

GIMNAZIJA PTUJ

Aljaž Ramot

**Meritve koncentracij in velikosti nanodelcev
na Gimnaziji Ptuj**

Raziskovalna naloga

Ptuj, 2012

GIMNAZIJA PTUJ

Aljaž Ramot

**Meritve koncentracij in velikosti nanodelcev
na Gimnaziji Ptuj**

Raziskovalna naloga

Mentor: Boris Zmazek

Ptuj, 2012

Zahvala

Zahvaljujem se prof. dr. Janji Vaupotič iz Inštituta J. Stefan, Odseka za znanosti o okolju, ki mi je posodila instrument za merjenje nanodelcev SPMS, brez katerega ne bi mogel izvesti eksperimentalnega dela.

Zahvaljujem se tudi Mateji Bezek, mladi raziskovalki na Inštitutu J. Stefan, ki me je podučila rokovati z instrumentom.

Za uspešno dokončanje raziskovalne naloge se iskreno zahvaljujem profesorju dr. Borisu Zmazku, ki mi je pomagal s svojimi izkušnjami in z nasveti pri samem pisanju naloge.

Zahvaljujem se tudi profesorici Romani Zelenjak za lektoriranje angleškega besedila.

POVZETEK

V nalogi sem ugotavljal prisotnost nanodelcev v prostorih Ptujске gimnazije. Meritve sem opravljal v prostorih, ki bi lahko bili vir onesnaževanja z nanodelci, kot je: (i) prostor s fotokopirnim strojem; (ii) hodnik v času odmora; (iii) kemijski laboratorij v času eksperimentalnih vaj. Primerjalno sem meril koncentracijo in velikost delcev še v dveh učilnicah v kletnih prostorih: (i) učilnica na severni strani in (ii) učilnica na južni strani. Izmeril sem tudi koncentracijo in velikost delcev v zunanjem zraku tik ob šoli. Meritve sem opravljal s pomočjo merilnika nanodelcev GRIMM SMPS (*Sequential Mobility Particle Sizer, Series 5.400*), za detekcijo delcev velikosti med 5,5 in 350,4 nm. Ugotovil sem, da so v času meritev na šoli koncentracije nanodelcev bile med 4000 in 6000 delcev cm^{-3} . Velikost teh delcev je bila v fotokopirnici in na hodniku manjša (36 do 46 nm), v učilnicah pa večja (61 do 67 nm), manjši delci so bili tudi v zunanjem zraku (34 nm). Največje koncentracije in najmanjše delce sem izmeril pri kemijskih poskusih. Maksimalne izmerjene koncentracije delcev so bile od 54.000 do 380.000 delcev cm^{-3} . Povprečne velikosti teh delcev pa so bile pri več poskusih le med 9 in 13 nm.

Meritve nanodelcev so pokazale, da je koncentracija teh delcev v šoli manjša kot v zunanjem zraku. Opazna razlika v koncentraciji in velikosti delcev je v prostorih v času pouka, ko je manjše gibanje po razredih in hodnikih, večje koncentracije pa je zaznati v času odmora. Pričakovano so bile izmerjene velike koncentracije delcev ob eksperimentiranju v laboratoriju, izmeril pa sem občutno manjše delce, ki so lahko zelo nevarni.

ABSTRACT

The aim of my research was to determine the presence of nanoparticles in the area of Gimnazija Ptuj. For this reason I measured concentration and size of nanoparticles in places where there could be a source of nanoparticles, i.e. (i) the room with the fotocopier; (ii) the hallway during school breaks; (iii) the chemical laboratory during experimental procedures. I also measured the concentration and size of the particles in two classrooms in the basement: (i) a classroom in the north and (ii) a classroom in the south. In the area around school measurements of the concentration and size of the particles in the air were also made. The measurements were taken by a nanoparticle counter instrument GRIMM SMPS (*Sequential Mobility Particle Sizer, Series 5.400*), for the detection of particles ranging from 5.5 to 350.4 nm. I found out that the concentration of nanoparticles in the school building was between 4000 and 6000 particles cm^{-3} . The size of the particles in the photocopier room was smaller (36 to 46 nm), but larger in the classrooms (61 to 67 nm), they were also smaller in the air outside (34 nm). I measured the largest and smallest particles during the times of chemical experiments. The maximum measured concentrations were 54.000 to 380.000 particles cm^{-3} . The average sizes of these particles during experiments were only 9 to 13 nm.

The results of the measurements showed that the concentration of these particles is smaller in the school building itself than in the area around it. There was a noticeable difference in the concentration and size in the classrooms during school lessons, when there is less movement in the classrooms and hallways, and the concentrations were much larger during the school breaks. Concentrations of the particles were greater during the times of chemical experiments, which were also according to expectations, although I measured noticeably smaller particles that can be very dangerous.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD.....	1
2	TEORETIČNE OSNOVE.....	3
2.1.	NANODELCI.....	3
2.1.1.	Velikost nanodelcev.....	3
2.1.2.	Oblika nanodelca.....	4
2.1.3.	Kemijske lastnosti nanodelcev.....	5
2.1.4.	Gibanje nanodelcev.....	7
2.2.	NANOTEHNOLOGIJA.....	8
2.3.	NANOMATERIALI.....	10
2.3.1.	Utopija ali resničnost.....	11
	NANODELCI SO POVSOD.....	13
2.4.	VPLIV NA ZDRAVJE.....	15
2.5.	MERITVE NANODELCEV.....	17
2.6.	NAMEN NALOGE.....	19
3	EKSPERIMENTALNI DEL.....	21
3.1.	UČILNICE IN OSTALI PROSTORI NA ŠOLI.....	21
3.2.	KEMIJSKI EKSPERIMENTI.....	21
3.3.	MERILNI INSTRUMENT.....	22
3.4.	MERITVE.....	23
4	REZULTATI IN DISKUSIJA.....	25
4.1.	UČILNICE IN OSTALI PROSTORI.....	25
4.2.	KEMIJSKI EKSPERIMENTI.....	31
5	ZAKLJUČEK.....	39
6	LITERATURA.....	41

KAZALO SLIK

Slika 1. Delci s svojo velikostjo na nanometerski skali.	3
Slika 2. Ogljikovi atomi povezani v molekuli C ₆₀ (levo) in ogljikovi atomi povezani v nanocevko (desno).....	4
Slika 3. Lotosov efekt na nanopovršini. Kaplice vode se ne oprime podlage, nase pa veže delce umazanije in tako čistijo površino.	6
Slika 4. Dve različici naprave DMA (levo) manjša je namenjena merjenju manjših delcev, večja pa za merjenje večjih delcev. Na sliki desno je naprava CPC.....	22
Slika 5. Napravi CPC in DMA med merjenjem v laboratoriju.	23
Slika 6. Graf prikazuje skupno koncentracijo nanodelcev C _N (delcev cm ⁻³) in njihovo velikost <i>d</i> (nm) v času meritev v prostoru s kopirnim strojem (rdeča krivulja predstavlja koncentracijo C _N , modra pa velikost <i>d</i>).....	26
Slika 7. Graf prikazuje skupno koncentracijo nanodelcev C _N (delcev cm ⁻³) in njihovo velikost <i>d</i> (nm) v času meritev na hodniku šole (rdeča krivulja predstavlja koncentracijo C _N , modra pa velikost <i>d</i>).....	27
Slika 8. Graf prikazuje skupno koncentracijo nanodelcev C _N (delcev cm ⁻³) in njihovo velikost <i>d</i> (nm) v času meritev v učilnici 6 (rdeča krivulja predstavlja koncentracijo C _N , modra pa velikost <i>d</i>).....	28
Slika 9. Graf prikazuje skupno koncentracijo nanodelcev C _N (delcev cm ⁻³) in njihovo velikost <i>d</i> (nm) v času meritev v zunanjem zraku pred učilnico 3 (rdeča krivulja predstavlja koncentracijo C _N , modra pa velikost <i>d</i>).....	29
Slika 10. Graf prikazuje skupno koncentracijo nanodelcev C _N (delcev cm ⁻³) in njihovo velikost <i>d</i> (nm) v času meritev v učilnici 3 (rdeča krivulja predstavlja koncentracijo C _N , modra pa velikost <i>d</i>).....	30
Slika 11. Graf prikazuje skupno koncentracijo nanodelcev C _N (delcev cm ⁻³) in njihovo velikost <i>d</i> (nm) v času meritev, ki je potekala v noči med 6.3. in 7.3.2012 v kemijskem laboratoriju (rdeča krivulja predstavlja koncentracijo C _N , modra pa velikost <i>d</i>).....	31
Slika 12. Meritve velikosti in števila nanodelcev ob gorenju sveče.	32
Slika 13. Meritve velikosti in števila nanodelcev ob gorenju PVC.	33
Slika 14. Merjenje nanodelcev ob gorenju plinskega gorilnika.	34
Slika 15. Meritve velikosti in števila nanodelcev ob segrevanju KMnO ₄	35
Slika 16. Meritve velikosti in števila nanodelcev ob gorenju rdečega fosforja.	35
Slika 17. Merjenje velikosti in števila delcev ob gorenju K ₂ Cr ₂ O ₇	36

1 Uvod

Zadnjih nekaj let lahko pogosto slišimo besede nanotehnologija, nanodelci, nanomaterial, ter z drugimi besedami povezana beseda *nano*. Na Institutu J. Stefan v Ljubljani so leta 2004 celo ustanovili mednarodno podiplomsko šolo, ki je usmerjena predvsem v nanoznanosti in nanotehnologijo¹. Nanotehnologija je postala izziv za mnoge raziskovalce, ki se zavedajo nujnosti stalnega napredka tehnologij. S tem izboljšujejo tehnologije in popravljajo napake iz preteklosti. Nove tehnologije prinašajo nove izdelke, nove možnosti, nova spoznanja, nov razvoj. Razvoj nanotehnologij pa je poleg mnogih izdelkov in neslutelih možnosti razvoja s seboj prinesel tudi zavedanje o obstoju nanodelcev v našem okolju. Ti nevidni delci so lahko v nekaterih primerih zelo nevarni, spreminjajo dožemanje našega okolja, najbrž se bodo spremenile naše navade, vplivali bodo na razvoj novih tehnologij in sigurno doprinesli k izboljšanju našega življenja, predvsem zdravega okolja, prehrane, kozmetike, športne aktivnosti in podobno.² Zavedanje o prisotnosti nanodelcev lahko primerjamo s časom, ko se je človek začel zavedati obstoja bakterij in virusov, tudi ti so močno vplivali na življenje ljudi. Tako je sežiganje odpadkov, kot možnost reševanja energijskega problema in problema odpadkov, lahko vprašljiva, če se zavedamo, da sežig močno onesnaži okolje z ogljikovimi nanodelci. Tako tudi uporaba dizelskih motorjev ali pa uporaba nanodelcev v različnih tehnologijah lahko postaneta vprašljiva zaradi nevarnosti sproščanja nanodelcev v okolje in njihovega škodljivega vpliva na zdravje. Tudi zelo priljubljeni slavnostni ognjemeti so vzrok za veliko onesnaženje z nanodelci. Pri eksploziji se plini in nanodelci z veliko hitrostjo širijo iz centra eksplozije, zato se ne morejo združevati v večje delce. Če ni dežja, onesnaženost ozračja zaradi ognjemeta traja lahko tudi več tednov.³ Pri dihanju nanodelci skupaj z zrakom zaidejo globoko v pljuča. Medtem ko se večji delci ustavijo že v nosu, žrelu in bronhijih, manjši prodrejo globoko v pljuča, od koder lahko pridejo direktno v krvni obtok, ki jih potem raznese po vsem telesu. V organizmu se kopičijo predvsem v notranjih organih, nekateri pa lahko zaidejo tudi v možgane, kjer vplivajo na komunikacijo med živčnimi celicami. Velike gostote nanodelcev lahko vplivajo tudi na absorpcijo sončne svetlobe in segrevanje v

višjih plasteh Zemljine atmosfere. Nanodelci so lahko različno veliki, manjši kot so, večje je tveganje. Na tveganje za zdravje pa zraven velikosti vpliva še kemijska sestava.

Nanotehnologija je torej izziv današnje dobe, gre za obvladovanje nanodelcev, ki jih proizvajamo namerno z novimi tehnologijami za uporabo v novih materialih, za tiste, ki so naravni produkt narave, in tiste, ki nastajajo pri vsakodnevnih dejavnostih človeka. Kljub vse večjemu številu meritev nanodelcev in raziskav vpliva nanodelcev na zdravje², so te raziskave še vedno na začetku. To je tudi razlog, da Evropa še ni sprejela zakonodaje in standardov s tega področju. Tudi v Sloveniji so se nekatere skupine raziskovalcev začele ukvarjati s to problematiko. Prvo napravo za meritve nanodelcev v Sloveniji so imeli na Institutu J. Stefan na Odseku za znanosti o okolju, z nanodelci pa se ukvarjajo tudi na Odseku za fiziko trdne snovi.

Ker sem se v svoji nalogi ukvarjal prav z meritvami nanodelcev, bom v teoretičnem delu predstavil podrobneje to problematiko.

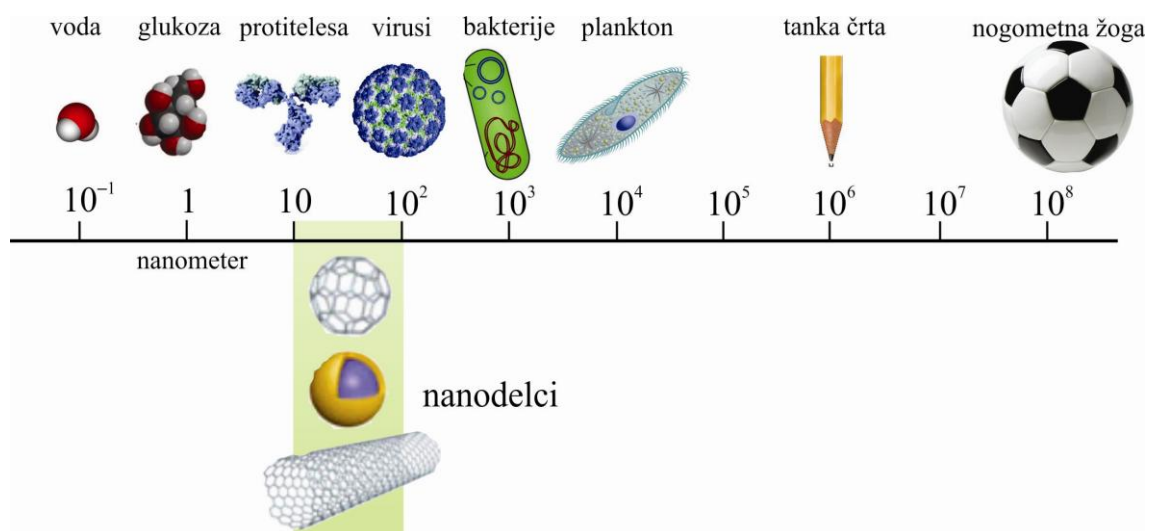
2 Teoretične osnove

2.1. Nanodelci

Predpona *nano* izhaja iz grške besede nanos (νανος), kar pomeni "škrat". Predpona *nano* je sicer predpona mednarodnega sistema enot, ki označuje desetiško potenco 10^{-9} in je v uporabi od leta 1960. Primer uporabe te enote je pri merjenju časa, nanosekunda (1 ns) ali pri merjenju razdalj, nanometer (1 nm).

2.1.1. Velikost nanodelcev

Nanodelec različni avtorji pojmujejo različno, različno tudi glede na samo uporabo teh delcev⁴. Največkrat se nanodelec uporablja za delce oz skupke materiala, ki so vsaj v eni dimenziji manjši od 100 nanometrov (nm). Nanometer je velikost, ali bolje rečeno, majhnost, ki si je ne znamo predstavljati. En meter sestavlja milijarda nanometrov. Tudi število milijarda si težko predstavljamo. Kako se spreminja velikost nekaterih predmetov in delcev na nanometerski skali nam kaže slika 1.

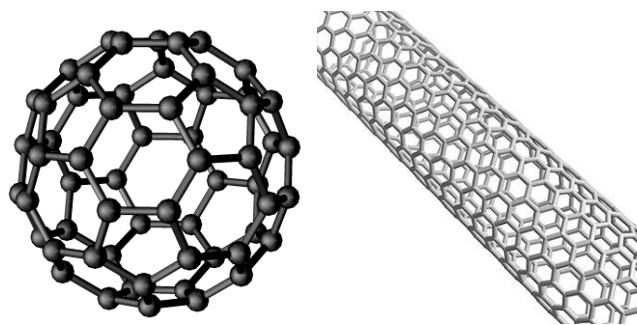


Slika 1. Delci s svojo velikostjo na nanometerski skali.

Če je naš korak dolg en meter, bi po milijardi korakov 2,6 krat prepotoval razdaljo med Zemljo in Luno. Velikost nanodelcev si lahko pomagamo ustvariti tudi s primerjavo nogometne žoge in Zemlje. V enakem razmerju sta namreč molekula ogljika (C_{60}) in nogometna žoga. Prav drobna kroglasta molekula ogljika (C_{60}), zgrajena iz 60 atomov ogljika, celo manjša od enega nanometra, je bila ena od prvih znanilk nanotehnologije (levo na sliki 2).

2.1.2. Oblika nanodelca

Oblika delca natančno določa njegovo površino in na tej površini so proste kemijske vezi ali pa električni naboj, ki vpliva na kemijske in fizikalne lastnosti delca. Čeprav se intuitivno najbolj bojimo najmanjših delcev, ki so le nekakšen tridimenzionalen skupek atomov, je vse več poročil, da so igličasti in nitkasti nanodelci lahko prav tako kot azbestna vlakna povzročitelji vnetij in zasluzenja pljuč ter vodijo do enakih bolezenskih znakov. Vlakno ali nitka je delec z dolžino, ki presega tri premere v prečni smeri. V družino nitkastih nanodelcev sodijo tudi popularne ogljikove nanocevke (desno na sliki 2), ki so poleg molekul ogljika (C_{60}) povzročile silovit razmah nanotehnologije.



Slika 2. Ogljikovi atomi povezani v molekuli C_{60} (levo) in ogljikovi atomi povezani v nanocevko (desno)⁵.

Oblika nanodelca tudi določa njegov aerodinamični premer, kar je pomembno za razumevanje uhajanja nanodelcev v ozračje in tudi za potovanje delcev po zraku ter telesnih tekočinah.

- a) Okrogli delci - so podvrženi hitremu gibanju v plinu ali tekočini. Lahko prehajajo skozi luknjice filtrov in trkajo med seboj ter z molekulami medija, v katerem se gibljejo.

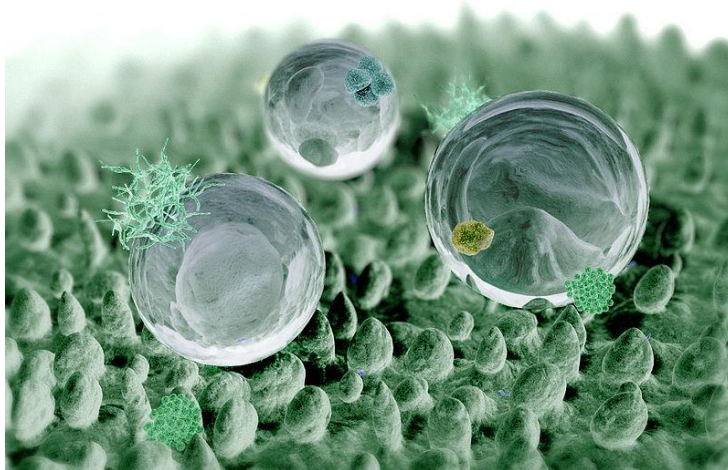
- b) Nitkasti delci - imajo običajno večjo maso, zato so bolj podvrženi sedimentaciji, lažje jih je prestreči s filtri, hkrati pa se lažje srečajo med seboj in se pri trčenju združijo. Njihova togost ali gibkost vplivata na to, ali se bodo nitke med seboj združile v snope, ki se lahko spet razpršijo, ali pa v kroglaste skupke, v katerih se nitke ukrivijo in se težko spet osvobodijo. Na te procese seveda močno vplivata tudi kemijska sestava delcev in električna nabitost oziroma polarnost delcev.
- c) Tanki lističi - se običajno gubajo ali zvijajo pod vplivom trkov okoliških molekul. Tudi v idealno brezračnem prostoru so dvodimenzionalne snovi energijsko nestabilne, zato pride do neenakomerne razporeditve naboja, kar poveča sposobnost vezave tankih lističev na podlago, tudi na sluzi in druge telesne tekočine. Ko se lističi enkrat prilepijo na podlago, jih je zelo težko odstraniti.

2.1.3. Kemijske lastnosti nanodelcev

Od kemijske sestave nanodelcev je odvisna topnost v vodi in bioloških tekočinah. Snovi, ki so hidrofilne se z vodo dobro vežejo, nasprotno, slabše topne snovi so hidrofobne. Ko delčki snovi postajajo vse manjši, oba pojma nista več definirana, podobno velja tudi za ostale lastnosti. Stopnja hidrofilitnosti je močno odvisna od ukrivljenosti površine nanodelca, torej od njegove velikosti². Majhni okrogli nanodelci lahko celo ustvarijo t. i. lotos efekt, ko voda sploh ne omoči več delca in ostane kot okrogla kapljica na podlagi ali pa zdrsne s podlage (slika 3). Takšne podlage uporabljamo za samočistilne prevleke na oknih, tekstilu ipd. Če taki delci zaidejo v telo, jih le to težko izloči z razgradnjo. Kovinski nanodelci so običajno topni in se počasi raztapljajo v ione, ti pa lahko povzročajo za organizem nezaželene kemijske reakcije. Kovinski oksidi so kemijsko stabilnejši, a tisti, ki vsebujejo prehodne kovine, še vedno lahko povzročajo kemijske reakcije, zaradi večjega števila možnih oksidacijskih stanj kovinskega iona.

Nevarnost nanodelcev narašča z manjšanjem delcev, ker s tem narašča njegova površina glede na njegov volumen. Delec zlata, ki v premeru meri 8 nanometrov, ima 7 odstotkov vseh atomov na površini. Ti atomi nimajo vseh sosedov, zato so kemijsko aktivni. Delec, ki ga zmanjšamo na velikost enega nanometra, pa ima kar 58 odstotkov

vseh atomov na površini, kemijska aktivnost postane zelo velika, kar je pozitivno za določene kemijske reakcije in lahko negativno, če so te kemijske reakcije nezaželene.²



Slika 3. Lotosov efekt na nanopovršini. Kapljice vode se ne oprimejo podlage, nase pa vežejo delce umazanije in tako čistijo površino⁶.

Koordinacija atomov s sosednjimi atomi je motena za toliko atomov, da to že povzroči spremembe tudi v energijski strukturi elektronov in posledično spremenjene optične in električne lastnosti. Nastopijo t. i. kvantni pojavi, ki so privlačni, ker z njimi lahko izboljšamo lastnosti materialov. Povečana kemijska aktivnost majhnih delcev prispeva k njihovemu medsebojnemu združevanju v večje skupke, aglomerate. Kot taki hitro preveč zrastejo, specifične kemijske in fizikalne lastnosti, ki jih odlikujejo pri uporabi kot nanomaterial, se pri tem izgubijo. Zato skušajo proizvajalci površino nanodelcev namensko oksidirati ali nanesti nanjo tanko prevleko iz druge spojine ter tako preprečiti medsebojno združevanje nanodelcev. Prav zaradi te preprečene aglomeracije se namenski nanodelci razlikujejo od nenamenskih, ki nastajajo pri reakcijah kot nezaželen produkt, na primer pri izgorevanju dizelskih goriv, pri kajenju, brušenju, mletju, spajkanju itd. Niso pa ti nenamenski nanodelci nič bolj varni, če ohranijo svojo velikost bodisi zaradi spontane pasivizacije* z oksidacijo ali zaradi nepravilnih oblik, ki preprečujejo, da bi se posamezni delci res trdno sprijeli skupaj. Celo zlato, ki je v naši

* Pasivizacija je fizikalni ali kemijski postopek zaščite snovi pred zunanjimi vplivi. Snov postane manj reaktivna in odporna na okoljske dejavnike, kot so zrak ali voda. Predvsem gre za zaščito kovin pred korozijo.

miselnosti simbol obstojnosti, postane močno reaktivno, ko so delci veliki le nekaj nanometrov, ter ga zato lahko uporabljamo kot katalizator.

2.1.4. Gibanje nanodelcev

Nanodelci se zaradi povečane kemijske aktivnosti med seboj radi združujejo v večje delce, a za združitev je potreben trk med njimi. Na hitrost gibanja delcev vpliva temperatura in velikost oziroma masa delcev. Deset nanometrov velik delec ogljika ima pri sobni temperature hitrost kar 11 metrov na sekundo². A ker je v prostoru več delcev, se ti med seboj zaletavajo in zato stalno spreminjal smer potovanja. Kljub trkom v določenem času delec doseže vsa mesta v prostoru, če spotoma ne naleti na primeren objekt, s katerim se sprime, ali ga ujame ne svoji površini⁷.

Doma lahko vidimo, da so na nekateri predmeti bolj prašni kot drugi. Prah je sestavljen iz različnih delcev, tako po kemijski sestavi kot po velikosti in obliki. Zaslon računalnika ali televizorja zaradi električne sile ujame delce z nasprotnim nabojem, kot ga ima ekran. Zavese in drugi kosmati objekti delce ujamejo mehansko. Lovilci prahu v obliki kosmatih omel izkoriščajo oba pojava: sintetična vlakna so električno nabita, hkrati pa je med drobnimi vlakni veliko prostora, kamor se lahko delci mehansko ujamejo².

Delci so zelo živahni tudi v tekočinah. Tudi tam njihovo hitrost določa temperatura, smer pa v veliki meri tok tekočine, dokler so delci dovolj veliki. Čim manjši je delec, manj sledi toku tekočine, saj ima preveliko termično energijo, ki ga sili v gibanje. Ker je tekočina zelo dovzetna za difuzijo vzdolž drobnih kanalčkov, ki ji pravimo kapilarni dvig, se skupaj z njo v tesne kanale spravijo tudi nanodelci.

Zaradi majhnosti nanodelci torej zlahka letijo po zraku, kot prah, ki ga lahko opazujemo v stanovanju, ki je obsijano s soncem, le da nanodelcev, ki so premajhni, ne moremo videti, so pa še hitrejši in zlahka dosežejo vse kote prostora in seveda tudi naša pljuča. Prodirajo lahko tudi skozi kožo, še posebej, če jih vanjo vtiramo in jim s tem damo potrebno kinetično energijo za penetracijo ali pa bosi stopamo po njih. Ugodne vnosne poti so tudi poškodbe na koži.

2.2. Nanotehnologija

Nanotehnologija je znanost, ki načrtuje in dela z delci z velikostjo od 1 do 100 nm. Gre za kreiranje koristnih funkcionalnih materialov, naprav in sistemov. Gre za upravljanje z materijo na atomskem in molekularnem nivoju in z izkoriščanjem novih fenomenov v nanodimenzijah. Nanotehnologija predstavlja proizvodnjo materialov in naprav, ki so tako majhni, da ne more biti nič manjšega. Gre za nov pristop k razumevanju, obvladovanju in manipuliranju s strukturami na nanometerski ravni. Čeprav se v naravi nanostrukturni materiali že dolgo znani, je sodobna tehnologija stara le nekaj let. Tako je poznano super trdno lepilo nekaterih školjk sestavljeno iz nanodelcev apnenca⁸.

Nanotehnologija se pojavlja na vseh področjih trenutno obstoječe industrije saj nam omogoča izdelavo manjših, lažjih, močnejših, hitrejših, predvsem pa učinkovitejših materialov, sistemov in komponent, ter nam s tem ponuja rešitve za odpravo številnih aktualnih problemov.

Koncept nanotehnologije se pripisuje Richardu Feynmanu, Nobelovemu nagrajencu, ki ga je omenil leta 1959 v enem izmed svojih predavanj in s tem nakazal na možnosti operiranja s posameznimi atomi. Prvi pa je izraz nanotehnologija leta 1974 uporabil profesor na univerzi v Tokiu, Norio Taniguchi, ki jo je definiral kot proizvodno tehnologijo, s katero dosežemo izredno natančnost in ultra majhne dimenzije. Za popularizacijo nanotehnologije gre zahvala Ericu K. Drexlerju, ki je prvi definiral princip manipulacije atoma z atomom, s kontrolo strukture snovi na molekularnem nivoju⁹. Od takrat je minil komaj 30 let in nanotehnologija je v popolnem razcvetu.

Danes praktično ni veje industrije, ki ne bi posegala po nanomaterialih ali pa, ki svojega uspešnega razvoja ne bi poskušala uveljavljati prav z nanomateriali. Takšna močna industrijska panoga je prav gotovo avtomobilska industrija. Trend avtomobilske industrije je varnost, varčnost in udobnost. Količina materiala pa se nadomešča s kvaliteto materiala. V konceptnih izdelavah je že veliko prototipov, ki nam bodo pomagali pri vožnji in jo naredile varnejšo. Tako lahko pričakujemo številne sisteme, ki se bodo uspeli ogniti neprijetnim ali celo nevarnim situacijam brez našega posredovanja tako kot je to potrebno danes. Vetrobranska stekla bodo premazana s posebnimi nanopremazi, ki bodo odporni proti praskam a zaradi majhnosti nanodelcev svetlobe ne bodo razpršili. Vetrobransko steklo bo sposobno tudi regulirati pretok svetlobe, s tem da bo včasih bolj drugič manj odbijalo sončno svetlo in tako klimatski napravi pomagalo

hladiti oz. segrevati naš avtomobil, to pa bi, ne le v avtomobilu ampak tudi drugje, v pisarnah, bivalnih prostorih zelo zmanjšalo porabo energije. Energijo pa bi nam lahko zagotavljali premazi sami, in sicer tako, da bi delovali kot sončna celica in bi na parkirišču ali pa kar med vožnjo polnili avtomobilske baterije.¹⁰

Pridelava hrane je za človeštvo gotovo najpomembnejša dejavnost, zato je nanotehnologija toliko pomembnejša tako zaradi pozitivnih obetov za lažjo pridelavo bolj kvalitetne hrane kot tudi zaradi zagotavljanja varne uporabe nanomaterialov v prehranski verigi. Nanohrana je beseda, s katero označujemo hrano, ki je bila pridelana, predelana ali pakirana s pomočjo nanotehnologije ali v katero so primešani nanomateriali. Takši nanomateriali so na primer železo, cink ali nanokapsule, ki vsebujejo koencim Q10 ali omega-3, nanomateriali pa se že veliko uporabljajo za zaščito rastlin v pesticidih in herbicidih. Nanohrana ni več stvar znanstvene fantastike, ampak je že na prodajnih policah, ne da bi bilo na izdelkih sploh označeno, da vsebujejo nanomaterialne, zato je praktično nemogoče oceniti, koliko takih izdelkov je že na tržišču. Po nekaterih ocenah je bilo leta 2007 na tržišču od 150 do 600 vrst nanohrane in od 400 do 500 embalaž za hrano². Tako se že nekaj časa v proizvodnji hrane uporablja nanosrebro, ki ima antibakterijske učinke v embalaži za hrano, v hladilnikih, lončkih za otroško hrano in čaj, kuhinjski posodi. Nanodelci silicijevega dioksida v polimernih kompozitih povečajo njihovo gostoto in preprečijo prepustnost plastike za kisik ter tako podaljšajo obstojnost hrane. Nanokroglice škroba dodajajo lepilo za embalažo. Nanodelci železa so zaradi povečane reaktivnosti in biološke koristnosti dodani visokoenergijskim pijačam. Da jabolka ne izgubijo vlage in tako dalj časa ohranijo sočnost in obliko jih povoskajo. Nanotehnologi so razvili užitne nanoprevleke z debelino komaj 5 nm, ki so povsem prosojne za človeško oko. Te prevleke se lahko nanašajo na meso, sire, sadje in zelenjavo, da se prepreči izguba vlage in zmanjša vpliv ozračja. Te prevleke so tudi nosilke barv, okusa, vsebujejo antioksidante, encime in podaljšajo življenjsko dobo izdelka tudi potem, ko je bila vidna embalaža odprta. Znane so tudi antibakterijske nanoprevleke, ki jih je možno nanesti direktno na pekarske izdelke in so trenutno v fazi testiranja pri proizvajalcih².

Poleg načrtnega dodajanja nanodelcev se v prehrani lahko znajdejo delci, ki nastanejo ob obrabi orodij. Mletje, rezanje, stiskanje, uporaba posod, iz katerih se izločajo drobni delci materiala, sušenje v dimu in pri visoki temperaturi so le nekateri postopki, pri katerih pride do vstopa nanodelcev v živilo. Povsem vsakdanje brušenje noža, preden

začnemo rezati salamo, proizvede veliko količino nanodelcev v ozračju ter kontaminira nož in salamo. Rezanje s škarjami, sekljanje in mletje, strganje itd. Tudi vsi premikajoči se deli gospodinjskih strojčkov, sesalnikov, sušilnikov za lase itd. prispevajo svoj delež k onesnaženosti ozračja in posredno tudi hrane. Nekatere nanodelce tako tudi jemo, a ti dokaj hitro pridejo v stik s slino in želodčno sluznico ter jih telo praviloma lažje izloči kot tiste, ki se z vdihavanjem nabirajo v pljučih in niso biološko razgradljivi. Vedno pa obstaja možnost, da ti zaužiti delci pridejo v krvni obtok in jih potem raznese po vsem telesu. Nabirajo se predvsem v bezgavkah².

2.3. Nanomateriali

Nanomateriali so sestavljeni iz nanodelcev, to so strukture velike od 1 pa do 100 nanometrov. Uporaba teh delcev vsekakor ni nekaj novega saj so jih v keramiki, nevede, uporabljali že stari Rimljani in Kitajci. Tudi pred časom zelo popularne kasete so sestavljene iz magnetnih nanodelcev. Večina teh nanodelcev se je v industriji uporabljala nevede in zato se je izraz nanodelci pričel uporabljati šele po letu 1981. Nanomaterial lahko postane praktično vsak material, s tem pa se lahko spremenijo tudi njegove lastnosti tako kemijske kot tudi fizikalne. Sprememba lastnosti se zgodi zaradi tega, ker so pri nanodelcih skoraj vsi atomi oz. molekule na površini, s tem so izpostavljeni drugačnemu okolju kot sicer, kar vpliva na njihove lastnosti. Materiali lahko postanejo zelo reaktivni, trdni, itd.

Nanodelce lahko dobimo na različne načine, z izkopavanjem in čiščenjem naravnih nanomaterialov (glina), postopkom sol-gel sinteza, postopkom kemijskega naparevanja, uporabo plazme, koprecipitacijo, itd. Način, ki ga bomo izbrali za pridobivanje nanodelcev pa je odvisen tudi od tega, katere nanodelce imamo namen pridobiti in za kakšno uporabo bodo določeni nanomateriali.

Glavna orodja nanotehnologije in nekatere možnosti njihove uporabe so nanopore (nosilci zdravil oziroma aktivnih snovi v reverzibilnih baterijah), nanocevke (nova generacija maziv, ojačitvena vlakna), nanodelci (samočistilni premazi, zaščitni premazi, barve), nanokristali (keramika, prikazalniki na poljsko emisijo), nanovlakna (tekstil, neprebojne tkanine), nanovrste (senzorika, sončne celice), nanoelektronika (tranzistor na tunelski efekt), nanotipala (mikroskopija, biosenzorika), nanoročice (detekcija

razstreliv), nanolupine (prenos zdravilnih učinkovin), nanotrakovi (električni prevodniki), nanokompoziti (samomazalne prevleke, sončne celice, umetne mišice) itd. Razvoj novih orodij in njihove uporabe je silovit. Vedno več je tudi predvidevanj, da se bodo v prihodnosti pojavile povsem drugačne rešitve v nanoelektroniki, shranjevanju informacij, pridobivanju energije na osnovi bioloških procesov itd. Ob misli na nanosvet človek po navadi pomisli na razne fikcije, ki smo jih vajene iz TV ekranov, a morda bodo vsakdanje reči, kot so mobilni telefoni, televizorji, računalniki, avdio naprave, itn. ostale popolnoma nespremenjene. A vendar, kot nas učijo izkušnje videz velikokrat vara, te naprave bodo namreč vsebovale več nanoelementov kot si jih človek lahko zamisli. Zunanjo integriteto in princip delovanja bodo morebiti ohranile, a vse ostalo bo le en velik skupek nanoelementov, ki bodo ustvarjali prav poseben nanosvet, samostojno enoto, ki ji ne bo para in bo gladko prekašala vse predhodnike tako z kvaliteto kot ceno¹⁰.

2.3.1. Utopija ali resničnost

Nanotehnologija je kot vsako novo upanje prinesla tudi veliko sanj. Nekatere od teh so uresničljive, druge pa ob upoštevanju osnovnih znanj fizike in kemije precej utopične. Nanoroboti, ki bi jih preprosto vbrizgali v kri in bi sami našli obolela mesta, postavili diagnozo, pozdravili okvaro in potem še nadzorovali nadaljnji potek zdravljenja, so sanje nanomedicine. Razvoj nanodelcev kot nosilcev zdravilnih učinkovin ali kot senzorjev sprememb v organizmu spada v uresničljivi del teh sanj. Nanodelci so zaradi izjemne majhnosti zelo uporabni v onkologiji, za zdaj zlasti pri slikanju in diagnostiki, saj povečajo kontrast na slikah tumorjev, posnetih z jedrsko magnetno resonanco ali z rentgenskim slikanjem. Za zgodnje odkrivanje raka so v razvoju senzorji, ki delujejo na osnovi nanomaterialov. Gre za drobne nitke ali cevke, ki se zaradi vezave na določene molekule upognejo. Z merjenjem tega upogiba bi bilo mogoče odkriti rakave spremembe že na celični ravni. Znanstvenikom bi lahko omogočili zaznavanje sprememb na ravni molekul, celo kadar se te dogajajo v zelo majhnem odstotku celic. Teoretično bi medicinski nanoizdelek lahko zaznal beljakovine in druge snovi, ki ostanejo za rakastimi celicami, in bi bilo diagnosticiranje mogoče na najzgodnejši stopnji raka že na podlagi nekaj kapljic krvi. Porozni ali votli nanodelci, na primer silicijevega dioksida, se bodo uporabljali kot nosilci zdravilnih učinkovin, ki bodo dosegli v telesu obolelo mesto in na kontroliran način sproščali zdravilo. Selektivna vezava nanodelcev na določene celice se bo uporabljala za diagnostiko in tudi za

zdravljenje. Primer so nanodelci zlata, ki se vežejo na rakaste celice. Zlato se pod vplivom radiofrekvenčnega električnega polja segreje in tumorje »skuha«, okoliške celice pa ostanejo nepoškodovane. Leta 2007 so v Zdravstvenem centru Pittsburške univerze s Kanziusovo napravo, temelječo na tem principu, uspešno uničili rakaste celice na jetrih pri kuncih. Obetavni so tudi nanodelci železovega oksida, t. i. magnetne tekočine, s katerimi je mogoče doseči podobne toplotne učinke na rakave celice, a tokrat s pomočjo spreminjajočega se magnetnega polja. Prednost magnetnih nanodelcev je v tem, da jih je mogoče z magnetnim poljem izločiti iz telesa ali pa s kontroliranim premikanjem poskušati usmerjati rast celic, na katere so pripeti².

Nanoroboti, kot si jih želijo v medicini, naj bi bili sposobni odpirati in zapirati celične opne, potovati skozi tkiva, vstopati v celice in viruse, razstavljati in na novo sestavljati poškodovane molekulske sestave, razlikovati zdrave celice od bolnih ali obrabljenih. Nanorobote bo na točno določena mesta usmerjal poseben nanoračunalnik in z njim bo zdravnik lahko ves čas spremljal, kaj se dogaja v telesu in kdaj bodo nanoroboti uspešno opravili svoje delo. V genskem inženiringu naj bi bilo mogoče s pomočjo nanotehnologije ne samo zaznavati DNK in prepoznavati dedne okvare z nanosenzorji, ampak jih z umetnim razkosavanjem DNK tudi odpravljati. Zmanjševanje velikosti do nanometrskih razsežnosti je izziv tudi v tehnologiji. Problem predstavljajo predvsem vsi procesi, ki so odvisni od velikosti površine. Volumen nekega delca je odvisen od njegove velikosti na tretjo potenco, medtem ko je površina določena s kvadratom velikosti. Ta relativno preprosta razlika postane velika težava pri zmanjševanju mehanskih komponent, še posebej zaradi trenja, ki je tipična količina, povezana s površino dveh snovi v stiku. Zato so nanozobniki, nanosvedri in druga nanoorodja, ki bi bila le pomanjšane kopije makroskopskih orodij, iluzija².

Iluzija, ki je sicer privlačna za reklamiranje nanotehnologije, a je hkrati zavajajoča. Naslednja ovira je velika površinska napetost nanodelcev, ki pospeši difuzijo, še posebej pri povišani temperaturi, ter povzroči medsebojno združevanje delcev. Temperatura tališča je znatno znižana, nekateri nanodelci se obnašajo kot tekočine in se med seboj zlivajo znatno pod temperaturo tališča, ki velja za večje delce iste snovi. Čeprav bi, na primer, roke robota zmanjšali do nanometrskih velikosti, taka roka ne bi mogla spustiti ničesar, kar bi prijela. Zato tudi tovarna mikrometrskih dimenzij, ki bi delovala po klasičnih principih, ne spada med realne sanje. Molekularni roboti delujejo na povsem drugačnem principu. Namesto mehanske sile njihovo delovanje temelji na

kemijskih in fizikalnih povezavah med atomi in molekulami, na spreminjanje oblike molekul zaradi vpliva temperature oziroma kemijskega okolja in posnemanju bioloških procesov v živih bitjih. Za svoje premikanje nič več ne izrabljajo trenja, ki je v makroskopskem svetu odvisno od pravokotne sile na podlago, ampak privlak, ki izvira iz laminarnih sil, to je sil, ki so vzporedne s površino^{2,10}.

Nanodelci so povsod

Nanodelci so vedno bili del naše vsakdanjosti, le da se jih šele zdaj začnemo zavedati in obvladovati. Posameznik se jim lahko izogne le do določene mere. Delci v zraku so posledica povsem naravnih procesov in procesov, zaradi človekove dejavnosti. Narava sama po sebi je generator delcev tako gozdovi, morja, delci se nenehno tvorijo v atmosferi s kondenzacijo hlapnih organskih molekul in delcev, ki nastajajo pri fotokemijskih reakcijah. Tu so še vulkanski izbruhi, gozdni požari, nevihte^{4,11,12}. Ene prvih sistematičnih meritev nanodelcev pri nas so bile opravljene v naravnem okolju v Postojnski jami. Ugotavljali so vpliv obiskovalcev na prisotnost in razporeditev nanodelcev tako v zimskem in poletnem času⁴. V našem življenju je veliko tradicionalnih navad, pri katerih pride do sproščanja velikih količin nanodelcev, ki se jih do sedaj sploh nismo zavedali. Če se želimo izogniti nanodelcem ogljika, ne prižigajmo sveč v stanovanju, lokalih ali lepotnih salonih, izogibajmo se odprtih kurišč in prvomajskih kresovanj ter ognjemetom in drugim pirotehničnim eksplozijam. Raziskava nanodelcev v zraku kuhinje po prižiganju sveče je pokazala, da je kar 60 % delcev manjših od 10 nm in kar 90 % delcev manjših od 20 nm.⁴

Če se hočemo izogniti drugim nanodelcem, ki so v našem okolju zaradi proizvodnih procesov, se je treba primerno zaščititi pri suhem brušenju kamna, rezanju betona, spajkanju, brušenju v industrijski proizvodnji. Do določene mere so sporne tudi tekstilne dejavnosti, kjer je veliko mikro in nanovlaken. Prodor novih izdelkov, ki vsebujejo nanodelce tako v končnih izdelkih kot v obliki pol surovin, moramo sprejeti kot dejstvo, a kot uporabniki in potrošniki imamo pravico vedeti, ali neki izdelek vsebuje nanodelce in kako z njimi ravnati, da bomo zaščitili svoje zdravje in okolje. Zato pazljivo preberimo navodila za uporabo, sprašujmo trgovce in proizvajalce in se naučimo živeti skupaj z nanodelci na čim bolj zdrav način. Če v navodilih za uporabo piše, da je treba razpršilo za čevlje na osnovi nanodelcev uporabljati v odprtih in dobro

prevetrenih prostorih, se je tega treba strogo držati, saj lahko drugače impregniramo tudi svoja pljuča. Vožnja s kolesom in druge športne aktivnosti v času prometnih konic v mestih niso zdrave, saj pri povečani telesni aktivnosti prefiltriramo do 20-krat večje količine zraka in tako vdihnemo ustrezno večje količine nanodelcev. Vožnja tik za vozilom na dizelski pogon ogroža zdravje, še posebej, ker imajo avtomobili dovod svežega zraka spredaj, kar pomeni, da pobirajo natanko izpuh avtomobila, ki pelje pred njim. Peljati za tovornjakom ali avtobusom je energijsko smiselno zaradi zavetrja, saj s tem porabimo manj lastnega goriva, je pa zelo problematično, kar se tiče vdihavanja nanodelcev, ki jih dizelski avtomobili izpuščajo v ozračje¹³. Delali so zanimive raziskave, primerjali so kolesarja, ki je peljal po prometno precej obremenjeni cesti, in potnika, ki se je peljal po isti cesti v avtomobilu za vozilom na dizelski pogon. Potnik v avtu je vdihaval zrak, ki je bil bolj obremenjen z nanodelci, kot ga je vdihaval kolesar na prostem. Raziskave porazdelitev nanodelcev v zraku meta New York je pokazala največjo koncentracijo teh delcev v jutranjih urah, ko ljudje hitijo v službo¹⁴. O meritvah nanodelcev v zraku urbanih središč poročajo tudi druge raziskave, predvsem iz Amerike, Japonske, Finske, Švice, Nemčije, Anglije^{15,16,17,18,19}. Uvedba centralnih kurišč kot načina ogrevanja je s stališča izpostavljanja nanodelcem gotovo zelo pozitivna. V zasebni hiši ali stanovanjskem bloku imamo eno kurišče za več sob oziroma več stanovanj. To kurišče je tudi umaknjeno iz bivalnih prostorov. Vse bolj pa spet postajajo popularni odprti kamini. Zavedati se moramo, da je bilo že ugotovljeno, med drugim iz higienskih razlogov, da je bolje, če je kamin zaprt s steklom. To je ugodno tudi s stališča emisije nanodelcev v prostor. Nekaj podobnega je pri gorenju navadnih sveč. Prižiganje sveč je v zadnjem času postalo zelo moderno, ljudje jih uporabljajo za različne meditativne namene in za umirjanje zvečer v družinskem okolju. Pri gorenju navadne sveče pride do emisije nanodelcev z velikostjo 20 do 30 nanometrov. Ko vsi še niso imeli elektrike, so uporabljali petrolejke. Petrolejka prav tako temelji na izgorevanju ogljikovodikov, vendar je bila zastekljena z bučko. Petrolejko je bilo treba velikokrat čistiti, ker se je na bučki nabrala tanka plast ogljika. Ko uporabljamo svečo, tiste plasti ogljika ne vidimo, ker nimamo ničesar, na kar bi se lovil, in se ogljikovi nanodelci prosto širijo po prostoru. Vedno se moramo vprašati o pozitivnih in negativnih platih uporabe različnih stvari. Tudi pri gorenju sveč skrajne rešitve niso primerne, saj ena sama sveča predstavlja bistveno manj škode, kot če smo v istem prostoru s kadilcem ali če je bil kadilec v prostoru pred kakšnim tednom, ker

nanodelci ostajajo v ozračju tudi po več tednov. Tudi uporaba sesalnikov brez dobrih filtrov v stanovanjih je lahko problematična, ker s sesalnikom dodatno pospešujemo dvig nanodelcev v ozračje, povečujemo delež nanodelcev v primerjavi z večjimi delci in celo povečujemo količino nanodelcev v stanovanju, če hladilni zrak motorja sesalnika ni filtriran. Boljše je čiščenje z mokro krpo. Lovilci prahu, kot zavese, preproge, oblazinjeno pohištvo, in celo nepobrisan prah prispevajo k čistejšemu ozračju, a jih je treba ves čas čistiti na moker način, da ne povzročamo samo premikanja delcev prahu z enega dela prostora na drugega. Pomemben je podatek, da je pri kajenju v vsakem kubičnem centimetru izdihanega zraka, pomešanega s tobačnim dimom, toliko nanodelcev, da presegajo zmogljivost instrumenta, ki je sto milijonov nanodelcev. Tudi tu je torej mogoče iskati vzrok za škodljivost pasivnega kajenja. Previdnost pri nenamensko proizvedenih nanodelcih torej ni odveč. Pogosto zračenje delovnih prostorov z direktnim odpiranjem oken je gotovo učinkovitejše kot običajne klimatske naprave, ki zrak filtrirajo, a jim najdrobnejši delci pobegnejo. Tako le povečujemo njihovo koncentracijo. Pri tem moramo seveda upoštevati, da parkirišče avtomobilov ni prav pod našim oknom. Meritve števila nanodelcev so že pokazale veliko povečanje ob urah, ko ljudje pridejo na delo s svojimi vozili. Odpirajmo okna v času, ko je manj prometa. To je še posebej pomembno v bolnišnicah, šolah in vrtcih, kjer imamo še vedno navado, da zjutraj najprej pošteno prezračimo in tako spustimo zrak, onesnažen z nanodelci, v prostor, saj ljudje ravno takrat pridejo na delo s svojimi avtomobili, pripeljejo hrano in surovine s tovornjaki pa tudi avtobusni promet je v konicah intenzivnejši in večinoma na dizelski pogon².

2.4. Vpliv na zdravje

Človeško telo je venomer deležno vstopanja in izločanja snovi skozi kožo, prebavila in preko dihal. Ta nato najdejo svojo pot do krvnega obtoka, tako pa se njihova pot nadaljuje do vseh delov telesa, tudi v naš "komandni" center, možgane. K prodiranju teh snovi v naš organizem pa še dodatno pripomorejo razne poškodbe kože, hoja po prašnih ali z delci kontaminiranimi tlemi, športne aktivnosti v okolju, ki je nasičeno z velikim številom delcev, v takem okolju so tudi naša pljuča bistveno bolj obremenjena in posledično zaradi večje frekvence dihanja prefiltrirajo večje količine zraka. Nanodelci se ob tej aktivnosti pospešeno odlagajo na stene dihal, večji se zaustavijo že v nosu oz.

zgornjih delih dihal, medtem ko tisti manjši od 50 nm uspejo priti tudi v male sapnice in pljučne mehurčke, od koder lahko neposredno pridejo v krvni obtok, ki jih potem raznese po vsem telesu²⁰. Vsa vlakna, ki so ožja od 3 μm , lahko prodrejo v alveolska območja pljuč. Med ta vlakna štejemo tudi družino nitkastih nanodelcev, h katerim sodijo tudi popularne ogljikove nanocevke. Enostenske in večstenske ogljikove nanocevke dokazano povzročajo bolezenske spremembe v pljučih podgan – tvorbo skupkov in bolezen sluznice. Pri obeh obolenjih pride do vnetij, oksidativnega stresa in citotoksičnosti. Enostenske ogljikove nanocevke so še dodatno nevarne saj lahko povzročajo srčna obolenja².

Nanodelci, ki so kroglaste oblike, v alveolnih območjih pljuč ne povzročajo toliko vnetnih procesov kot nitkasti delci. Vendar imajo drugo slabost, po velikosti so namreč podobni receptorjem celične membrane, zaradi česar pljučne celice teh delcev ne prepoznajo in označijo za tujke, s tem pa jim omogočijo prosto pot v krvni obtok. Kljub zgoraj navedenim nevarnostim se nekatere nanodelce že redno uporablja v medicinski diagnostiki, in sicer tako da jih spustijo direktno v krvni obtok, nato pa se izkorišča njihovo fluorescenco. Prej omenjeni delci se zaradi posebne ovojnice vežejo na protitelesa, ki omogočijo vezavo na točno določeno vrsto celic. A, ker ni vse tako lepo kot se zdi, moramo tudi tukaj posvetiti pozornost na neželena mesta, kjer so tovrstne nanodelce v eksperimentih na živalih že našli, kot so jetra, limfne žleze in kostni mozeg.

Nanodelci po našem krvnem obtoku potujejo kot tujki, ter tako vstopajo v naše organe, vendar se je naše telo skozi evolucijski proces naučilo uspešno braniti proti glivicam, bakterijam, itd., ki so velikosti nanodelca, zato naša protitelesa odstranjujejo tudi njih. Najbolj dejavni na tem področju so jetra (učinkovito filtrirajo nanodelce, a so pri tem izpostavljena njihovim toksičnim učinkom), vranica (čisti delce večje od 250 nanometrov) in pa bezgavke.²

A vendar so delci ki zahajajo v jetra, vranico in bezgavke veliko manj škodljivi kot pa ti ki vstopajo v možgane. Povečane koncentracije degenerativnih nevroloških bolezni v okoljih, obremenjenih z visokimi koncentracijami ultrafinih prahov, kažejo možnost vpliva teh delcev v ozračju na razvoj nekaterih bolezni. Ameriški znanstveniki iz Agencije za okolje so za TiO_2 , ki se ga v zadnjem času omenjajo kot fotokatalizator pri razgradnji organskih snovi^{21,22}, dokazali, da so delci z velikostjo 30 nanometrov povezani s Parkinsonovo in Alzheimerjevo boleznijo^{23,24}.

V prihodnosti, ko bodo vplivi nanodelcev na naše organe dodobra raziskani, lahko pričakujemo veliko nadgradenj v smeri izboljševanja varnosti pri delu, bolj strogih določilih o količini in vsebini industrijskih izpustov, ter nas najverjetneje prisililo v spremembo marsikatere domače navade. Po drugi strani pa se nanodelci kažejo kot velik potencial v nanomedicini, ki v njih polaga velike upe.

2.5. Meritve nanodelcev

Velikost nanodelcev je tako majhna, da jih s prostimi očmi ne vidimo. Za opazovanje nanodelcev so torej nujni mikroskopi, ki uporabljajo kot vir prenosa slike valovanje z manjšo valovno dolžino od velikosti delcev. Tak je presevni elektronski mikroskop, ki ima ločljivost 0,12 nanometrov in doseže povečave do 1,5 milijona. Delce lahko razpoznamo na različne načine npr. po obliki, sipanju elektronov na ravninah atomov, če je delec kristaliničen, ali pa naredimo kemijsko analizo na način, da analiziramo rentgenske žarke, ki nastanejo pri trkih elektronov z atomi nanodelca. Slednja metoda je trenutno še v razvoju, a so napovedi zelo obetavne. Vrstični elektronski mikroskop je najbolj razširjen tip mikroskopa v raziskovalnih in razvojnih laboratorijih. Z njegovo pomočjo opazujemo površino vzorcev z nanometrsko ločljivostjo in, če temu dodamo še zajemanje rentgenskih žarkov je možna tudi določitev kemijske sestave vzorcev. Druga možnost opazovanja nanodelcev je uporaba metod, kjer se sonda ali tipalo delcu zelo približa in izmeri vpliv, ki ga ta delec ima na tipalo. Pri tunelskem mikroskopu izmerimo velikost električnega toka, pri mikroskopu na atomsko silo pa silo med konico in vzorcem. Oba mikroskopa nam omogočata tudi opazovanje atomov na površini in premikanje manjših nanodelcev, ter celo kontrolirane kemijske reakcije med posameznimi atomi. Nanodelce je mogoče opazovati oziroma detektirati tudi na podlagi posrednih vplivov. Pri detekciji nanodelcev na podlagi posrednih vplivov uporabljamo pojave, pri katerih prisotnost nanodelca povzroči neko spremembo, ki jo lahko zaznamo, tipičen primer je kondenzacija vode. Voda oziroma kakšna druga hlapna tekočina, pogosto tudi butanol, se kondenzira na delcu, ki tako predstavlja nukleacijsko jedro. Ko velikost takega delca preseže neko kritično vrednost, začne kapljica skokovito rasti in doseže velikosti, ki jih že lahko »vidimo« z različnimi optičnimi inštrumenti. Ta proces uporabljajo detektorji nanodelcev v zraku. Delce na podlagi električnega naboja razvrstijo po velikosti, večji delci imajo namreč več električnega naboja kot manjši,

zatem te frakcije delcev vodijo v komoro s paro neke hlapne tekočine, da se ta na delcih kondenzira. Nazadnje delce optično preštejejo z metodo sipanja svetlobe. Razvoj detektorjev nanodelcev je trenutno velika razvojna in tržna priložnost, saj bodo lahki prenosljivi detektorji postali v prihodnosti del standardne varovalne opreme pri delu z nanomateriali, prav tako pa bodo detektorji kot senzorji onesnaženosti postavljeni na podoben način v bivalnih in javnih prostorih, kot so zdaj postavljeni detektorji dima. Za opis prisotnosti nanodelcev ni več mogoče uporabljati standardnih količin, kot sta npr. utežna ali volumenska koncentracija, ki ne povesta ničesar o velikosti delcev niti o njihovi površini. Edina količina, ki ustreza je številska porazdelitev nanodelcev po velikosti. Ta količina je osnova za ovrednotenje kvalitete zraka ob pred postavi, da so toksični učinki delcev, z določeno velikostjo. Impaktorji, ki jih pri nas uporabljamo v okoljevarstvenih meritvah, pa delujejo po principu, dolgega zbiranja nanodelcev, ki se jih s pomočjo centrifugalne sile loči po velikosti ter nazadnje stehta. Z impaktorji ima največ izkušenj Kemijski inštitut. Naprava je primernejša za delce, ki so večji od 100 nanometrov, a za manjše nanodelce, ki so po gostoti še raznoliki, ni optimalna, saj zahteva ogromne pretoke zraka in dolgotrajne meritve, točnost pa ni najboljša. Nekoliko boljši so električni impaktorji, ti delce najprej nabijejo, nato pa jih ločijo po velikosti in merijo naboj. A na žalost se običajno nabije le kakšen odstotek nanodelcev v zraku, torej tudi ta metoda ni najbolj primerna. Veliko dražji so kondenzacijski detektorji (dražji od 50.000 evrov), ki delujejo na principu ločevanja nabitih delcev v električnem polju, ti so potem vodeni v kondenzacijsko komoro, kjer se v nasičeni pari butanola ali vode delci obdajo s plastjo kondenzirane tekočine do te mere, da kapljice, ki jih tvorijo dosežejo velikost nekaj mikronov in jih nato lahko preštejejo z laserjem. Te naprave pa so približno vse, kar je trenutno dostopno na tržišču².

2.6. Namen naloge

V zadnjem času je o nanodelcih in nanotehnologiji veliko govora. Vse več izdelkov, ki jih kupujemo, se reklamira z nanotehnologijo. Sam sem se v preteklem letu, s seminarsko nalogo pri pouku kemije, podrobneje seznanil s to mlajšo tehnologijo. Seznanil sem se z pestro literaturo s tega področja in lahko videl, da je nanotehnologija pritegnila številne znanstvenike različnih področij. Tokrat sem svoja spoznanja želel nadgraditi eksperimentalno, predvsem z ugotavljanja nanodelcev v našem vsakdanjem življenju. Priložnost se mi je ponudila v sodelovanju z Institutom J. Stefan. Na Odseku za znanosti o okolju, kjer se z meritvami nanodelcev ukvarja prof. dr. Janja Vaupotič, so mi posodili merilnik nanodelcev.

V svoji raziskovalni nalogi sem želel ugotoviti, če so nanodelci prisotni v šolskem okolju, v katerem preživimo skoraj tretjino dneva. Ugotoviti sem želel katera opravila in kateri prostori na šoli so tisti, ki so lahko izvor nanodelcev, kakšna je količina teh delcev in kakšne velikosti so ti delci.

Zaradi omejene razpoložljivosti eksperimenta, nisem mogel sistematično opravljati meritev ali pa meritve primerjati tekom več dni in različnih vremenskih pogojih. Kljub temu pričakujem zanimive rezultate, saj so to prve takšne meritve na naši šoli, sploh, če vemo, da v Sloveniji do sedaj še ni bilo opravljenih ali objavljenih veliko meritev.

- Največje koncentracije delcev pričakujem v prostoru s fotokopirnim strojem.
- Večje koncentracije delcev pričakujem na hodniku v času odmora, ko dijaki menjujejo učilnice, hodijo na malico, odhajajo ali prihajajo v šolo, in tako dviguje prah s tal in ga tudi prinašajo s seboj na oblačilih.
- Predvidevam, da so razlike v koncentraciji nanodelcev v prostorih, ki se zračijo od tistih, ki se ne zračijo.
- Največ nanodelcev pričakujem pri izvajanju nekaterih kemijskih poskusov, kot so gorenje sveče, gorenje umetne mase iz PVC materiala, ter druge kemijske reakcije kjer nastajajo plini oziroma razkrojni produkti.

3 Eksperimentalni del

V času od 6. do 7. marca 2012 sem na šoli izvajal meritve nanodelcev in radioaktivnih razpadnih produktov radona. V ta namen sem najprej izbral prostore v katerih sem opravil meritve. Izbral sem tudi nekaj poizkusov pri katerih sem pričakoval nastajanje večjega števila delcev.

3.1. Učilnice in ostali prostori na šoli

- a) Izvor nanodelcev na šoli bi lahko bil fotokopirni stroj, ki je na šolah navadno zelo obremenjen, zlasti v času pisanja pisnih nalog. Fotokopirni stroj za tiskanje uporablja barvo v obliki finega prahu, ta bi pa med tiskanjem lahko prešel v zrak in povečal koncentracijo delcev v prostoru.
- b) Šolski hodnik je zaradi velikega števila dijakov in profesorjev, ter ostalega šolskega osebja, ki med odmori hodijo po njem, zanimiv saj bi se s to aktivnostjo utegnila povečati tudi koncentracija nanodelcev.
- c) Ker so nekatere učilnice obrnjene na severno stran, druge na pa južno stran, sem za primerjavo meril v učilnici 6 (severna stran v kletnem prostoru) in učilnico 3 (južna stran v kletnem prostoru). Učilnica na severni strani je hladnejša in se v prehodnem obdobju manj zrači kot učilnice, ki gledajo na jug in so neprimerno bolj tople, zato se pogosteje odpirajo okna.

3.2. Kemijski eksperimenti

Zadnji prostor v katerem so bile opravljene meritve je šolski laboratorij, saj je to edini prostor kjer se lahko varno izvajajo številni kemijski poskusi. Pred oziroma po vsakem poskusu sem laboratorij prezračil s prepihom, tako da je koncentracija delcev v prostoru

padla na konstantno vrednost. Za meritev nanodelcev, ki bi lahko nastajali ob eksperimentiranju, sem izbrala naslednje eksperimente:

- a) Gorenje sveče
- b) Gorenje PVC (polivinilklorid) materiala
- c) Izgorevanje plina (butan, propan) v plinskem gorilniku.
- d) Termični razpad KMnO_4 ($2\text{KMnO}_4 \rightarrow \text{MnO}_2 + \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{O}_2$).
- e) Gorenje rdečega fosforja ($4\text{P} + 5\text{O}_2 \rightarrow \text{P}_4\text{O}_{10}$)
- f) Termični razpad $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ($(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \rightarrow \text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$)

3.3. Merilni instrument

Naprava GRIMM SMPS²⁵ (*Sequential Mobility Particle Sizer, Series 5.400*), ki sem jo uporabljal je sestavljena iz dveh komponent, in sicer iz DMA (differential mobility analyzer) in CPC (condensation particle counter) kot sta prikazani na sliki 4 in sliki 5. Prva naprava (valjaste oblike na sliki 4 levo) najprej zadrži večje delce, manjše pa naelektri.



Slika 4. Dve različici naprave DMA (levo) manjša je namenjena merjenju manjših delcev, večja pa za merjenje večjih delcev. Na sliki desno je naprava CPC.

Ti delci se potem v električnem polju različno hitro gibljejo v odvisnosti od naboja oziroma velikosti delca. Ločene delce se nato vodi v enoto CPC, v komoro s paro butanola ($\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$), le ta se na delcih kondenzira do te mere, da iz majhnih nanodelcev dobimo kapljice velikosti nekaj mikronov (za kondenzacijo poskrbi kondenzator pri temperaturi 35°C , za kasnejšo "nasičenje" v kapljice pa poskrbi saturator pri 10°C). Kapljice postanejo 'vidne' za optični čitalnik, ki delce prešteje z metodo sipanja

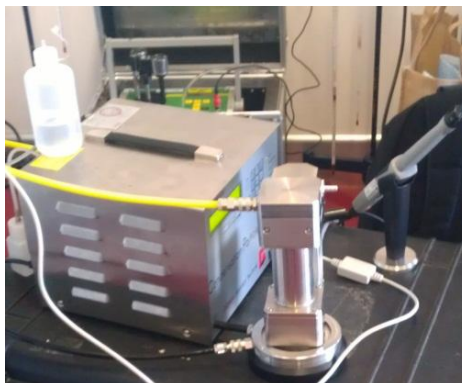
svetlobe. Naprava CPC je nato preko podatkovnega kabla priključena na računalnik. Razpon velikosti nanodelcev, ki jih naprava beleži je od 5,5nm pa vse do 350,4 nm. Naprava delce razdeli po velikosti v 44 kanalov, ki jih ureja s pomočjo električnega toka. V posameznih kanalih so delci razporejeni med naslednje velikosti: 5,5 6,0 6,6 7,2 7,8 8,5 9,3 10,2 11,1 12,1 13,3 14,5 15,8 17,3 18,9 20,7 22,6 24,7 27,1 29,6 32,5 35,6 39 42,7 46,9 51,5 56,6 62,2 68,4 75,4 83,1 91,8 101,4 112,3 124,5 138,3 153,9 171,7 192 215,2 242 272,9 308,7 in 350,4 nm.

3.4. Meritve

Preden smo pričeli z meritvijo smo napravi CPC priključili posodico butanola in posodico za odpadno zmes butanola. CPC smo zatem povezali še z DMA in nazadnje tudi s podatkovnim kablom, ki je napravi povezoval z računalnikom.

Vsak prostor v katerem so potekale meritve, z izjemo hodnika, se je pred pričetkom meritev ustrezno prezračil. Ob pričetku meritve smo zaprli okna in vrata, ki so vodila v prostor in počakali, da je meritev stekla. Za eno meritev potrebuje naprav natanko 4 minute in 10 sekund. Razne aktivnosti, ki so se dogajale med meritvami so bile tudi ustrezno zabeležene.

Poseben protokol pri meritvah je veljal v laboratoriju, ki smo ga zračili 10 minut pred vsakim eksperimentu. Tudi pred nočnim testiranjem je bil laboratorij ustrezno prezračen. Sočasno z meritvami nanodelcev smo merili tudi koncentracijo ogljikovega dioksida, vlažnost, tlak in temperaturo. Tlak in vlažnost se med meritvami nista spreminjali bistveno, prav tako pa sta temperatura in ogljikov dioksid ustrezno padala in naraščala med časom zračenja in med časom v katerem so potekali eksperimenti.



Slika 5. Napravi CPC in DMA med merjenjem v laboratoriju.

4 Rezultati in diskusija

V tem poglavju bom rezultate predstavil grafično po vrstnem redu kot so potekale meritve.

4.1. Učilnice in ostali prostori

V Tabeli 1 so zbrane povprečne koncentracije nanodelcev in velikost nanodelcev v vseh prostorih. V nadaljevanju pa so prikazani rezultati za posamezne prostore.

Tabela 1. Povprečne koncentracije in povprečna velikost delcev v nekaterih prostorih gimnazije.

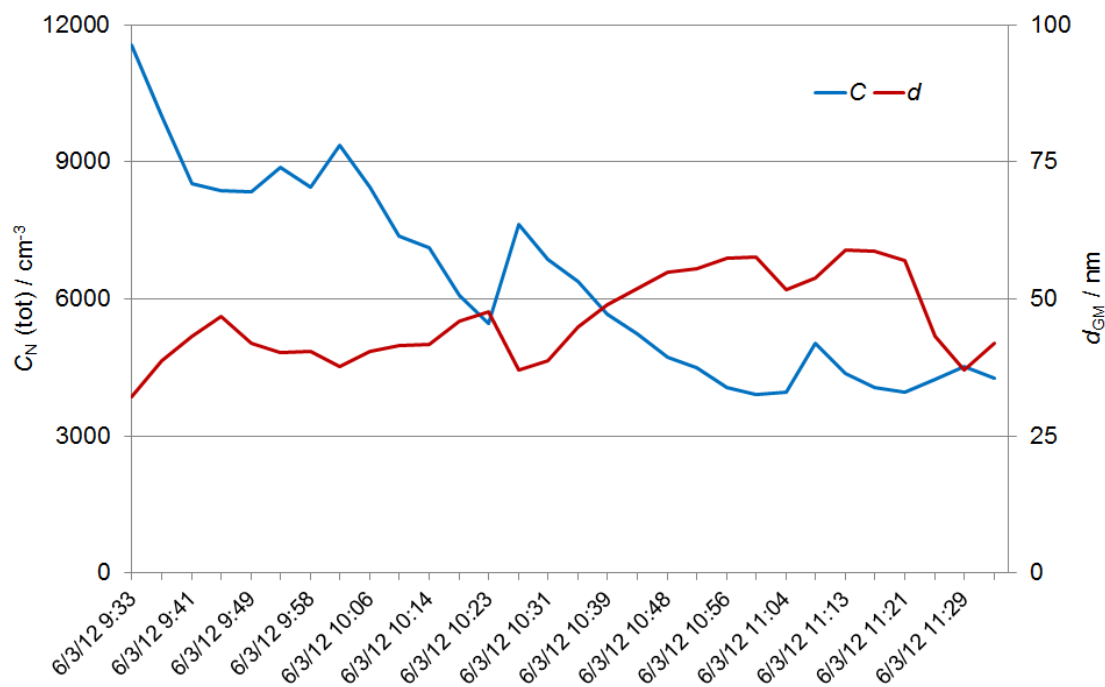
Prostor	C_N / delcev cm^{-3}	d / nm
Fotokopirnica	6.379	46,3
Hodnik	6.343	36,2
Učilnica 6	3.792	67,8
Učilnica 3	16.794	55,2
Zunanji zrak	11.445	33,8
laboratorij	9.545	61,4

a) Fotokopirnica

Prvi dan, 6. 3. 2012, smo meritve opravljali predvsem v različnih prostorih na šoli. Najprej smo merili v prostoru s fotokopirnimi stroji, meritve so potekale med 9.33 in 11.29. Rezultat je grafično podan na sliki 6. Koncentracija delcev je prikazana z modro črto, velikost delcev pa z rdečo črto.

Pred meritvijo smo prostor ustrezno prezračili in ga ob začetku meritve zaprli. Med meritvami se je v prostoru fotokopiralo. Prve meritve niso pokazale velikih koncentracij nanodelcev (6400 delcev v cm^{-3}), velikost le teh pa je bila v povprečju 46 nm. Po pričakovanjih so nastali dokaj fini nanodelci, ki pa so se čez čas pričeli sprijemati. Presenetila me je koncentracija, saj sem v tem prostoru, ki je imel vonj po kopiranju, pričakoval večje koncentracije. Skleпам lahko, da so fotokopirni stroji primerno

izdelani tako, da delci ne morejo uhajati iz fotokopirne naprave. Zaradi dokaj dobrih rezultatov glede koncentracije in ker v tem času ni bilo pričakovati, da bi lahko kdo fotokopiral večje količine, sem po dobri uri meritve prekinil.

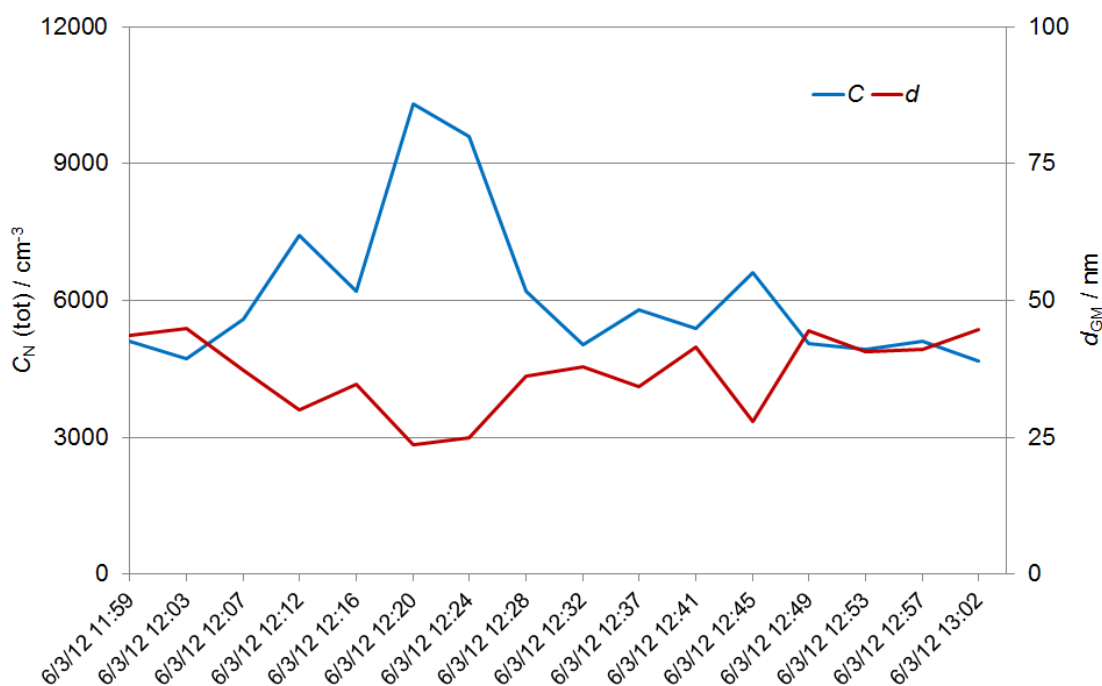


Slika 6. Graf prikazuje skupno koncentracijo nanodelcev C_N (delcev cm^{-3}) in njihovo velikost d (nm) v času meritev v prostoru s kopirnim strojem (rdeča krivulja predstavlja koncentracijo C_N , modra pa velikost d).

b) Hodnik

Za meritve nanodelcev na hodniku sem izbral hodnik v pritličju ob stopnišču kjer je največja frekvenca prehodov dijakov med razredi ter iz šole in v šolo. Meritev je potekala tudi v času najbolj frekvenčnega odmora (odmor v katerem je največja prisotnost dijakov na šoli in so tudi temu primerne gneče na hodnikih). Meritve so potekale, dne 6. 3. 2012, in sicer med 11.59 in 13.10 uro. Rezultati meritev so prikazani na sliki 7. Graf prikazuje koncentracijo nanodelcev in velikost nanodelcev. Pred glavno meritvijo, ki je potekala v času samega odmora (odmor poteka med 12.30 in 12.35 uro), smo opravili nekaj testnih meritev, ki so pokazale zanemarljivo majhno odstopanje delcev med prezračenim prostorom in samim hodnikom. Že pred odmorom je koncentracija delcev začela naraščati, saj so dijaki začeli prihajati na hodnik že pred odmorom. Koncentracija je po odmoru spet padla. Velikost delcev je v času odmora nekoliko padla. Skleпам lahko, da dijaki med odmorom s tal dvignejo prašne delce ali

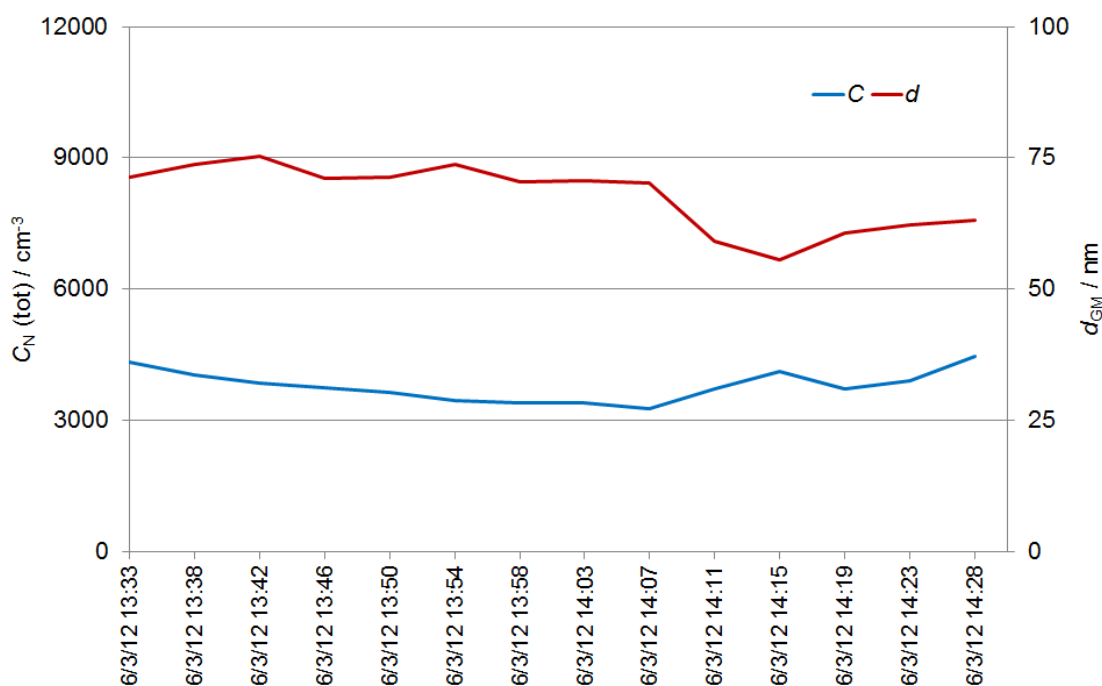
pa jih z oblačili prenašajo po prostoru. Povprečna koncentracija delcev je bila 6300 na cm^{-3} zraka, povprečna velikost delcev pa je bila 36 nm.



Slika 7. Graf prikazuje skupno koncentracijo nanodelcev C_N (delcev cm^{-3}) in njihovo velikost d (nm) v času meritev na hodniku šole (rdeča krivulja predstavlja koncentracijo C_N , modra pa velikost d).

c) Učilnica 6

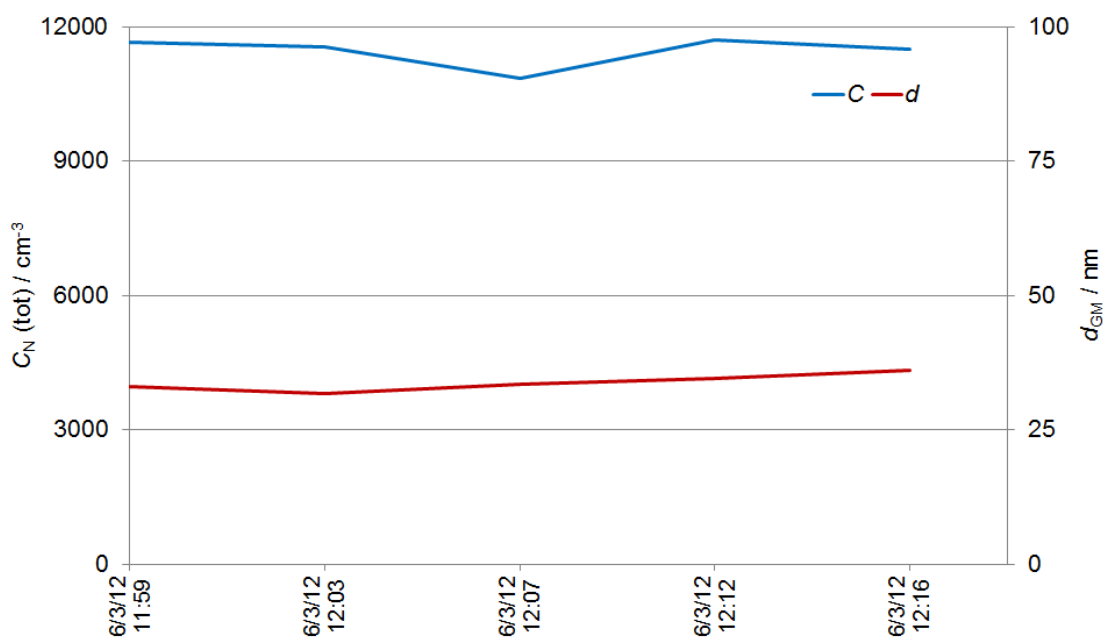
Naslednje meritve so bile opravljene v učilnici številka 6, in sicer med poukom ob prisotnosti dijakov (št. dijakov 31). Meritve so potekale dne 6. 3. 2012, med 13.33 in 14.28 uro. Rezultati so grafično predstavljeni na sliki 8. Meriti sem začel, ko so dijaki bili že v razredu. Prostor je bil pred začetkom pouka na hitro prezračen. Opaziti je, da je koncentracija nanodelcev majhna, velikost delcev pa je v povprečju 67,8 nm. Opazimo lahko manjši trend zmanjševanja koncentracije delcev, le ta pa se ob nastopu odmora (ob 14.10) ponovno nekoliko zviša, zaznati pa je prisotnost manjših delcev. To lahko pripišemo dvigu majhne količine prašnih delcev v času, ko učenci zapuščajo učilnico. Povprečna koncentracija nanodelcev je bila 3792 delcev cm^{-3} .



Slika 8. Graf prikazuje skupno koncentracijo nanodelcev C_N (delcev cm^{-3}) in njihovo velikost d (nm) v času meritev v učilnici 6 (rdeča krivulja predstavlja koncentracijo C_N , modra pa velikost d).

d) Zunanji zrak

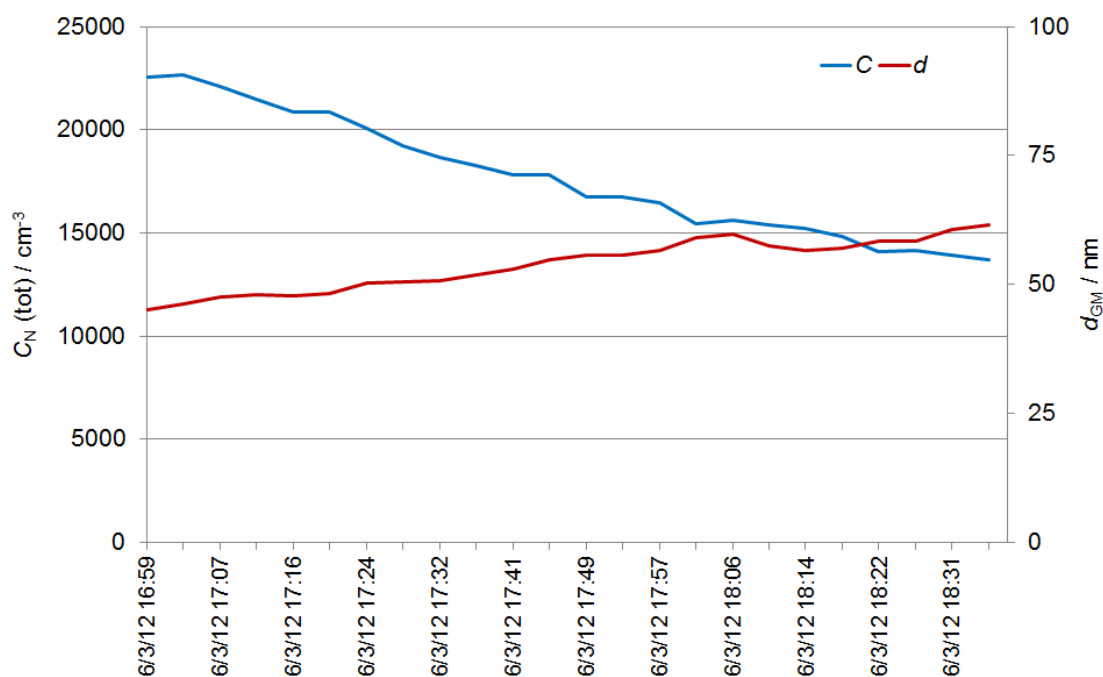
Na sliki 9 Lahko vidimo rezultate meritev v zunanjem zraku pred učilnico številka 3. Meritve so potekale v času med 14.46 in 15.03 uro (v času meritev je pihal rahel veter). Koncentracija nanodelcev v zunanjem zraku je bila dokaj konstantna, v povprečju 11500 delcev cm^{-3} . Povprečna velikost teh delcev je bila 33,8 nm. Te koncentracije so bile primerljive s koncentracijami v nekaterih prostorih šole, kar je posledica vdora zunanjega zraka in s tem delcev v prostore šole pri zračenju oziroma pri odpiranju oken in vrat. Nižje koncentracije delcev so bile izmerjene v učilnicah, kjer se zaradi hladnejših prostorov ti manj zračijo.



Slika 9. Graf prikazuje skupno koncentracijo nanodelcev C_N (delcev cm^{-3}) in njihovo velikost d (nm) v času meritev v zunanjem zraku pred učilnico 3 (rdeča krivulja predstavlja koncentracijo C_N , modra pa velikost d).

e) Kemijska učilnica

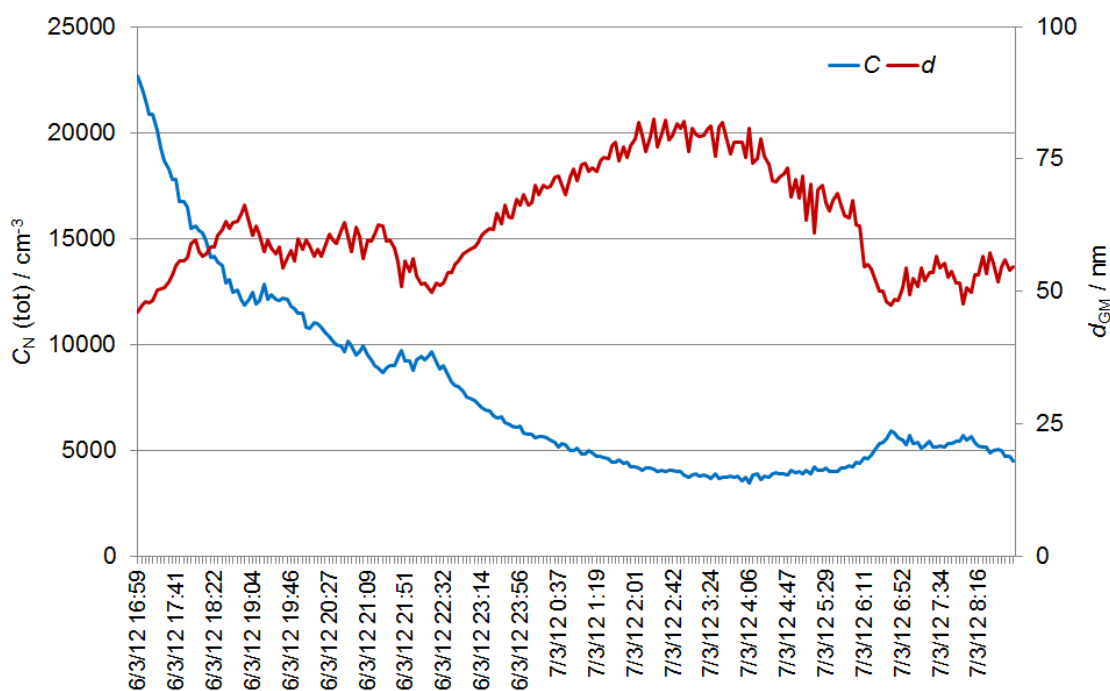
Meritve delcev v prostoru učilnice 3 kažejo ob začetku večje koncentracije (slika 10). Učilnica je obrnjena na južno stran. Ker se ob sončnih dneh, kot je bil na dan meritev, zaradi segrevanja skozi steklene površine, prostor segreva, so pogosto odprta okna. Tako je bila v tej učilnici izmerjena največja koncentracija tega dne na šoli. Ker se je učilnica že predhodno zračila zaradi meritev, ki smo jih delali pred učilnico in ker pouka že nekaj časa ni bilo, je te koncentracije težko pripisati dejavnostim v učilnici. Morebitna razlaga bi lahko bila, da se delci, ki so vstopali z zunanjim zrakom v učilnico, usedajo na površine in se tako količina delcev v prostoru lahko na ta način do neke mere povečuje glede na zunanji zrak. Povprečna koncentracija delcev je bila $16.800 \text{ delcev cm}^{-3}$, povprečna velikost pa $55,2 \text{ nm}$.



Slika 10. Graf prikazuje skupno koncentracijo nanodelcev C_N (delcev cm^{-3}) in njihovo velikost d (nm) v času meritev v učilnici 3 (rdeča krivulja predstavlja koncentracijo C_N , modra pa velikost d).

f) Kemijski laboratorij čez noč

Zadnja meritev je potekala v kemijskem laboratoriju. Instrument sem pustil prižgan čez noč. Da bi meritev zanesljivo potekala sem moral očistiti del naprave, ki zadržuje večje delce. Če se ta del zamaši, instrument neha delovati. S prepihovanjem šob in s čiščenjem z etanolom, je instrument bil pripravljen za meritve, ki so potekale do jutra. Meritev se je začela 6. 3. 2012 ob 18.31 in končala 7. 3. 2012 ob 9.02, ko so se v laboratoriju začele vaje v sklopu rednega pouka. Rezultati so podani grafično na sliki 11. Pred meritvijo je bil laboratorij prezračen. Kljub temu lahko vidimo večje koncentracije nanodelcev na začetku, ki pa se je takoj začela zmanjševati od 14.000 do 3.450 delcev cm^{-3} , ki je bila izmerjena ob 4.15 zjutraj. Zanimiva je velikost delcev, ki se po 22.30 začne povečevati, od 50 nm se delci povečajo na 80 nm. Najbrž gre za združevanje delcev v večje delce in sesedanje le teh, ko se zrak v učilnici ohladi. Ob 6.00 se koncentracija delcev spet poveča, delci s tal se spet dvignejo, zlasti manjši, kar je najverjetneje posledica začetka ogrevanja šole. V kemijskem laboratoriju je talno gretje, to povzroči dvig delcev z velike površine tal.



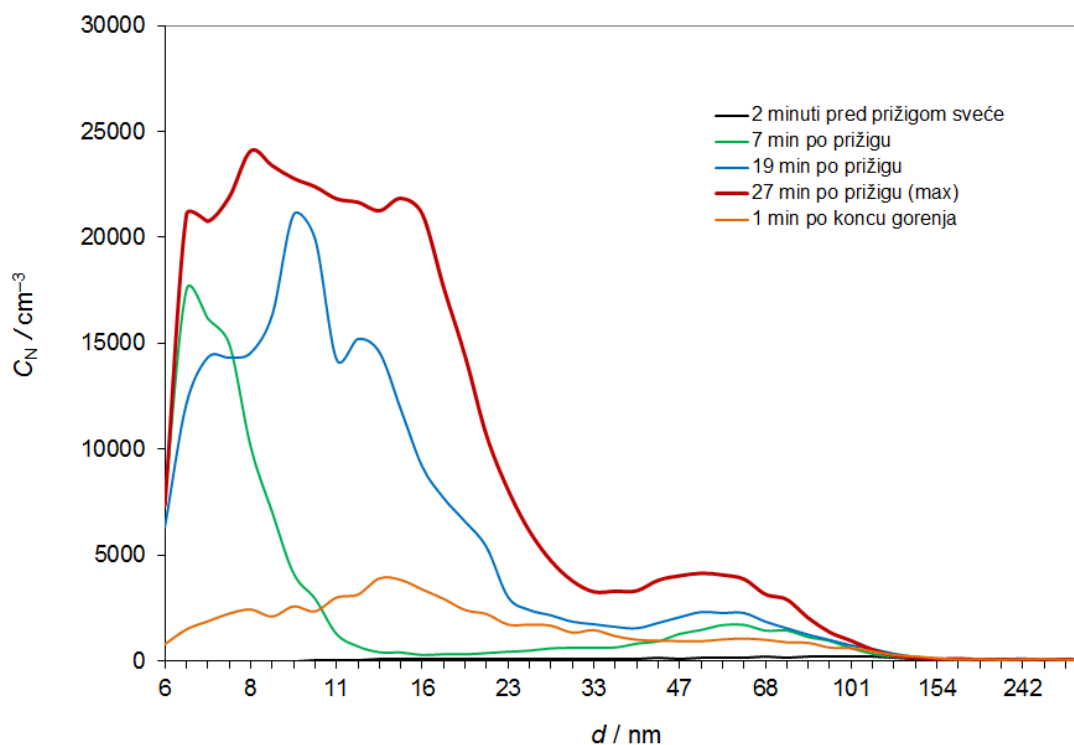
Slika 11. Graf prikazuje skupno koncentracijo nanodelcev C_N (delcev cm^{-3}) in njihovo velikost d (nm) v času meritev, ki je potekala v noči med 6.3. in 7.3.2012 v kemijskem laboratoriju (rdeča krivulja predstavlja koncentracijo C_N , modra pa velikost d).

4.2. Kemijski eksperimenti

Vse eksperimente sem izvajal na delovnem pultu na višini 1,2 m in približno 1,5 m od instrumenta. Instrument je bil 30 cm od tal. Vsako zračenje je koncentracijo delcev v laboratoriju znižalo na približno $4.000 \text{ delcev cm}^{-3}$, Koncentracija posameznih delcev glede na velikost, ki so merjeni v 44 kanalih pa ni presegala $250 \text{ delcev cm}^{-3}$. Ta koncentracija je hkrati tudi ozadje, s katerim sem primerjal vrednosti, ki sem jih dobil pri izbranih eksperimentih.

a) Gorenje sveče

Ko se je začela meritev, sem najprej prižgal svečo. Sprememba koncentracije delce se je pokazala že ob drugi meritvi. Rezultati meritev so prikazani grafično na sliki 12. Na grafih lahko opazimo zelo nizko koncentracijo nanodelcev pred gorenjem sveče (črna krivulja, $\text{max} = 227$). Opaziti je, da se kmalu po prižigu sveče koncentracija delcev močno poveča in doseže maksimalno koncentracijo po 27 minutah ($C_N(\text{max}) = 378.550 \text{ delcev cm}^{-3}$). Ko se gorenje sveče prekine, prične količina delcev hitro padati.

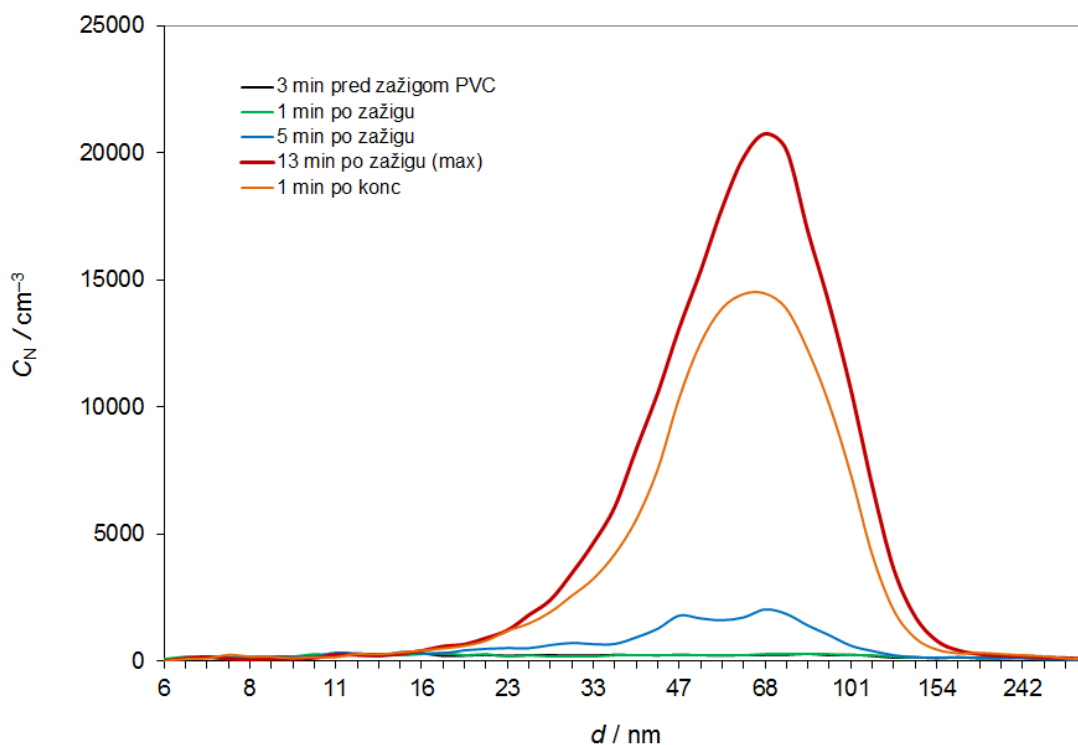


Slika 12. Meritve velikosti in števila nanodelcev ob gorenju sveče.

Povprečna velikost delcev pri gorenju sveče je $13,3 \pm 1,91$ nm. Iz grafa je tudi razvidno, da najprej nastanejo majhni delci (zelena krivulja), ki pa se s časom začnejo združevati in postajajo večji, zato se po daljšem času meritev pojavijo večji delci (modra in rdeča krivulja). Kemijski laboratorij ima veliko prostornino (približno 450 m^3), v pol ure, kar je gorela sveča, je v vsakem cm^3 zraka bilo skoraj 400.000 delcev, torej lahko ocenimo, da je v laboratoriju bilo lahko maksimalno število vseh delcev zaradi gorenja sveče preko 2×10^{14} . Koncentracija delcev po ugasnitvi sveče zelo hitro pade (rjava krivulja).

b) Gorenje PVC

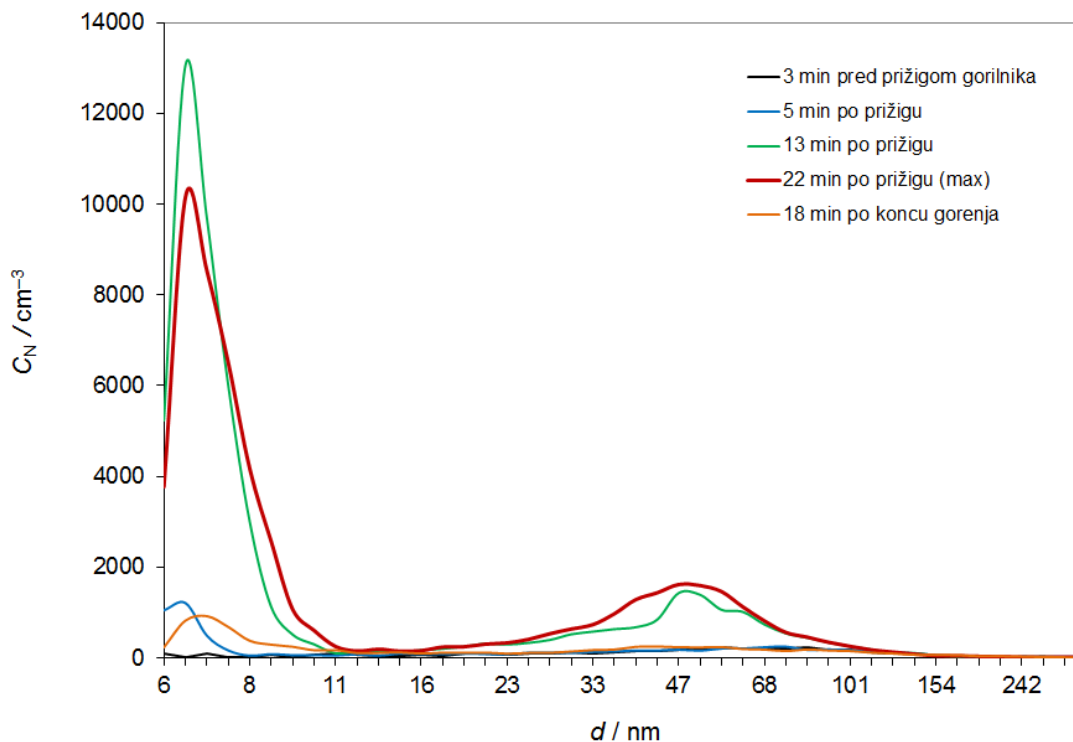
Zelo drugačna je razporeditev delcev, ki nastajajo pri gorenju plastičnega materiala (PVC), na sliki 13. Koncentracije delcev po zračenju se na grafu komaj opazi. Takoj po začetku reakcije pa vidimo nastanek večjih delcev. Delci so po velikosti veliko bolj enakomerno razporejeni in ni videti, da bi se s časom združevali v večje delce. Največjo koncentracijo smo zaznali po trinajstih minutah gorenja ($205.584 \text{ delcev cm}^{-3}$). Povprečna velikost delcev pri tem je bila $60,9 \pm 1,55$ nm.



Slika 13. Meritve velikosti in števila nanodelcev ob gorenju PVC.

c) Izgorevanje plina.

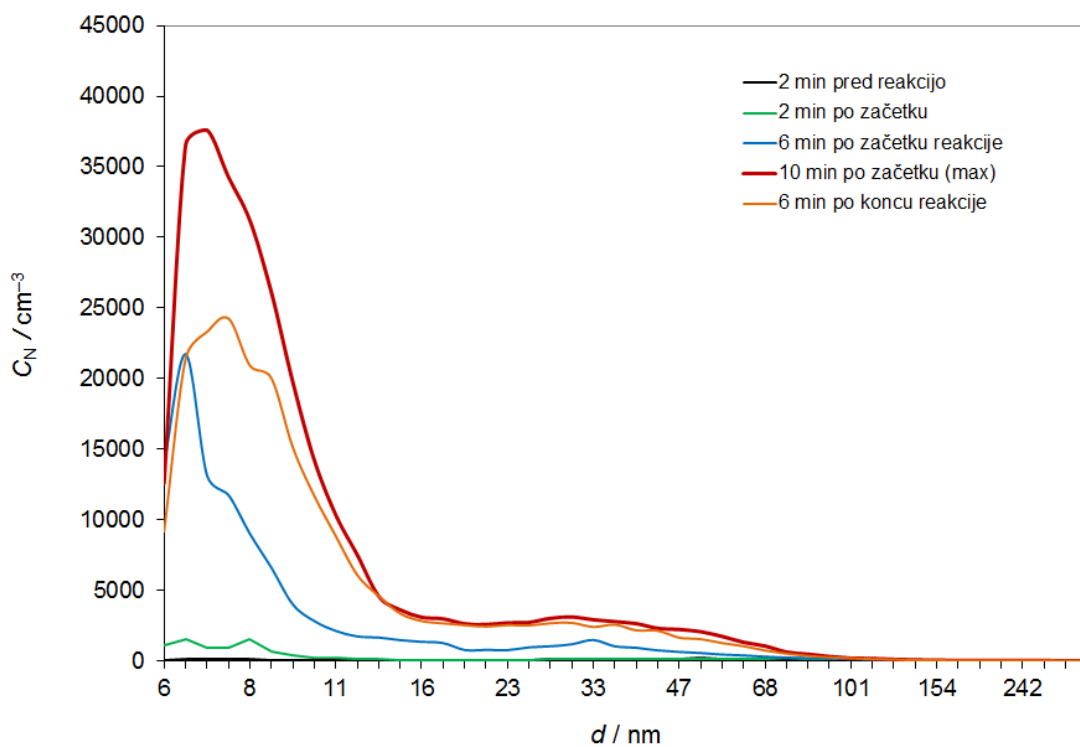
Ker sem večino eksperimentov izvajal s pomočjo plinskega gorilnika, me je zanimala količina in velikost delcev, ki nastajajo pri gorenju plina. Slika 14 nam podaja koncentracijo in velikost teh delcev pri gorenju plina. Gre za majhne delce, ki so v povprečju veliki $12,1 \pm 2,51$ nm. Maksimalna koncentracija znaša 54.359 delcev cm^{-3} . Pri gorenju se pojavi še manjša koncentracija delcev, ki so v povprečju veliki 50 nm. Opazimo pa večjo koncentracijo manjših delcev premera do 7 nm. Teh je bilo zaznati preko 13.000 delcev cm^{-3} . Ta poizkus nam je služil kot odzadnje oziroma sam vpliv delcev, ki nastajajo pri gorenju plina na delce, ki so nastajali pri drugih reakcijah, pri katerih smo uporabljali plinski gorilnik.



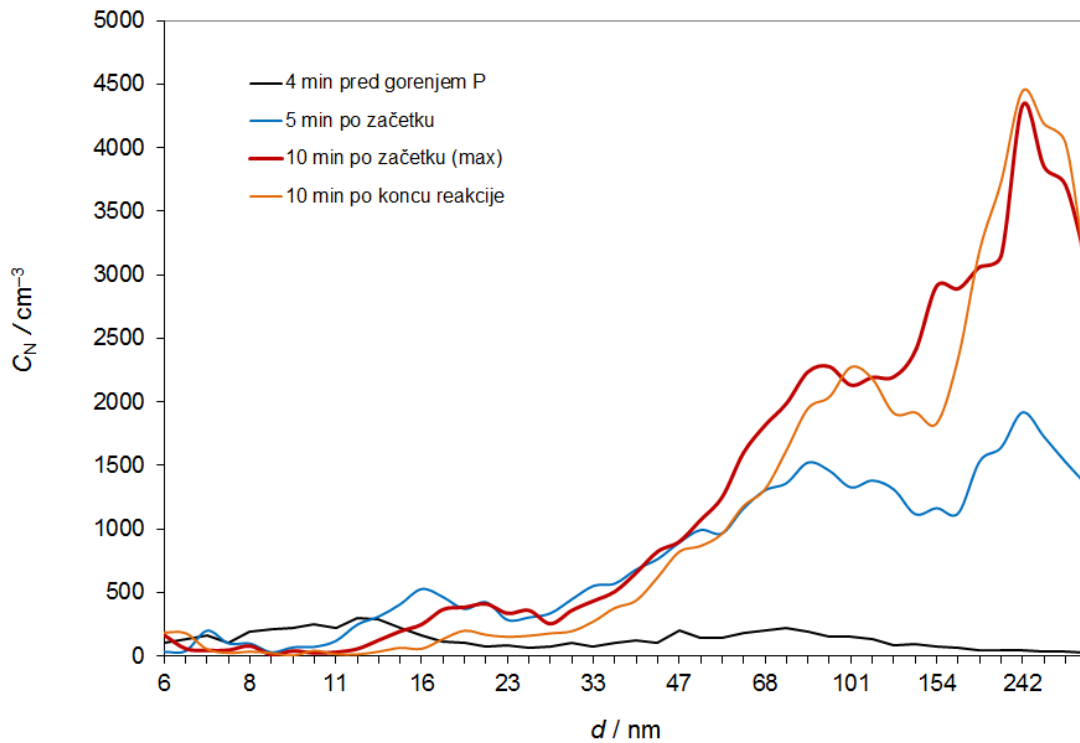
Slika 14. Merjenje nanodelcev ob gorenju plinskega gorilnika.

d) Termični razpad KMnO_4

Od vseh eksperimentov, ki sem jih naredil sem največjo koncentracijo delcev izmeril pri termičnem razpadu kalijevega manganata(VII). Ta eksperiment sem izbral predvsem zato, ker sem pri pouku kemije ob izvajanju tega eksperimenta opazil, da pri segrevanju KMnO_4 nastaja nekaj kar sili h kašlju. Tudi tokrat se je pojavil enak občutek čeprav med reakcijo ni bilo opaziti nobenih delcev ali plina. Rezultati so podani grafično na sliki 15. Vidimo lahko, da pri tej reakciji res nastajajo nanodelci. Koncentracija le teh zelo hitro naraste in v 10. minuti doseže maksimum $282.758 \text{ delcev cm}^{-3}$. Večina delcev je bilo manjših od 20 nanometrov, in temu primerno je bila tudi povprečna velikost $9,7 \pm 1,8 \text{ nm}$. Po končanem eksperimentu je količina delcev padala počasi v primerjavi z ostalimi eksperimenti. Tudi v tem primeru pa ni zaznati večjega združevanja delcev takoj po reakciji.



Slika 15. Meritve velikosti in števila nanodelcev ob segrevanju KMnO_4 .



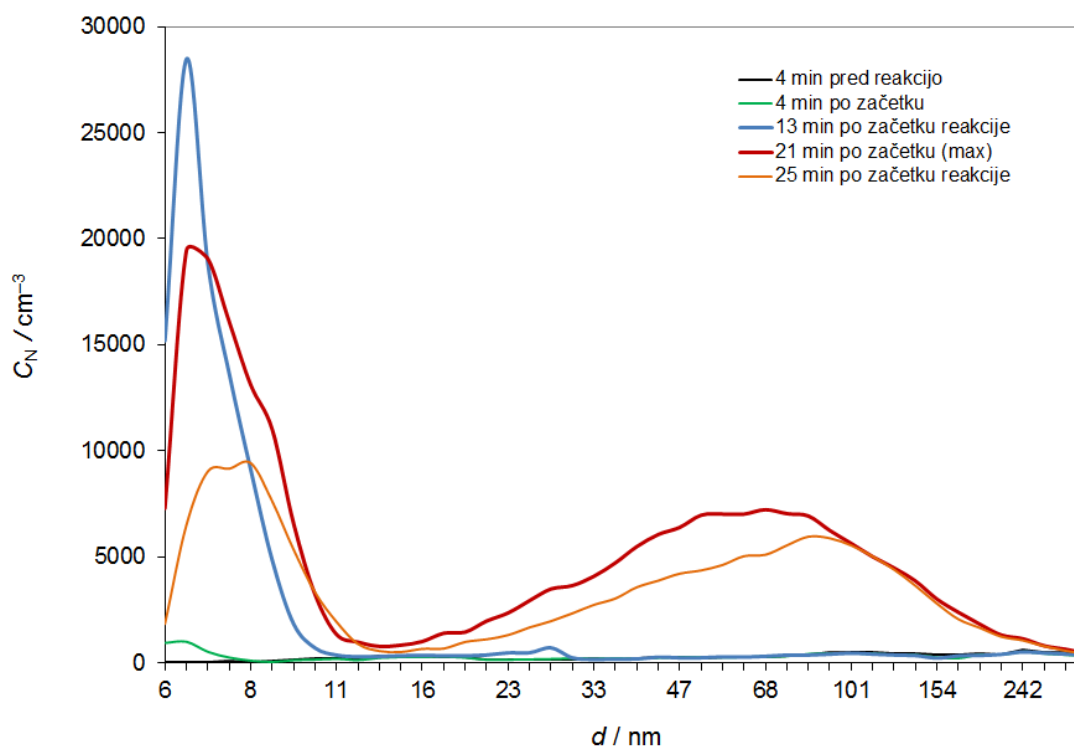
Slika 16. Meritve velikosti in števila nanodelcev ob gorenju rdečega fosforja.

e) Gorenje rdečega fosforja

Za ta eksperiment sem se odločili zaradi gostega dima, ki nastaja ob gorenju fosforja. Rezultati (slika 16) so bili dokaj pričakovani saj so bili delci, ki so nastajali, zaradi sipanja svetlobe, dobro vidni s prostim očesom. Pri tem eksperimentu so nastali delci večji od 50 nm, povprečna velikost je bila $115,2 \pm 2,19$ nm. Eksperiment je po 10 minutah dosegel maksimalno koncentracijo nanodelcev, in sicer 51.975 delcev cm^{-3} . Po koncu eksperimenta so se delci lepo videli še dalj časa, praktično vse do zračenja.

f) Termični razpad $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

Pri razpadu amonijevega dikromata(VI) nastaja nekaj manjših delcev, večina delcev pa je večjih od 50 nm (slika 17). Največjo koncentracijo sem izmeril 10 minut po začetku (223.251 delcev cm^{-3}). Povprečna velikost teh delcev je $23,7 \pm 3,22$ nm. Opaziti pa je, da sta v porazdelitvi velikost teh delcev dva hriba, kar pomeni, da sočasno nastajajo večji in manjši nanodelci.



Slika 17. Merjenje velikosti in števila delcev ob gorenju $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

V tabeli 2. je podan pregled maksimalnih koncentracij in povprečnih velikosti nanodelcev pri teh koncentracijah, pri izvajanih eksperimentih. Vidimo lahko, da največje koncentracije nanodelcev nastajajo pri gorenju sveče, pri termičnem razkroju KMnO_4 in $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, nazadnje je treba omeniti še gorenje PVC, pri katerem pa nastajajo še klorove spojine, ki pa so zelo strupene. Zelo majhni nanodelci nastajajo pri termičnem razkroju KMnO_4 , majhni nanodelci nastajajo tudi pri drugih reakcijah. Pri gorenju fosforja nastajajo delci v večji meri velikosti, ki jih po definiciji že ne moremo šteti med nanodelce. Hitrost delcev, ki so prišli do detektorja je presenetljiva, najmanjši delci, ki so nastali pri razpadu kalijevega manganata(VII) so dosegli maksimalno koncentracijo v istem času kot večji delci, ki so nastajali pri gorenju fosforja, 10 minut.

Tabela 2. Maksimalne koncentracije in povprečne velikosti nanodelcev, ki sem jih izmeril pri navedenih eksperimentih. Zadnja kolona označuje čas v katerem so bile dosežene maksimalne koncentracije.

Eksperiment	$C_{N(\max)}$ (delcev cm^{-3})	$d \pm \sigma$ (nm)	$t(C_{N(\max)})$ (min)
Gorenje sveče	378.550	$13,3 \pm 1,91$	27
Gorenje PVC	205.584	$60,9 \pm 1,55$	13
Gorenje plina	54.359	$12,1 \pm 2,51$	22
Termični razpad KMnO_4	282.758	$9,7 \pm 1,8$	10
Gorenje P	51.975	$115,2 \pm 2,19$	10
Termični razpad $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	223.251	$23,7 \pm 3,22$	21

5 Zaključek

V raziskovalni nalogi sem ugotavljal prisotnost nanodelcev v prostorih Gimnazije Ptuj. Poskušal sem ugotoviti, če je koncentracija nanodelcev v kakšnem prostoru izrazitejša zaradi morebitnega vira delcev. Iz opravljenih meritev je razvidno, da so nanodelci prisotni, kar pa ni presenetljivo. Koncentracija teh delcev večinoma ne presega koncentracije nanodelcev v zunanjem zraku. Če je koncentracija nanodelcev v zunanjem zraku večja zaradi vetra, suhega vremena ali zaradi drugega razloga, je tudi koncentracija nanodelcev v prostorih, ki se več zračijo, večja. V prostorih z manjšim zračenjem, je bila izmerjena koncentracija nižja. To sem ugotovil z meritvami v dveh učilnicah, na jugu so okna praktično odprta čez ves dan (v prehodnem vremenu ob sončnih dneh), na severni strani zaradi hladnejših prostorov in senčne lege, se okna le malo odpirajo.

- Tako lahko potrdim svojo domnevo, da je zaradi različnega režima zračenja severnega in južnega dela šole, koncentracija nanodelcev različna.
- Z meritvami nisem mogel potrditi, da bi v prostoru za kopiranje bila koncentracija nanodelcev bistveno večja, morda ob kakšnih drugih pogojih, več kopiranja, zapiranje oken, a tokrat svoje domneve nisem mogel potrditi.
- Zabeležil sem nekoliko povišanje koncentracij nanodelcev, zlasti tistih z manjšo dimenzijo, v času odmora, ko se dijaki selijo iz ene učilnice v drugo.
- Presenetljivo veliko razliko v koncentraciji nanodelcev sem izmeril med dvema učilnicama, ki sta na nasprotnih straneh šole, ena na severno, hladno stran, druga na južno, toplo stran. V hladni učilnici (učilnica 6) je povprečna koncentracija delcev bila 3800 v cm^{-3} zraka, v nasprotni učilnici (učilnica 3) pa 16.800 delcev v cm^{-3} zraka ali 4,4-krat več. Rezultat je presenetljiv, ker sem pričakoval, da bo več delcev v severni učilnici, ki se manj zračijo. Zavedati pa se je potrebno, da bi ob kakšnem drugačnem vremenu, morda deževnem, rezultat bil drugačen.
- Eksperimentiranje v laboratoriju je kljub pričakovanju dalo presenetljive rezultate. Vsakodnevno prižiganje sveče doma, zaradi ustvarjanja vzdušja ali

odišavljenja stanovanja, napolni prostor z veliko koncentracijo zelo majhnih delcev. Doma sicer ne razkrajamo kalijevega manganata, rezultati pa so pokazali, da lahko v šoli vsakodnevno proizvedemo velike koncentracije nanodelcev. Takšne vire bi lahko našli tudi pri nekaterih drugih predmetih, morda fiziki, biologiji. Ne glede na to, da zakonodaje o koncentraciji in velikosti nanodelcev v domačem in delovnem okolju še ni, bi priporočal, da se takšni eksperimenti v šoli čim več izvajajo v digestoriju. Ugotovil sem tudi, da dobro zračenje po vsakem eksperimentu v nekaj minutah zniža koncentracijo nanodelcev na vrednosti v zunanjem zraku. Z eksperimentom gorenja PVC materiala lahko opozorim na nevarnost kurjenja organskih spojin, ki vsebujejo klor. Pri gorenju zraven vidnih nastajajo velike koncentracije nanodelcev, ki so po vrh še zelo strupeni zaradi kemijske reaktivnosti.

Zaradi časovne omejitve instrumenta za merjenje nanodelcev, nisem mogel bolj sistematično opraviti meritev na šoli. Če se ponudi priložnost bi veljalo prostore pomeriti ob različnem vremenu in različnih dejavnostih. Moje meritve predstavljajo le košček v mozaiku meritev, ki jih je potrebno opraviti, da pridemo do določenih spoznanj, tokrat o nastajanju nanodelcev v našem vsakdanjem življenju. Zagotovo pa bo teh meritev v prihodnje še več.

6 *Literatura*

-
- ¹ Mednarodna podiplomska šola Jožefa Štefana Ljubljana, (online), dostopno na spletu: <http://www.mps.si/splet/index.asp?lang=slo> (citirano: 3.3.2012).
- ² M. Remšak, Nanodelci in nanonevarnost. Ministrstvo za zdravje, Urad RS za kemikalije, 2009.
- ³ M. Remškar, Imamo »um in pogum«, da ognjemetom rečemo ne? DELO, 13.7.2011.
- ⁴ J. Vaupotič, Nano Aerosols Including Radon Decay Products in Ambient Air, V: Nicolas Mazzeo (Ed.), Chemistry, Emission Control, Radioactive Pollution and Indoor Air Quality, InTech, 153-190, 2012.
- ⁵ Wikipedia, (online), dostopno na spletu: <http://en.wikipedia.org/wiki/Buckminsterfullerene>, (citirano: 5.2.2012)
- ⁶ Wikipedia, (online), dostopno na spletu: http://en.wikipedia.org/wiki/Lotus_effect, (citirano: 5.3.2012)
- ⁷ L. Mädler, S.K. Friedlander, Transport of Nanoparticles in Gases: Overview and Recent Advances. Aerosol and Air Quality Research, 7, 304-342, 2007.
- ⁸ J. Navodnik, Slovenija je ustvarjena za nanotehnologije: izdelki in tehnologije prihodnosti. Celje, Navodnik 2007.
- ⁹ K.E. Drexler, Molecular engineering: An approach to the development of general capabilities for molecular manipulation, Chemistry, 78, 5275-5278, 1981.
- ¹⁰ Evropska komisija, Nanotehnologija : inovacije za jutrišnji svet, (online), dostopno na spletu: ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/nano_brochure_sl.pdf (citirano : 1.2.2012)
- ¹¹ N.S. Holmes, A review of particle formation events and growth in the atmosphere in the various environments and discussion of mechanistic implications, Atmospheric Environment 41, 2183–2201, 2007.
- ¹² P.R. Buseck and K. Adachi, Nanoparticles in the Atmosphere. GeoScienceWorld 4, 389-394, 2008.
- ¹³ L. Morawska, Z. Ristovski, E.R. Jayaratne, D.U. Keogh, X. Ling, Ambient nano and ultrafine particles from motor vehicle emissions: Characteristics, ambient processing and implications on human exposure. Atmospheric Environment, 42, 8113–8138, 2008.
- ¹⁴ M.S. Bae, J. J. Schwab, O. Hogrefe, B. P. Frank, G. G. Lala, and K. L. Demerjian, Characteristics of size distributions at urban and rural locations in New York. Atmos. Chem. Phys., 10, 4521–4535, 2010.
- ¹⁵ P. Kumar, A. Robins, S. Vardoulakis, R. Britter, A review of the characteristics of nanoparticles in the urban atmosphere and the prospects for developing regulatory controls. Atmospheric Environment 1-18, 2010.
- ¹⁶ M. Kulmala, H. Vehkamäkia, T. Petäjäa, M. Dal Masoa, A. Lauria, V.M. Kerminenb, W. Birmilic, P.H. McMurryd, Formation and growth rates of ultrafine atmospheric particles: a review of observations. Aerosol Science 35, 143–176, 2004.
- ¹⁷ H. Minoura, H. Takekawa, Observation of number concentrations of atmospheric aerosols and analysis of nanoparticle behavior at an urban background area in Japan. Atmospheric Environment, 39, 5806–5816, 2005.
- ¹⁸ B. Nowack, T.D. Bucheli, Occurrence, behavior and effects of nanoparticles in the environment. Environmental Pollution, 150, 5-22, 2007.
- ¹⁹ J. P. Shi, D.E. Evans, A.A. Khan, R.M. Harrison, Sources and concentration of nanoparticles (<10 nm diameter) in the urban atmosphere. Atmospheric Environment, 35, 1193-1202, 2001.

-
- ²⁰ G. Oberdörster, E. Oberdörster, and J. Oberdörster, Nanotoxicology: An Emerging Discipline Evolving from Studies of Ultrafine Particles. *Environmental Health Perspectives* 113, 823-839, 2005.
- ²¹ D. Ravelli, M. Fagnoni, D. Dondi and A. Albini, Significance of TiO₂ Photocatalysis for Green Chemistry. *J. Adv. Oxidation Technologies*, 14, 40-46, 2011.
- ²² B. Tryba, M. Piszcz, T. Tsumura, M. Toyoda, and A.W. Morawski, Activity of TiO₂ Photocatalyst Modified with H₂WO₄ for Degradation of Organic Compounds in Water. *J. Advanced Oxidation Technologies*, 15, 9-20, 2012.
- ²³ T.C. Long, J. Tajuba, P. Sama, N. Saleh, C. Swartz, J. Parker, S. Hester, G.V. Lowry, and B. Veronesi, Nanosize Titanium Dioxide Stimulates Reactive Oxygen Species in Brain Microglia and Damages Neurons in Vitro. *Environmental Health Perspectives*, 115, 1631-1637, 2007.
- ²⁴ T.C. Long, N. Saleh, R.D. Tilton, G.V. Lowry, and B. Veronesi, Oxygen Species in Immortalized Brain Microglia (BV2): Implications for Nanoparticle Neurotoxicity, *Envir. Sci. Technol*, 40, 4346-4352, 2006.
- ²⁵ Grimm Aerosol, SMPS (Sequential Mobility Particle Sizer) Series 5.400. Manuel Instruction, Grimm Aerosoltechnik; Dorfstraße 9; 83404 Ainring