evidencah za eksplozive in pirotehnične izdelke, Uradni list RS, št. 88/2013
6. P R A V I L N I K o tehničnih in varnostnih zahtevah, obrazcih ter evidencah za eksplozive in pirotehnične izdelke, Uradni list RS, št. 105/2008

Projekt se izvaja v okviru programa SREDNJA EVROPA, ki ga sofinancira ESRR



**CENTRAL  
EUROPE**  
COOPERATING FOR SUCCESS.



EUROPEAN UNION  
EUROPEAN REGIONAL  
DEVELOPMENT FUND

**nano  
FORCE**