

Hiukkaset eli partikkelit

Particulate Matter, PM



Tämä teos on lisensoitu Creative Commons Nimeä-EiKaupallinen-JaaSamoin 4.0 Kansainvälinen -lisenssillä.
Tarkastele lisenssiä osoitteessa <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Kaupallinen käyttö sallittu vain KiertotalousAMK-hankkeen 2018–2020 (OKM rahoituspäätös OKM/302/523/2017) partnereille.

kierto-
talous
AMK
CIRKULÄR EKONOMI YH
CIRCULAR ECONOMY UAS



Opetus- ja
kulttuuri-
ministeriö

Sekalainen joukko

- Kemiallinen koostumus vaihtelee
 - Kiinteitä tai nestemäisiä
 - Erikokoisia ja –muotoisia
 - Jotkut ovat haitallisempia terveydelle kuin toiset.
-
- Useimmat hienoista partikkeleista (0,1–10 μm) muodostuvat palamisen, höyrystymisen tai kondensaation seurauksena.
 - Sekundaariset hiukkaset muodostuvat kaasumaisista päästöistä vasta ilmakehässä



Putoamisliike

- **Putoamisliike** on kappaleen liikettä painovoimakentän vallitessa kohti painovoimakeskusta
- **Putoamiskiikkyvyys (g)** on taivaankappaleen (esimerkiksi Maa) vetovoiman putoaville kappaleille aiheuttama kiihtyvyys
- Ilman ilmanvastusta kappale (myös pikku hiukkanen) siis putoaisi koko ajan kiihtyvällä nopeudella.
- Lisäksi kiihtyvyys olisi sama riippumatta kappaleen massasta ja muodosta
- Ihan noin eivät asiat ole ilmakehässä: [video putoamisesta](#)

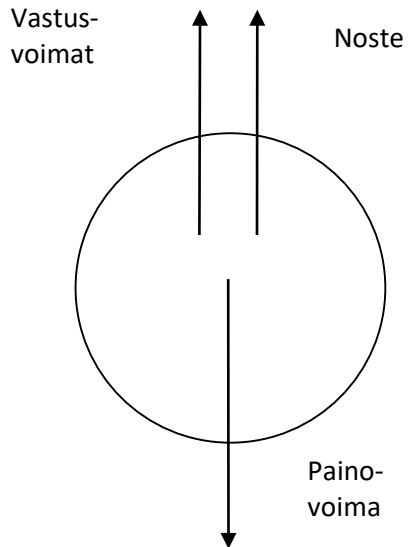


Hiukkaset putoamisliikkeessä

- Hiukkaset voidaan jakaa kahteen ryhmään:
 - pöly, joka laskeutuu nopeasti suuren laskeutumismisnopeutensa vuoksi, ja
 - suspensiohiukkaset, jotka laskeutuvat niin hitaasti, että niiden voidaan ajatella jäävän ilmakehään, kunnes poistuvat sateen mukana.
- Selkeää rajaa ryhmien välillä ei tietenkään ole
 - Noin 10 μm
- **Aerosoli** on kaasun ja siinä leijuvien kiinteiden tai nestemäisten hiukkasten seos
 - Usein aerosolilla tarkoitetaan nimenomaan aerosolihiukkasia



Putoavaan hiukkaseen vaikuttavat voimat



- Painovoima vetää hiukkasta alas
- Ilmanvastus pyrkii hidastamaan liikettä.
- Noste pyrkii nostamaan kappaletta ylöspäin väliaineessa (neste tai kaasu). Noste on yhtä suuri, mutta suunnaltaan vastakkainen, kuin kappaleen syrjäyttämän neste- tai kaasumäärän paino.
- Painovoima ja noste ovat vakioita, mutta ilmanvastus kasvaa kappaleen nopeuden kasvaessa.



Rajanopeus / Terminaalinopeus (Terminal velocity)

- Putoavan kappaleen nopeus yleensä kiihtyy.
 - Kaasussa noste on pieni painovoimaan verrattuna.
- Nopeuden kasvaessa ilmanvastus kasvaa nopeasti.
- Saavutetaan tilanne, jossa:
ilmanvastus + noste = painovoima
- Ylös- ja alaspäin vaikuttavat voimat kumoavat toisensa eli hiukkaseen vaikuttavien voimien summa = 0 ja hiukkaseen kiihtyvyys = 0
- Silloin hiukkanen jatkaa matkaansa tasaisella nopeudella (ei suinkaan pysähdy).
- **Rajanopeus** on suurin nopeus, jolla putoava kappale voi liikkua putoamissuuntaan
 - Esim. putoavalla ihmisellä noin 190 km/h (53 m/s)



Pienten hiukkasten rajanopeus

- Usein sanotaan ilmanvastuksen kasvavan nopeuden neliössä
 - Autot, lentokoneet yms. isot kappaleet
- Pienille hiukkasille (tavanomaiset ilmassa olevat saastehiukkaset) pitää paremmin paikkansa Stokesin laki:

$$F_d = 3\pi\mu Dv \quad (1)$$

- Missä:
 - μ väliaineen viskositeetti
 - D hiukkasen halkaisija
 - v hiukkasen nopeus väliaineeseen nähden

$$F = ma = \rho_p \frac{\pi}{6} D^3 g - \rho_g \frac{\pi}{6} D^3 g - F_d \quad (2)$$

- Sijoitetaan (1) yhtälöön (2), jossa on siis painovoima - noste - ilmanvastus = 0 ja ratkaistaan v



...rajanopeus

- $$v_t = \frac{gD^2(\rho_p - \rho_g)}{18\mu}$$

g painovoimakiihtyvyyys

D hiukkasen halkaisija

ρ tiheys (p hiukkasen, g kaasun)

μ kaasun viskositeetti

Nämä tekijät vaikuttavat siis rajanopeuteen. Käytännössä vain D vaihtelee.

Yhtälö ei sovi isoille hiukkasille (pöly) eikä myöskään todella pienille hiukkasille (nanohiukkaset)



Esimerkki

$$v_t = \frac{gD^2(\rho_p - \rho_g)}{18\mu}$$

- Lasketaan rajanopeus hiukkaselle, jonka halkaisija on 1 μm
- Hiukkasten tiheys voi vaihdella. Yleisesti käytetään arvoa 2000 kg/m^3
- Ilman tiheys (20 $^{\circ}\text{C}$) 1,20 kg/m^3 ja viskositeetti 1,8 $\cdot 10^{-5}\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$
- Siis:
 - $v_t = 9,81 \text{ m}/\text{s}^2 \cdot (10^{-6}\text{m})^2 \cdot (2000\text{kg}/\text{m}^3 - 1,20\text{kg}/\text{m}^3) / (18 \cdot 1,8 \cdot 10^{-5}\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s}))$
= 6,05 $\cdot 10^{-5}$ m/s (=0,22 m/h)
 - Aika paljon pienempi kuin putoavan ihmisen rajanopeus!
- Jos $D=10 \mu\text{m}$, saadaan 6,05 $\cdot 10^{-3}$ m/s. Hiukkasen koko vaikuttaa todella paljon rajanopeuteen.



Hiukkasten erottaminen kaasuista

Menetelmiä hiukkasten erottamiseen kaasuista

- Dynaamiset erottimet
 - Laskeutin
 - Lamellierotin
 - Sykloni
- Sähkösuodin
- Suodattimet
 - Letkusuodatin
 - Kuitusuodatin
- Märkäerottimet (pesurit)



Erilaisten puhdistuslaitteiden käyttöalue

Laite	Hiukkaskoko (µm)	Erotusaste (%)
Mekaaniset erottimet		
Laskeutin	> 50	< 50
Sykloni	5-50	50-90
Multisykloni	1-50	50-99
Suodattimet		
Letku-/kuitusuodatin	0,5-50	50-99,9
Sähköiset erottimet		
Kylmä sähkösuodin	0,1-50	50-99,99
Pesurit		
Venturipesuri	0,2-50	50-99,99



Erotusasteita erikokoisille hiukkasille

Laite	Hiukkaskoko <0,5 µm	Hiukkaskoko >0,5 µm
Sykloni	< 40 %	50-97 %
Multisykloni	< 60 %	75-100 %
Letkusuodatin	99,5 %	100 %
Sähkösuodin	70 %	97-100 %
Pesuri	90 %	98-100 %

