



AEROSOLI

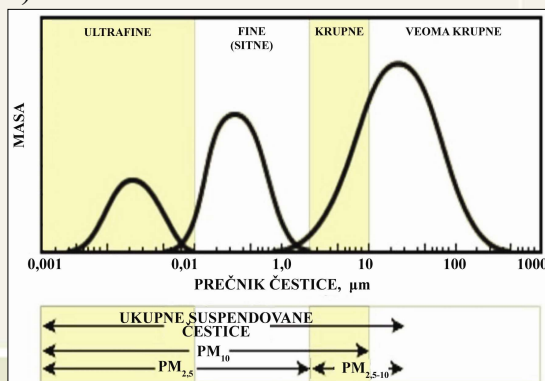
- **Aerosol ili čestična materija (particulate matter, PM)** je suspenzija čvrstih i/ili tečnih čestica u vazduhu
- Veličina čestica: od 0,001 μm (klasteri molekula gasova) do 100 μm (sitne kapi kiše)
- Potiču iz:
 - prirodnih izvora (vulkanske erupcije, peščane oluje, šumski požari, morski aerosol)
 - antropogenih izvora (sagorevanje fosilnih goriva, sagorevanje biomase, emisija čađi i dima iz vozila, fabrika, spaljivanje smeća, topljenje metala)

AEROSOLI

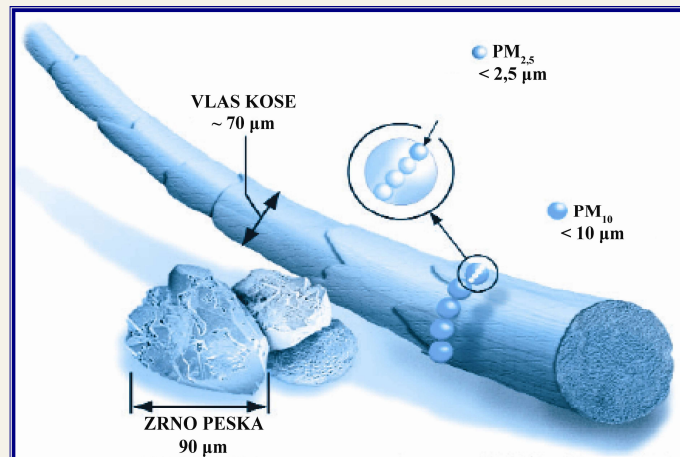
- Postoji:
 - primarni aerosol - čestice se emituju direktno u atmosferu
 - sekundarni aerosol - čestice nastaju nukleacijom molekula gasa u atmosferi
- Prosečna globalna koncentracija iznosi $\sim 10 \mu\text{g m}^{-3}$
- Rasipaju i apsorbuju vidljivu svetlost, čime smanjuju vidljivost, a lako se uočavaju
- Utiču na klimu:
 - direktno (rasipaju i apsorbuju Sunčevo zračenje)
 - indirektno (nukleusi za nastanak oblaka)
- Na njima se odvijaju reakcije u atmosferi (heterogene)

VELIČINA ČESTICA

- Veličina čestica definisana je **prečnikom** koji se izražava u mikronima ili mikrometrima (μm)
- Postoje 4 veličine čestica aerosola:
 1. Ultrafine (0,001-0,01 μm)
 2. Fine (0,01-1 μm)
 3. Krupne (1-10 μm)
 4. Veoma krupne (10-1000 μm)



VELIČINA ČESTICA

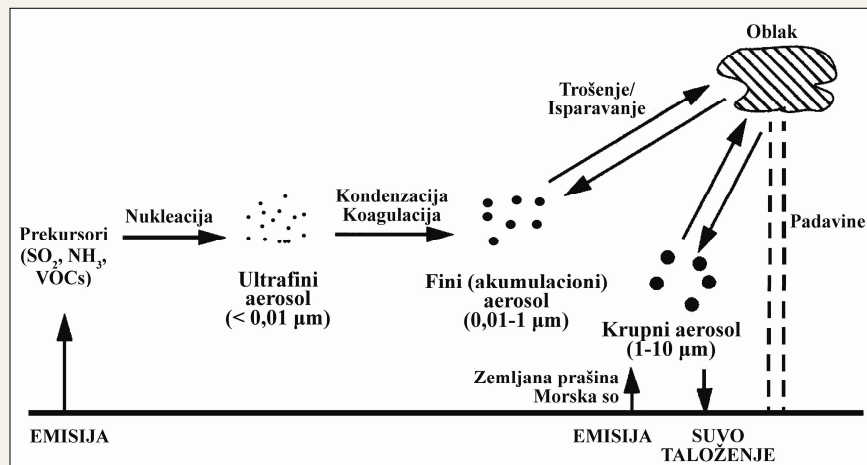


- PM_{2.5} - prečnik čestica < 2,5 µm
- PM₁₀ - prečnik čestica < 10 µm

VELIČINA ČESTICA

- Veličina čestica određuje njihovo ponašanje u atmosferi i ljudskom organizmu.
- Vreme zadržavanja u atmosferi zavisi od veličine:
 - najduže se zadržavaju fine, sitne čestice (0,01-1 µm) - nekoliko nedelja
 - ultrafine čestice (< 0,01 µm) se brzo koagulišu u krupnije - nekoliko minuta do nekoliko sati
 - krupne čestice (> 1 µm) se brzo talože - nekoliko sati do nekoliko dana
- Čestice prečnika 10 µm i manje (PM_{2.5} i PM₁₀) su najznačajnije sa stanovišta efekta na ljudsko zdravlje, jer imaju najveći potencijal za apsorpciju u plućima.

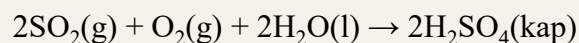
NASTANAK AEROSOLA



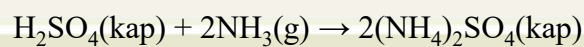
NASTANAK, RAST I UKLANJANJE ATMOSFERSKOG AEROSOLA

NASTANAK AEROSOLA

- U atmosferu se emituju gasoviti prekursori, kao što su SO₂, NH₃ i isparljiva organska jedinjenja (VOCs)
- Molekuli ovih gasova su obično prečnika 0,0001-0,001 μm
- Molekuli gasa, u procesu nukleacije, formiraju klastere (gomila, skup) koji su jezgra (nukleusi, klice) aerosola
- Nukleacijom nastaje **ultrafini aerosol** (prečnika 0,001-0,01 μm)
- Glavni prekursor je gas SO₂ (od sagorevanja fosilnih goriva, erupcija vulkana) koji daljom oksidacijom daje sulfatne tečne čestice (aerosol):



- Sastav ovih čestica može se dalje modifikovati kondenzacijom drugih gasova, npr. NH₃:



NASTANAK AEROSOLA

- Daljom kondenzacijom gasova i koagulacijom čestica (slepljivanje i spajanje prilikom sudara) ultrafini aerosol brzo raste do prečnika 0,01-1 μm i nastaje **fini aerosol**.
- Glavni sastojak finog (sitnog) aerosola su organska jedinjenja koja nastaju kondenzacijom viših ugljovodonika biogenog (ulaze u sastav živog sveta) i antropogenog porekla.
- Još jedan važan sastojak finog aerosola je čađ koja nastaje nepotpunim sagorevanjem, a sadrži elementarni ugljenik i organske aggregate.
- Čestice finog aerosola su suviše male da bi se istaložile, pa ih dalje vezuju (troše) kapljice oblaka i kasnije talože putem padavina ili u obliku krupnog aerosola (nakon isparavanja).

NASTANAK AEROSOLA

- Rast čestica većih od 1 μm je sporiji jer su suviše velike i sporije se kreću (što smanjuje brzinu koagulacije).
- Direktnom emisijom (putem vetra) u atmosferu dospevaju zemljana prašina, morska so, itd. koji čine **krupni aerosol**.
- Krupni aerosol se sastoji od čestica prečnika 1-10 μm .
- Ove čestice se brzo talože zbog težine, ali i putem padavina.
- Čestice krupnije od 10 μm se teško podižu vetrom i kratko vreme provode u atmosferi jer se brzo talože.

ATMOSFERSKI AEROSOL

- Većina atmosferskog aerosola se nalazi u donjoj troposferi, gde se maksimalno zadržava 1-2 nedelje.
- Stratosfera sadrži sloj sulfatnog aerosola na 15-25 km visine koji igra važnu ulogu u hemiji stratosferskog ozona.
- Značajan deo ovog aerosola dospeo je u stratosferu nakon velike vulkanske erupcije Mt. Pinatubo, 1991. god.
- Iako je količina sulfatnog aerosola u stratosferi svega $< 0,1\%$ količine sulfatnog aerosola u troposferi, vreme zadržavanja aerosola u stratosferi je mnogo duže, zbog nemogućnosti taloženja.

IZVORI AEROSOLA -prirodni-



Šumski požari



Peščane oluje



Vulkanske erupcije

ŠUMSKI POŽARI

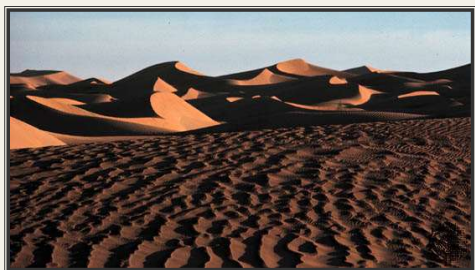
- glavni prirodni izvor atmosferskog aerosola
- svake godine, čovek inicira na hiljade malih požara radi raščišćavanja zemljišta u poljoprivredne svrhe



ŠUMSKI POŽARI

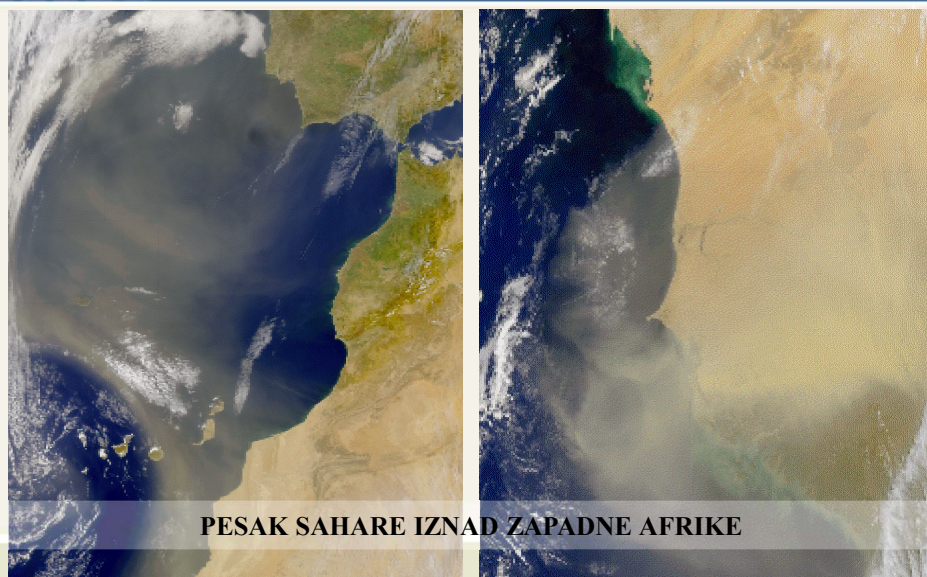


PEŠČANE OLUJE



- vetar podiže pesak sa pustinskih dina
- manje čestice ($\sim 5 \mu\text{m}$) se transportuju i do nekoliko hiljada km
- npr. pesak iz Sahare (severna Afrika) može se naći u Južnoj Americi

PEŠČANE OLUJE



PESAK SAHARE IZNAD ZAPADNE AFRIKE

VULKANSKE ERUPCIJE

- vulkanski aerosol se sastoji od sivkastog vulkanskog pepela (istaloži se za 1 dan) i sulfatnih čestica (od SO_2 , dugo opstaje)

IZVORI AEROSOLA -antropogeni-



Stacionarni izvori
(termoelektrane, fabrike)



Mobilni izvori
(vozila)

HEMIJSKI SASTAV AEROSOLA

- U čestici aerosola je prisutno više hemijskih vrsta
- Ipak, moguće je podeliti aerosoli u sledeće kategorije:
 - Sulfatni aerosol
 - Organski aerosol
 - Mineralni aerosol
 - Čađ
 - Morski aerosol

SULFATNI AEROSOL

- **Sulfatni aerosol (tečan)**
 - fini aerosol
 - sadrži SO_4^{2-} -jon, ali je zapravo heterogena smeša raznih vrsta aerosola
 - nastaje kompleksnim reakcijama oksidacije jedinjenja sumpora, kao što su SO_2 (nastaje sagorevanjem fosilnih goriva, vulkanskim erupcijama) ili dimetil-sulfida (stvaraju ga morski fitoplanktoni) - sekundarni aerosol

ORGANSKI AEROSOL

- **Organski aerosol (čvrst)**
 - fini aerosol
 - isparljiva organska jedinjenja (VOCs), emitovana iz prirodnih i antropogenih izvora, se kompleksnim reakcijama oksidacije transformišu u neisparljiva org. jedinjenja - sekundarni aerosol
 - org. jedinjenja sa više od 6 C-atoma teže da formiraju aerosol

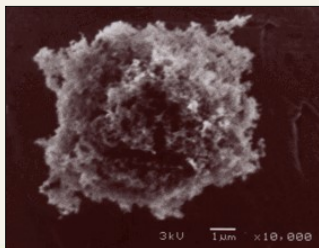
MINERALNI AEROSOL

- **Mineralni aerosol (čvrst)**
 - krupni aerosol
 - potiče od peščanih oluja iznad pustinja Sahara (severna Afrika) i Gobi (centralna Azija), dve najveće pustinje na svetu - primarni aerosol
 - može biti transportovan hiljadama km
 - važan kao mesto heterogenih reakcija u atmosferi
 - sastoji se od niza minerala, kao što su Al_2O_3 , SiO_2 , oksidi gvožđa, karbonati pomešani sa sulfatnim/organskim aerosolom

ČAĐ

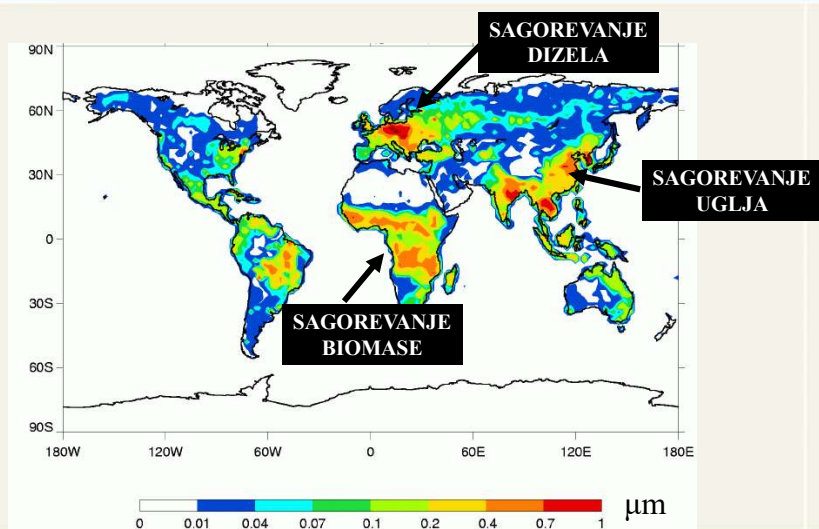
- Čađ (čvrst)

- fini aerosol
- čađ se sastoji od elementarnog ugljenika i organskih agregata
- nastaje sagorevanjem fosilnih goriva, u šumskim požarima - primarni aerosol
- sadrži i organski aerosol



čestica čađi

ČAĐ



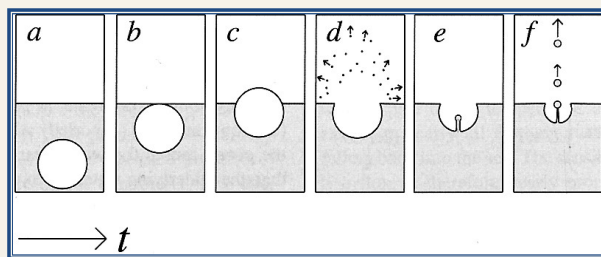
MORSKI AEROSOL

- **Morski aerosol**

- nastaje prskanjem kapljica na površini okeana - primarni aerosol
- sastoji se od NaCl, a sadrži i sulfatni aerosol



MORSKI AEROSOL



Nastanak morskog aerosola: vetar → mehurići → prskanje mehurića
→ sprej

POSLEDICE PRISUSTVA AEROSOLA

- Posledice po ljudsko zdravlje: bolesti pluća i srca. Posebno su opasne čestice manje od $2,5\text{ }\mu\text{m}$, jer prolaze kroz sve mehanizme odbrane, a ostaju suspendovane u vazduhu i do nekoliko nedelja.
- Smanjena vidljivost
- Nastanak oblaka

SMANJENA VIDLJIVOST

- U odsustvu aerosola vidljivost je prosečno 300 km.
- Čestice aerosola obično smanjuju vidljivost za jedan red veličine.
- Vidljivost je najmanja pri velikoj vlažnosti vazduha, jer aerosol nabubri adsorpcijom vode, što utiče na još veće rasipanje Sunčevog zračenja i pojavu izmaglice.

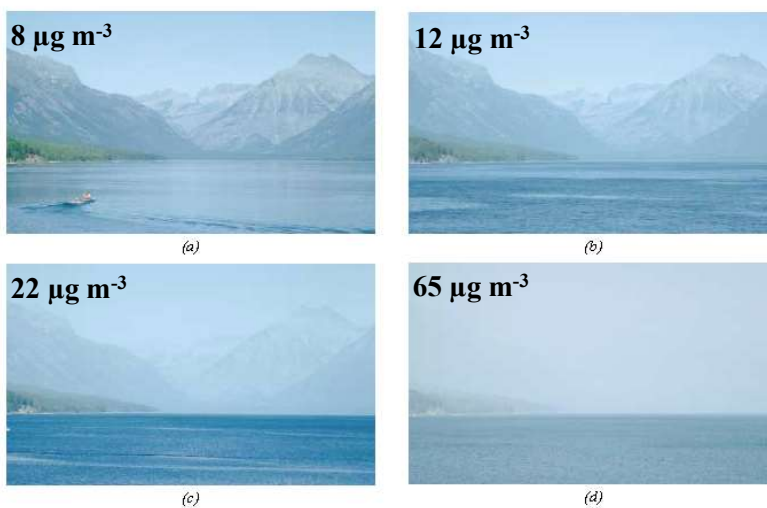
SMANJENA VIDLJIVOST



“čist” dan

“umereno zagađen” dan

SMANJENA VIDLJIVOST



ŠTA SU OBLACI?

- Oblaci se sastoje se iz sitnih kapljica vode ($\sim 100 \mu\text{m}$) i sitnih kristala leda.
- Da bi došlo do formiranja oblaka, vazduh mora da sadrži dovoljnu količinu vodene pare i kondenzaciona jezgra za nastajanje vodenih kapljica, a temperatura mora biti niska.
- Jesu aerosoli, ali se zbog jedinstvenih osobina razmatraju posebno.

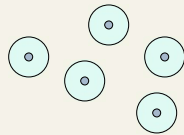


NASTANAK OBLAKA

- Oblaci nastaju kondenzacijom vodene pare.
- Topao, vlažan vazduh podiže se uvis, a sa porastom visine se hladi.
- Na niskoj t , vlaga ne može da se zadrži u obliku vodene pare, već se kondenzuje u kapljice vode i kristaliće leda i nastaju oblaci.
- Do kondenzacije retko dolazi homogenom nukleacijom.
- Nukleacija je pretežno heterogena, tj. do kondenzacije dolazi na nukleusima kondenzacije (kond. jezgrima) - obično čestični materijal.
- Posledica: oblaci su gušći kada je vazduh zagađen.

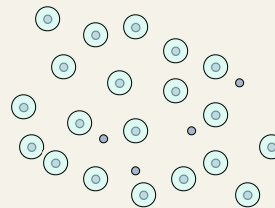


NASTANAK OBLAKA



Čist vazduh:

- veće kapljice vode
- nizak albedo
- efikasno taloženje

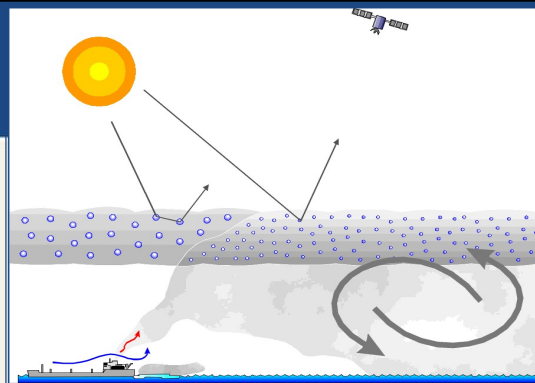


Zagađen vazduh:

- manje kapljice vode
- visok albedo
- smanjeno taloženje

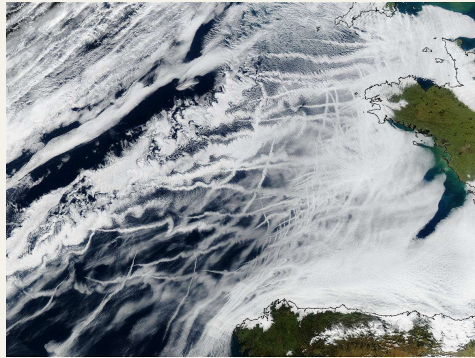
Albedo je mera refleksivnosti površine ili tela. Predstavlja odnos odbijenog zračenja i onog koje pada na telo. Na primer, albedo svežeg snega je ~ 90%, dok površina okeana ima mali albedo.

PUTANJE BRODOVA

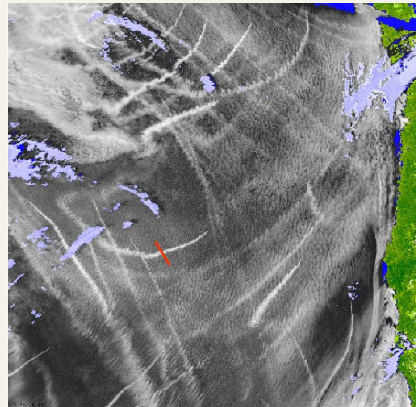


- Čestice (sulfatni aerosol) koje emituju brodovi povećavaju konc. kondenzacionih jezgara za nastajanje oblaka.
- Kapljice vode su manje, lakše se zadržavaju u vazduhu (smanjeno taloženje putem padavina), visok stepen odbijanja zračenja (albedo).
- Oblaci su optički gušći i duž putanja brodova javljaju se tragovi kondenzacije.

SATELITSKI SNIMCI PUTANJA BRODOVA



Atlantik, Francuska, Španija



Zapadna obala SAD-a

SATELITSKI SNIMCI PUTANJA AVIONA



Nebo iznad Francuske (iz Space Shuttle-a)