

7.1 Rannikkoilmiöitä

Mereltä tuleva tuuli jarruuntuu tullessaan rosoisemmalle maalle, rannikkokorvergenssi, nouseva liike. Voi voimistaa sateita rannikon lähellä. Sateet voimistuvat myös rannikkoylängöillä.

Maalta puhaltava tuuli kiihtyy meren päällä (kääntyy vähän oikealle), rannikkodivergenssi, laskeva liike.

Jos maatuuli tulee rantajyrkäntein yli, sen alla/lähellä tyyntä tai pyörre, hieman kauempana puuskaista (samoin rakennusten takana, katukuiluissa)

Rannikon suuntainen tuuli

Jos rosoisempi maa on oikealla,
rannikkokorvergenssia

Jos lisäksi erittäin stabiili kerrostuminen, tuuli ei
pääsekään maan päälle, tuuli rannassa voimistuu
jopa 5 m/s

Jos maa vasemmalla, tuuli rannikolla heikompa
rannikkodivergenssin takia

Piirrä Ekman-spiraali, tarkastele hitaamman (alem-
pana) ja nopeamman (ylempänä) tuulen suuntaa.

Ekman-spiraali yhä vain: keskituuli (p-pallonpuolis-kolla) kääntyy pinnasta noustessa oikealle.

Voimakkaissa puuskissa isot pyörteet sekoittavat pinnalle ilmaa korkeammalta, joten puuskien kovempi tuuli on hieman oikealle kääntynyttä pintatuuleen nähden. Erityisesti jos pinta on oikein rosoista, jolloin tuuliprofiili on pinnan lähellä jyrkkä (saaristo, tai tuuli maalta)

Kun kylmä ja kuiva ilma virtaa (jään päältä, maalta) vapaan veden ylle, sekoittuminen voimakasta, lämpötila ja kosteus kasvavat nopeasti, uusi sekoittunut sisäinen rajakerros, sc-pilviä, kuva 12.

Mereltä tuleva lämmin ja kostea ilma voi kylmälle maalle, kylmän kerrostuneen pintailman päälle noustessaan, aiheuttaa sankkoja lumisateita rannikkokorvergenssin alueella.

Esim. Gävle, itä-koillistuulen aikaan.

Joulukuussa 1998 1.5 m kinokset.

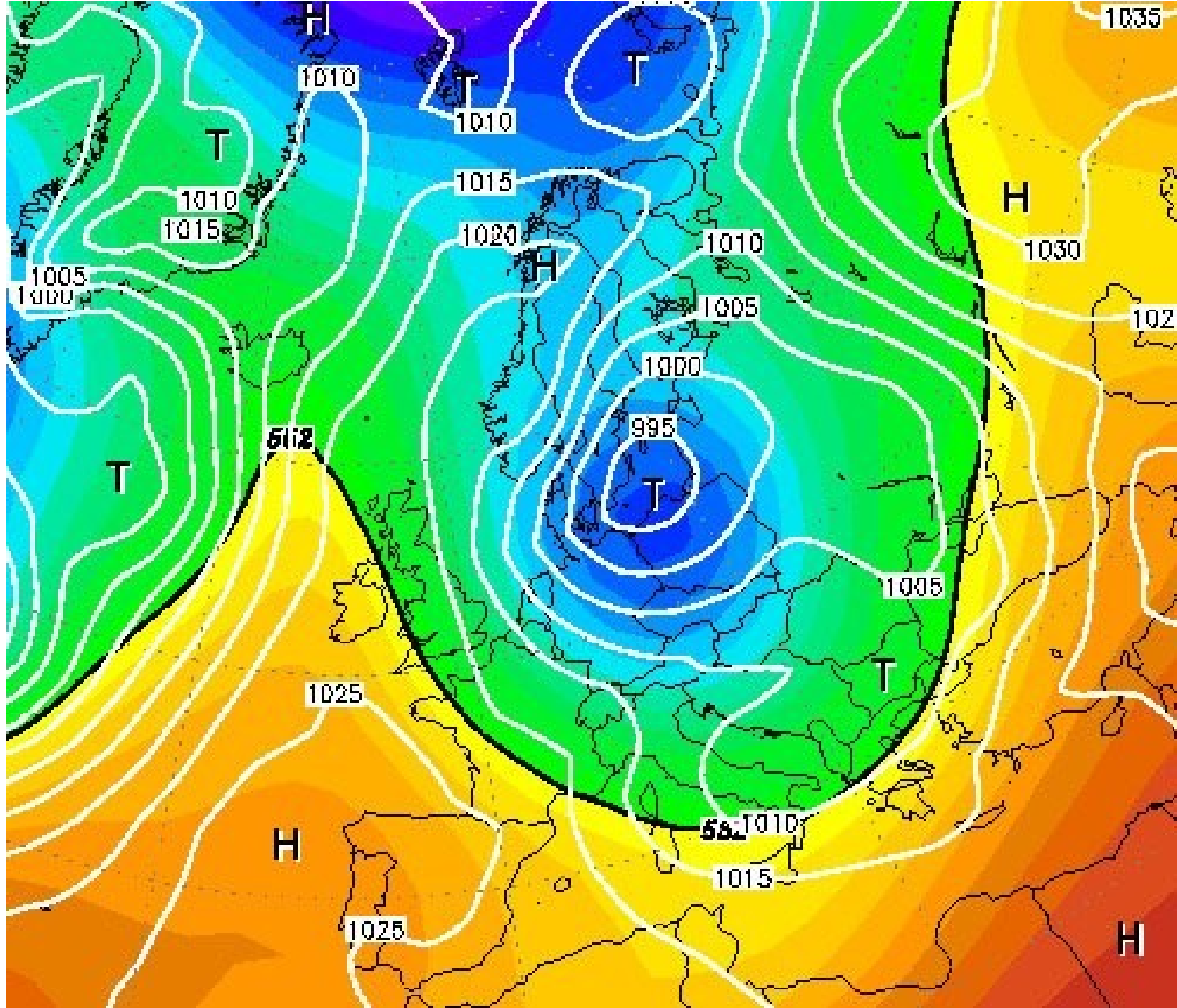
Sweden

- International boundary
- ★ National capital
- Railroad
- Road

0 50 100 Kilometers
0 50 100 Miles

Lambert Conformal Conic Projection, SP 47N/62N





Pinnanmuotojen vaikutusta (ei enää rannikkoa)

Neutraalissa ja epästabiilissa kerrostumisessa pintatuuli ylittää helposti pienet maastoesteet

Raskas stabiili ilma sen sijaan pyrkii kiertämään esteet sivulta

Kukkulaa tai saarta kiertävä ilma kanavoituu laaksoihin tai salmiin, tuuli voimistuu

Leveämmät mäkijonot aiheuttavat aallon virtaukseen, kovin tuuli on esteen takana, ja on puuskaista

Hyvin stabiilissa tilanteessa laaksoihin pakkautuu kylmää seisovaa ilmaa

Samoin maastoesteiden tuulenpuolelle pakkautuu kylmän seisovan ilman kiila, jota pitkin kauempaa tuulen tuoma, myös kylmä, ilma nousee esteen yli

Esteen takana tämä ilma valuu pinnanmyötäisesti alas. Tällainen tuuli on puuskaista.

Suomessa harvinaista, mutta Alpeilla föhnin, boran, mistralin yhteydessä. Myös Kalliovuorilla.

Jos perusvirtaus on heikkoa, syntyy rinnetuulia

Päivällä auringon lämmittämiä rinteitä ylöspäin
(anabaattinen tuuli)

Yöllä ulossäteilyn jäädyttämiä rinteitä alaspäin
(katabaattinen tuuli)

Vuoristoalueilla nämä synnyttävät oman
tuulijärjestelmänsä, kuva 13.

Antarktiksella ja Grönlannissa aina kylmiä
jäätikkörinteitä, joilla voi vallita aina katabaattinen
tuuli. Ympäri vuorokauden ja vuoden.

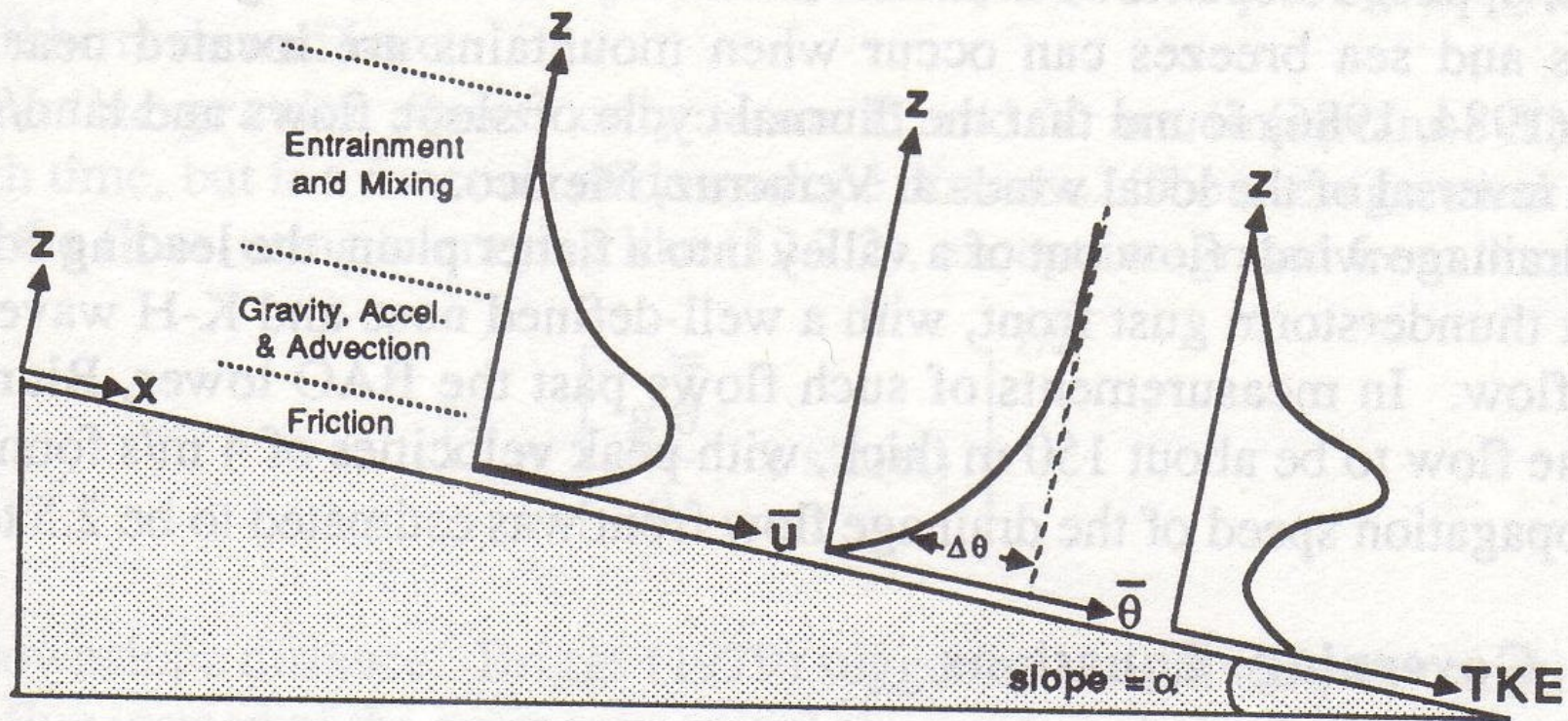


Fig. 12.23 Downslope drainage winds in a SBL.

Inertiaali-oskillaatio: Kun päivällä vallinnut vahva sekoittuminen lakkaa, Ekman-kerroksessa tuulen nopeus ei enää ole sekoittumisen kautta kytketty tasapainoon geostrofisen tuulen ja pintakitkan välille, tuulen ageostrofiseen komponenttiin syntyy oskillaatio jaksolla:

12h / $\sin(\text{leveysaste})$

45 astetta antaa 17 tuntia, 60 astetta antaa 14 tuntia

Iltapäivällä muodostunut ageostrofisen komponentti kokee inertiaali-oskillaatiota, yöllä sillä on geostrofisen tuulen suuntainen hetki. Tämä vaikuttaa yölliseen suihkuvirtaukseen.

7.4 Alustan lämpötilaerot

Merituulet:

Heikko perusvirtaus ($V_g < 7 \text{ m/s}$)

Hyvin sekoittuneen lämpimän maan päältä virtaa ilmaa merelle, ilma nousee meren neutraalin, viileämmän ilman päälle. Pinnassa virtaakin mereltä tuulta maalle, syntyy kiertävän ilman solu.

Coriolisvoima kääntää merituulta iltapäivän mittaan oikealle.

Solu liikkuu hitaasti sisämaahan päin, heikkenee vähitellen illalla. Tyynessä tilanteessa kääntymisen voi jatkua heikoksi maatuuleksi aamulla.

Heikko perusvirtaus maalta => vahva merituuli.
(Miksi virtaus maalta aiheuttaa tuulen mereltä?)
Tai jos kylmä ilmassa.

Lämmin ilmassa, tai perusvirtaus mereltä,
heikentää merituulta.

Sopiva perusvirtaus etelästä (4 - 7 m/s) voi iltaa
kohti siirtää Viron rannikon merituulisolun Suomen
puolelle. Tällöin merituuli puhaltaa Suomen rannikolla
merelle päin, ja illan mittaan voi kääntyä itätuuleksi.

Pieni saari ei kykene kehittämään merituulta, mutta aurinkoisena päivänä saaren yllä lämpökumpuamista, ja sen tilalle tulee puuskittain mereltä ilmaa

Cu- ja Cb-pilviä merituulirintamassa, ja saarten päällä

Kaupunkituuli

Kaupunki on lämpösaareke (tummemmat pinnat, lämmitys, teollisuuden lämpö)

Etenkin iltapäivällä merituulimainen pintavirtaus kohti kaupunkia. Paluuvirtaus 0.5 – 1 km korkeudella

Yöllä stabiilisuus heikentää tuulia.

Mississippijokilaaksossa:

Yleensä tuulee lännestä.

Joen länsipuolella yöllinen tuuli + sen suihkuvirtaus,
ja katabaattinen tuuli samansuuntaisia

Itäpuolella erisuuntaisia

Mississippi River Basin



This map is not to scale.

Kaupunki laaksossa:

Päivällä rinnetuulet pois kaupungista, ylös rinteitä,
mutta kaupunkituuli kohti kaupunkia

Kokonaistuuli heikko, saasteet keräytyvät

7.5 Rajakerroksen pilvet ja sumut

Voimakas sekoittuminen, potentiaalilämpötilan profiili rajakerroksessa (sekoittuneessa kerroksessa)
n. vakio

Yläosassa ilma jäähtyy, kyllästystila ja pilviä

Pilvien alaraja suunnilleen pintailman nostotiivistyskorkeus

Kauniin kesäpäivän cu-pilvet hajanaisia, varjostavat maata usein sen verran että lämmön/kosteuden vuo heikkenee hieman, ei ehkä tule täyspilvistä

Tuulen voimistuminen lisää sekoittumista, syventää sekoittunutta kerrosta, edistää rajakerrosstratituksen syntymää.

Samoin edistää lämmin advektio kylmälle alustalle.

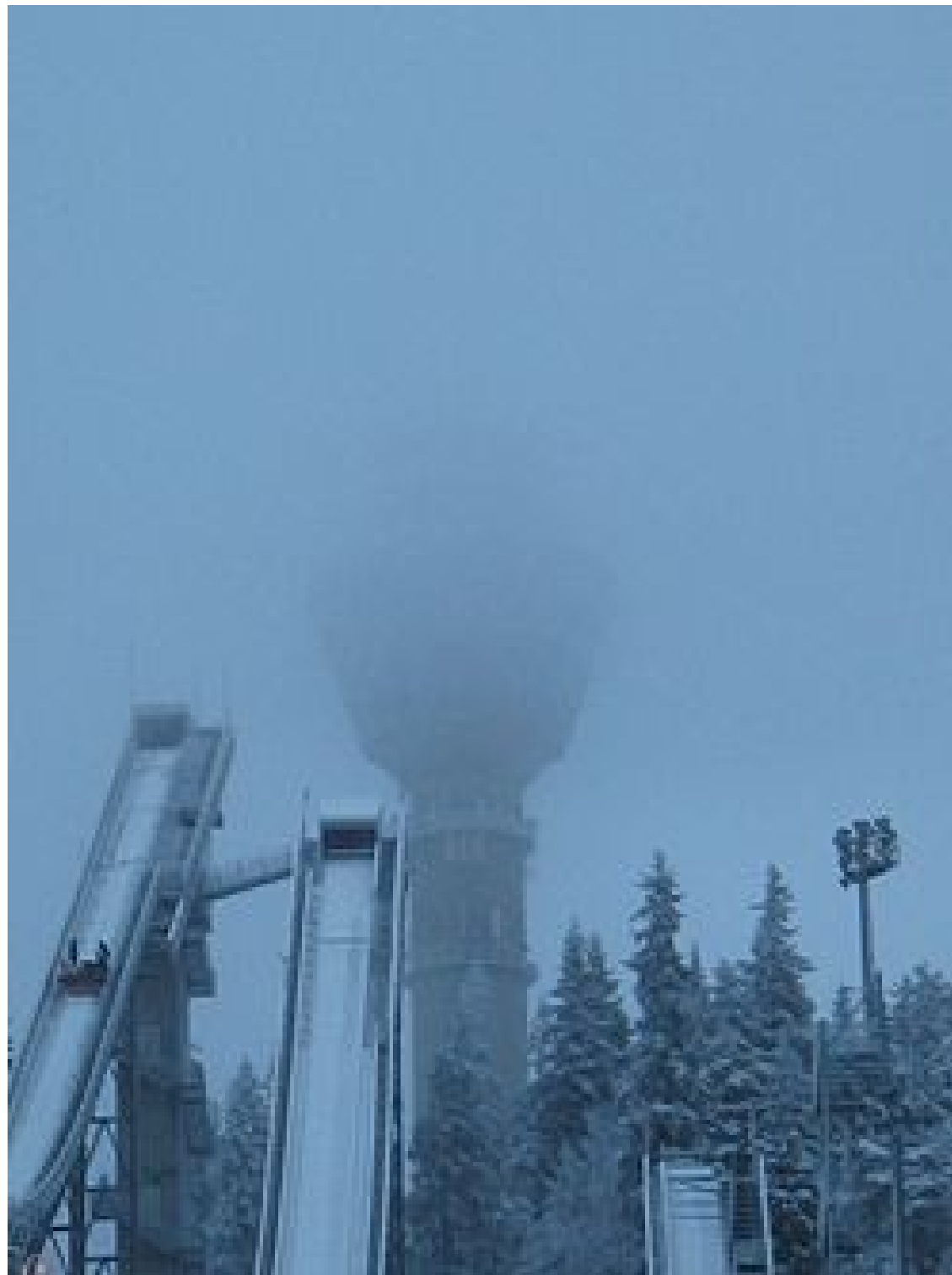
Kylmä advektio hälventää rajakerrosstratusta

Stratus: tasaisen harmaa eli sumupilvi.

Muistuttaa sumua mutta ei ulotu maahan asti.

Kuiva föhn yli Skandien voi hälventää rajakerros-pilvet itä-Suomea myöten.

Lämmin, kostea lounaistuuli: sc-kerros



Pilven huipun säteilyjäähdytys, top-down-konvektio pyrkii ylläpitämään kerran muodostuneita rajakerrospilviä, vaikka tuuli/sekoittuminen heikentäisi

Säteilysumu

Heikkotuulinen, kostea, selkeä tilanne

Alusta säteilyjäähdytys illalla, ilma jäähtyy sekä alustan että ulossäteilyn takia => kosteus tiivistyy

Muodostuu ohut sumu.

Maanpinta ei enää jäähdy (sumun vastasäteily)

sumun yläosa säteilyjäähdytys ja sumu kasvaa

korkeutta. Top-down kiertoliike aiheuttaa sekoittumista ja tuo alhaalta kosteaa ilmaa ylös, tiivistyy

Sumu häviää kun aurinko pääsee lämmittämään

pintaa, tai tuuli nostaa sumun maasta ylös

stratuspilveksi

Kevätrannikoilla yleinen **advektiosumu**:

Lämmin, kostea ilma jäähtyy viileämmän meren päälle tullessaan

Syksyn **sekoitussumut**, järvien höyryäminen, “merisavut”: ilmaa lämpimämpi vesialusta nostaa lämmintä, kosteaa ilmaa kylmään ilmamassaan (joka on peräisin ympäröivän maan päältä)

Epäpuhtauksien diffuusio ja kuljetus

Epäpuhtauksia:

Hiukkasia eli aerosoleja: noki, tuhka, sulfaattipartikkelit

Kaasuja: rikkidioksidi, metaani, hiilivedyt, typen oksidit, metyylimerkaptaani

Syntyvät: teollisuudessa, liikenteessä, lämmityksessä (ylipäättään fossiilisten polttoaineiden poltossa), maataloudessa, myös kasvillisuudesta

Miten epäpuhtaudet kulkevat tuulen mukana (advektio) ja sekoittuvat turbulenssin takia (“diffuussio”)

Tähän vaikuttaa tuuliolot:

tuuliväanne, alustan rosoisuus, stabiilisuus,

myös paikalliset rajakerrosilmiöt (merituulisolut, kaupunkisolot)

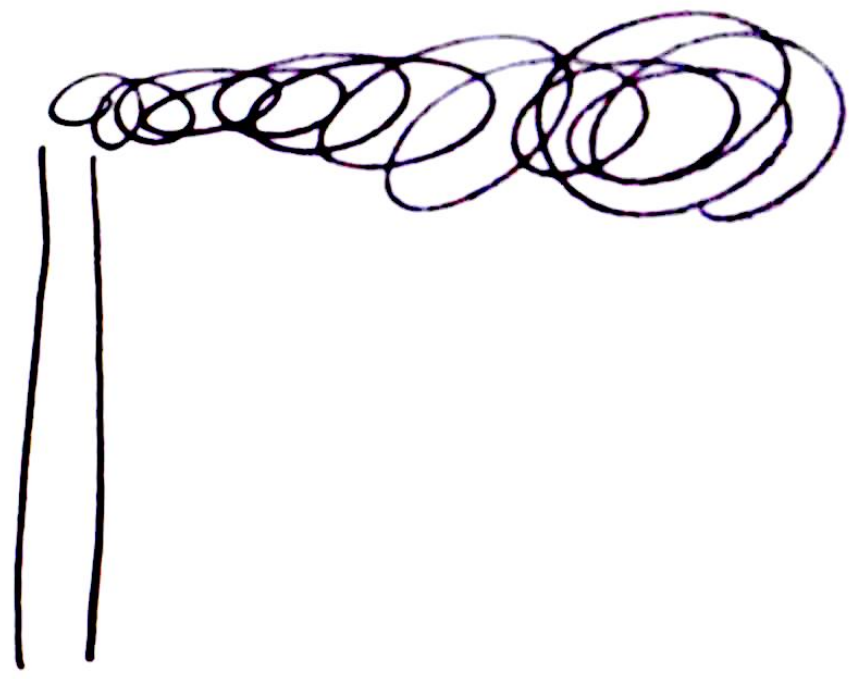
Jos on:

Heikko tuuli: epäpuhtaudet eivät kulkeudu pois vaakasuunnassa

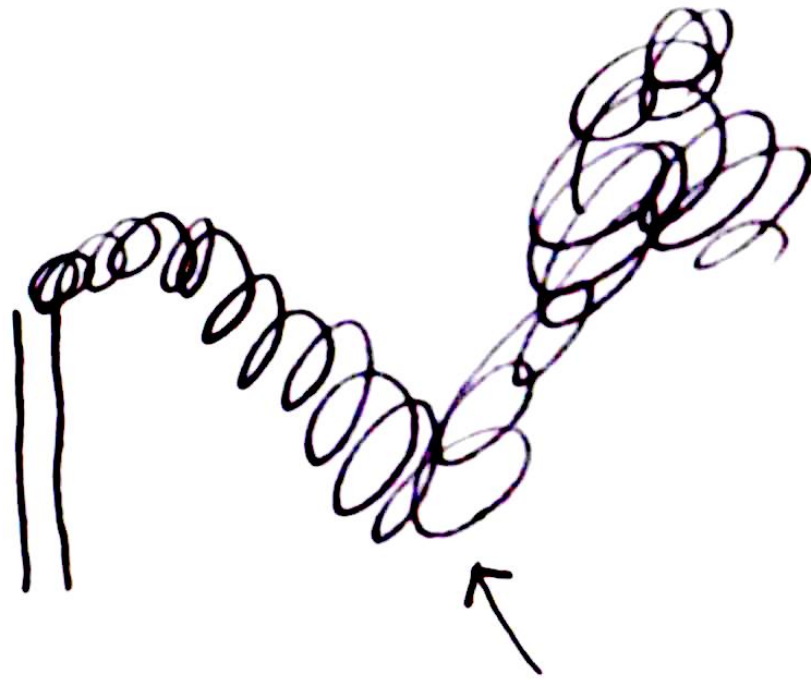
Stabiili kerrostuminen: eivät myöskään sekoitu pystysuunnassa

Tuulen heikkous (vähemmän mekaanista turbulenssia) yhtessä stabiilin kerrostumisen kanssa edelleen vähentää myös turbulenttista sekoittumista

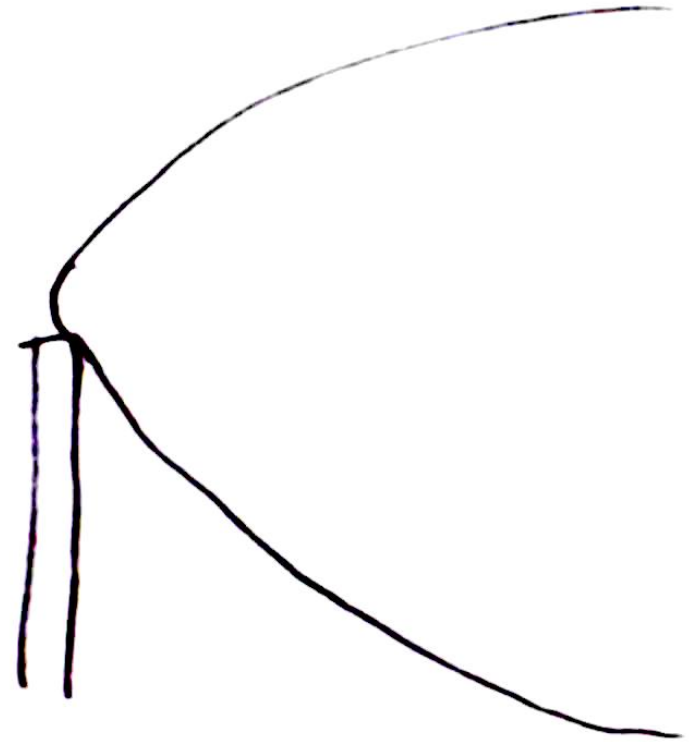
Stabiili



Konvektio (epästabiili)



Hetkellinen



aika kestävä

Yläinversio

3



Kulkeutumisen mallintamisesta

4

$C = \bar{C}$ = hiivenaineen pitoisuus

$$\begin{aligned}\frac{\partial C}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla C &= S - \frac{\partial}{\partial x} \overline{C'u'} - \frac{\partial}{\partial y} \overline{C'v'} - \frac{\partial}{\partial z} \overline{C'w'} \\ &= S + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right)\end{aligned}$$

$$C = C(x, y, z, t)$$

Termi S sisältää kaikki c:n lähteet ja nielut

- päästölähde
- kaasu-hiukkanen-muuntuma
(esimerkiksi rikkihappo kerääntyy pisaroihin)
- isojen hiukkasten painovoimainen putoaminen
eli sedimentaatio
- radioaktiivinen hajoaminen
- märkäpoistuma sadepisaroiden huuhtomana
(erityisesti hiukkasille)
- kuivadepositio maan pinnassa

Analyttinen malli

$u(z)$, ~~$v(z)$~~ , ~~$w(z)$~~ , $\theta(z)$, $q(z)$

profiilit saadaan stabiilisuudesta

$$K = K_h = (kz)^2 \frac{\partial u}{\partial z} f_h(R_i)$$

(prujut: $K_z = K_h$, $K_x = K_y = 5 \text{ m}^2/\text{s}$)

$$\vec{V} \cdot \nabla C = (u, 0, 0) \cdot \left(\frac{\partial C}{\partial x}, \frac{\partial C}{\partial y}, \frac{\partial C}{\partial z} \right) = u \frac{\partial C}{\partial x}$$

Numeerinen malli

u, v, w - yhtälöt

θ - yhtälö

q - yhtälö

} 1D tai 3D

$$\frac{\partial c}{\partial t} + V \cdot \nabla c = S + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial c}{\partial z} \right)$$

Jos kertoimet K laitetaan vertikaaliksi:

7

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = S + K_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2}$$

tässä on kyse diffusioyhtälöstä

$$\left[\frac{\partial C}{\partial t} = K \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \right] \quad \text{tai} \quad \left[\frac{\partial C}{\partial t} = K \nabla^2 C \right]$$

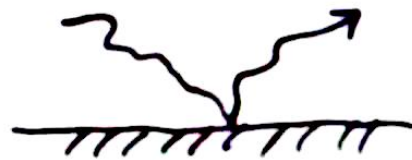
liikkuvassa koordinaatistossa

Eli: lähellä lähdeettä oletetaan:

tuuli u
vaihtokertoimet K } vakioita

ei nielujä

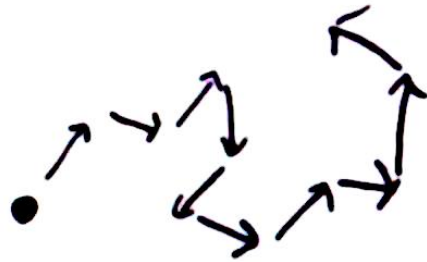
maanpinta "heijastava"



Hienan matkatiikka

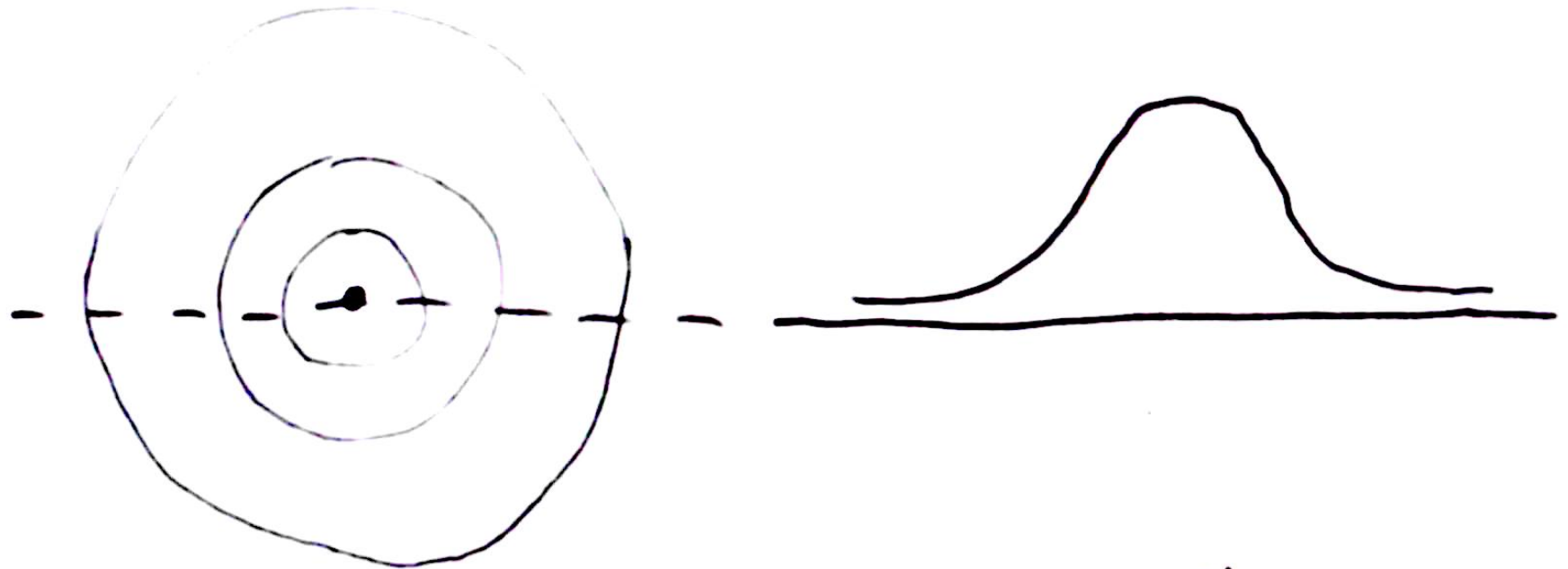
Robert Brown 1827

Brownin liike:



TN-jakama useiden askelten jälkeen: 10

2D-normaali-jakama

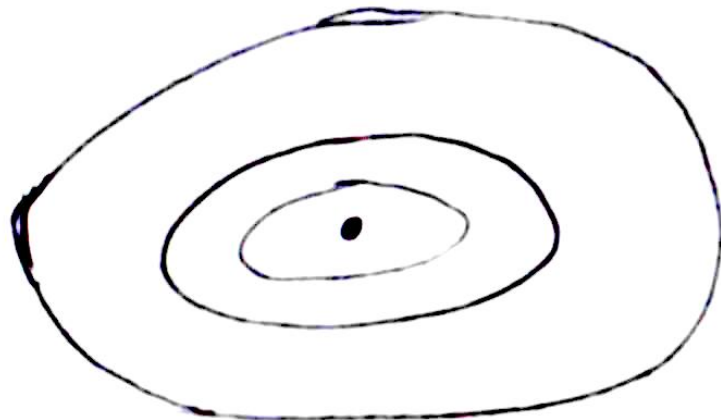


Sama ratkaisu pistelähteestä alkaneelle
diffusioyhtälölle

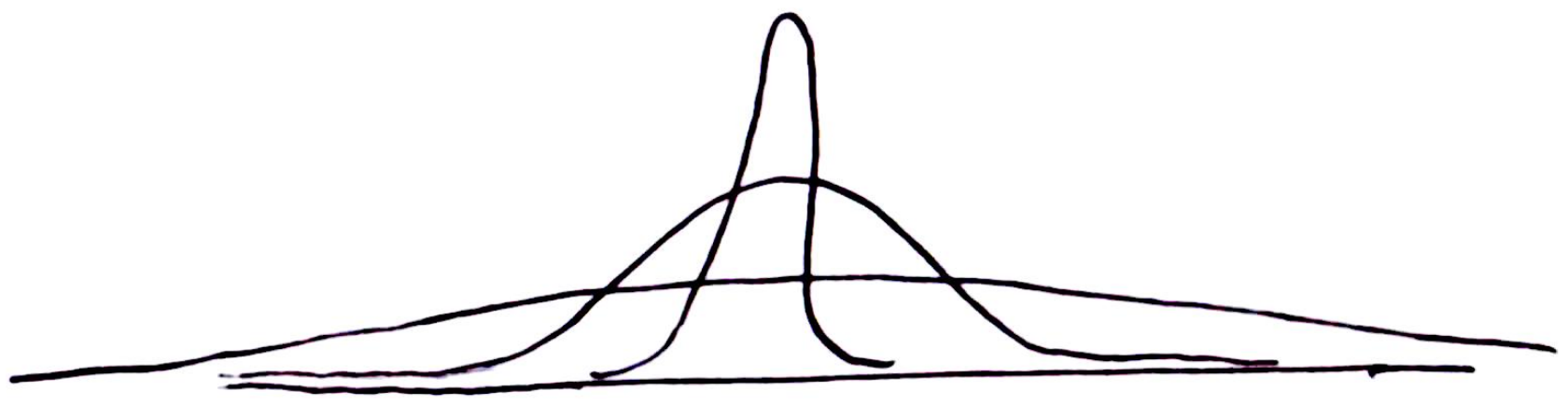
Askelkoko/diffuusiokerroin eri suuntiin

||

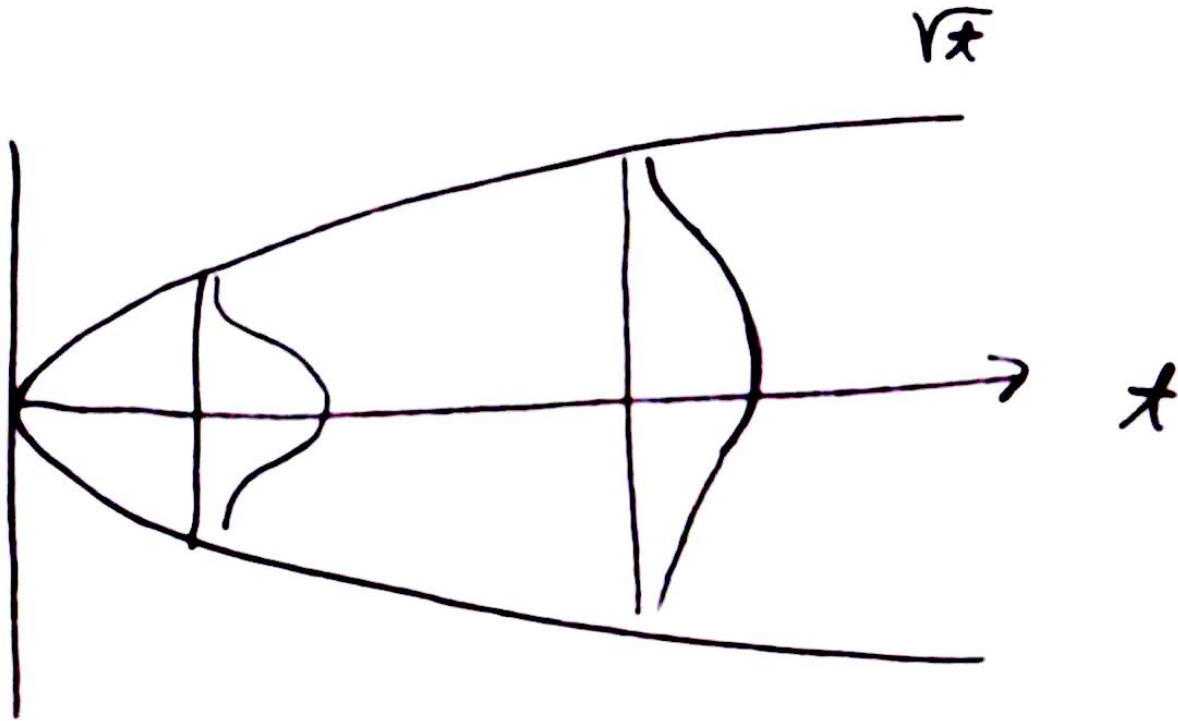
voi olla erilainen:



Diffusioyhtälön ratkaisu on ajan mittaan
levevä normaali-jakauma:



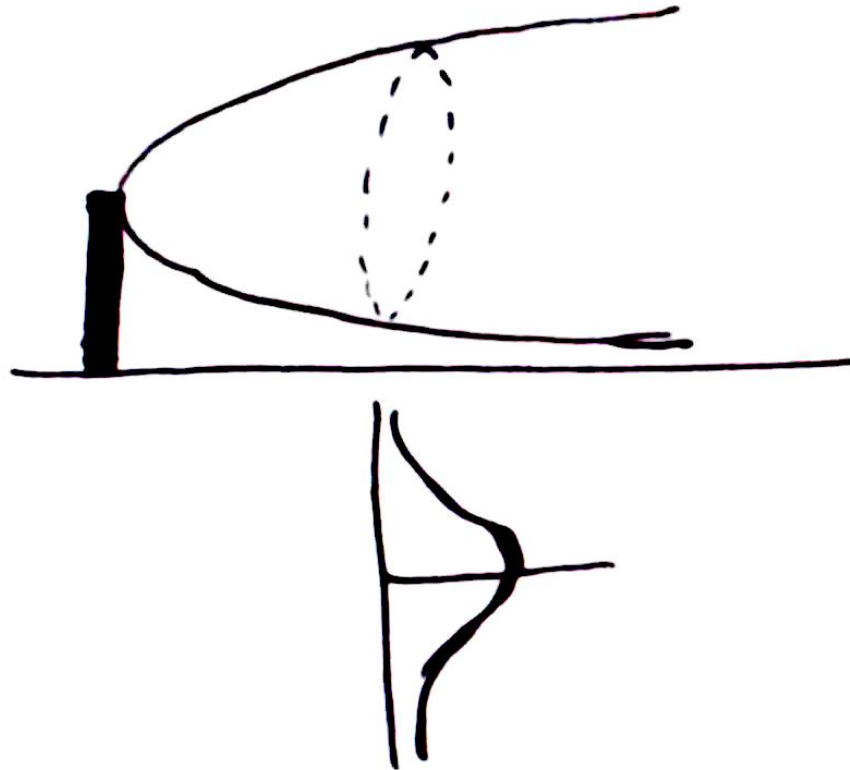
Leveys = hajonta kasvaa $\sim \sqrt{x}$



Ratkaisuksi; tulisi:

14

$$c(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi \sigma_y \sigma_z u} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} e^{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}}$$



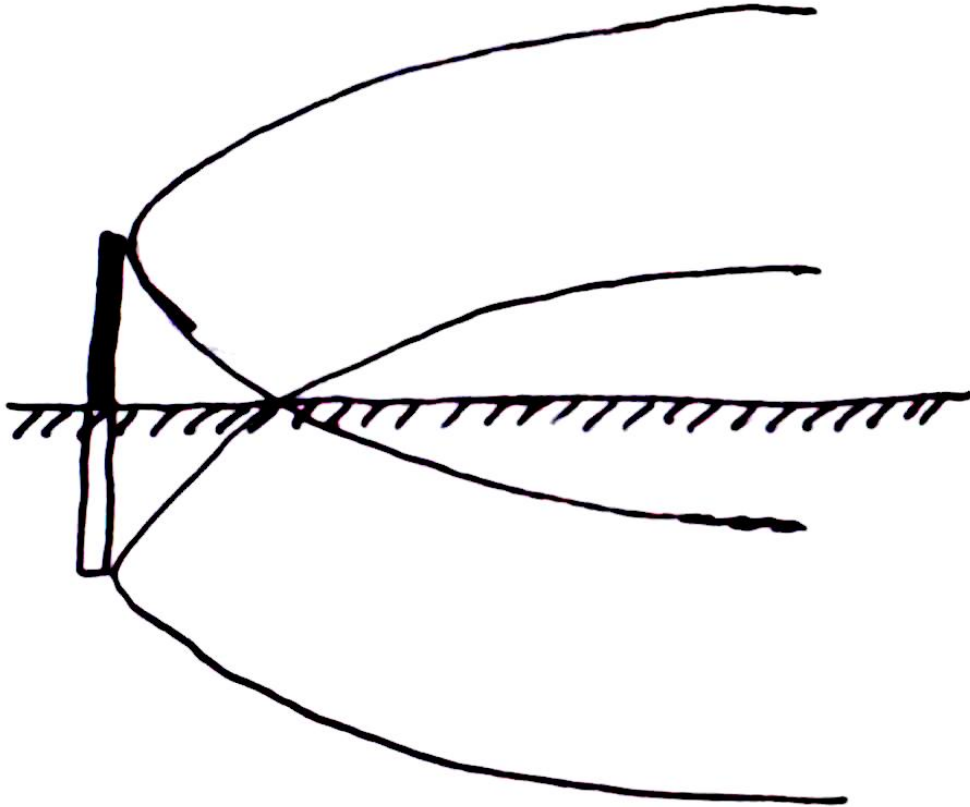
Heijastuma maanpinnasta

15



(Heijastuu, jos ei kuivadepositiota)

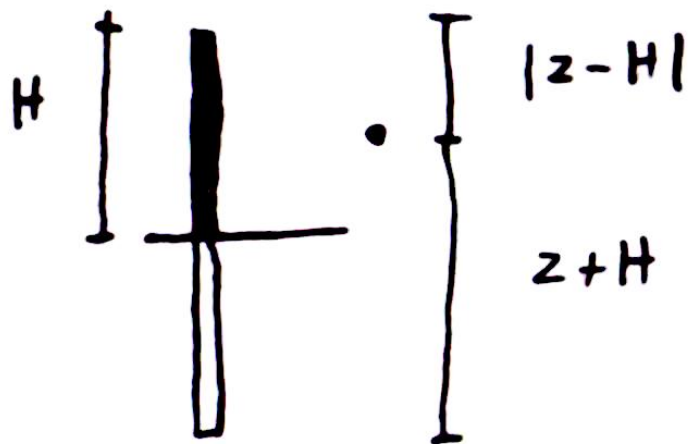
Heijastuma voidaan ajatella
peilikuvan lähteenä:



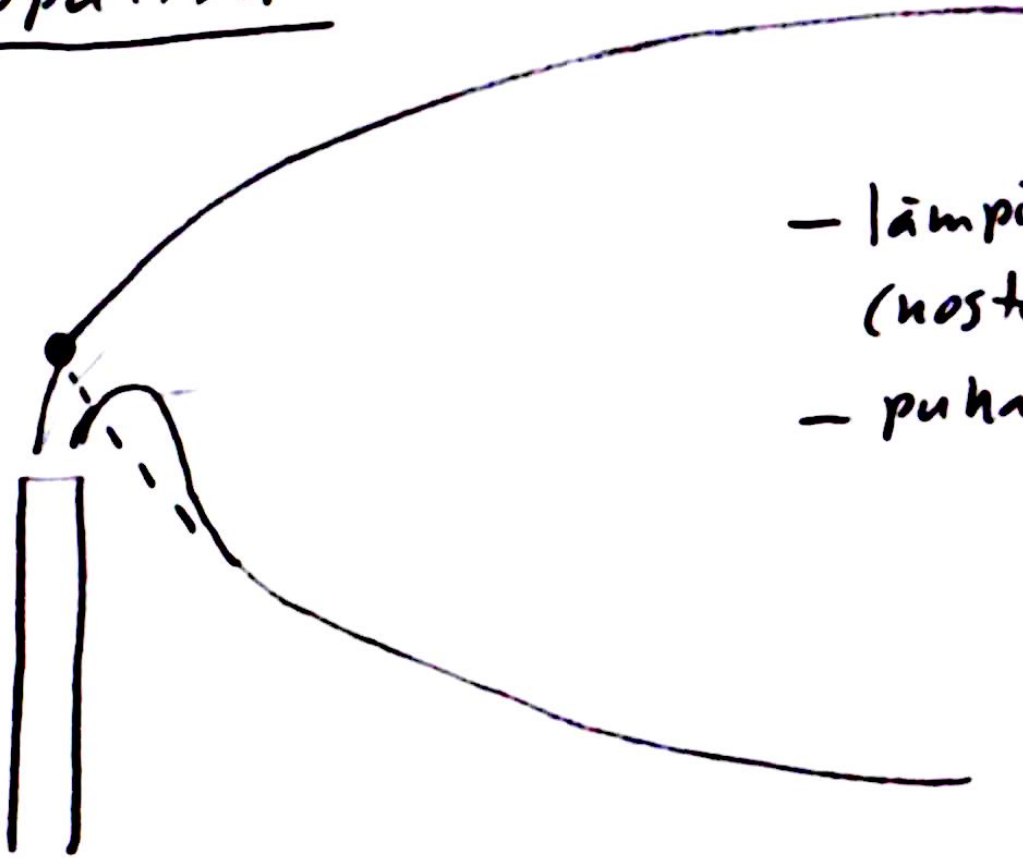
Saadann "Gaussian plume" kaava:

17

$$c(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi \sigma_y \sigma_z u} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} \left[e^{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}} \right]$$



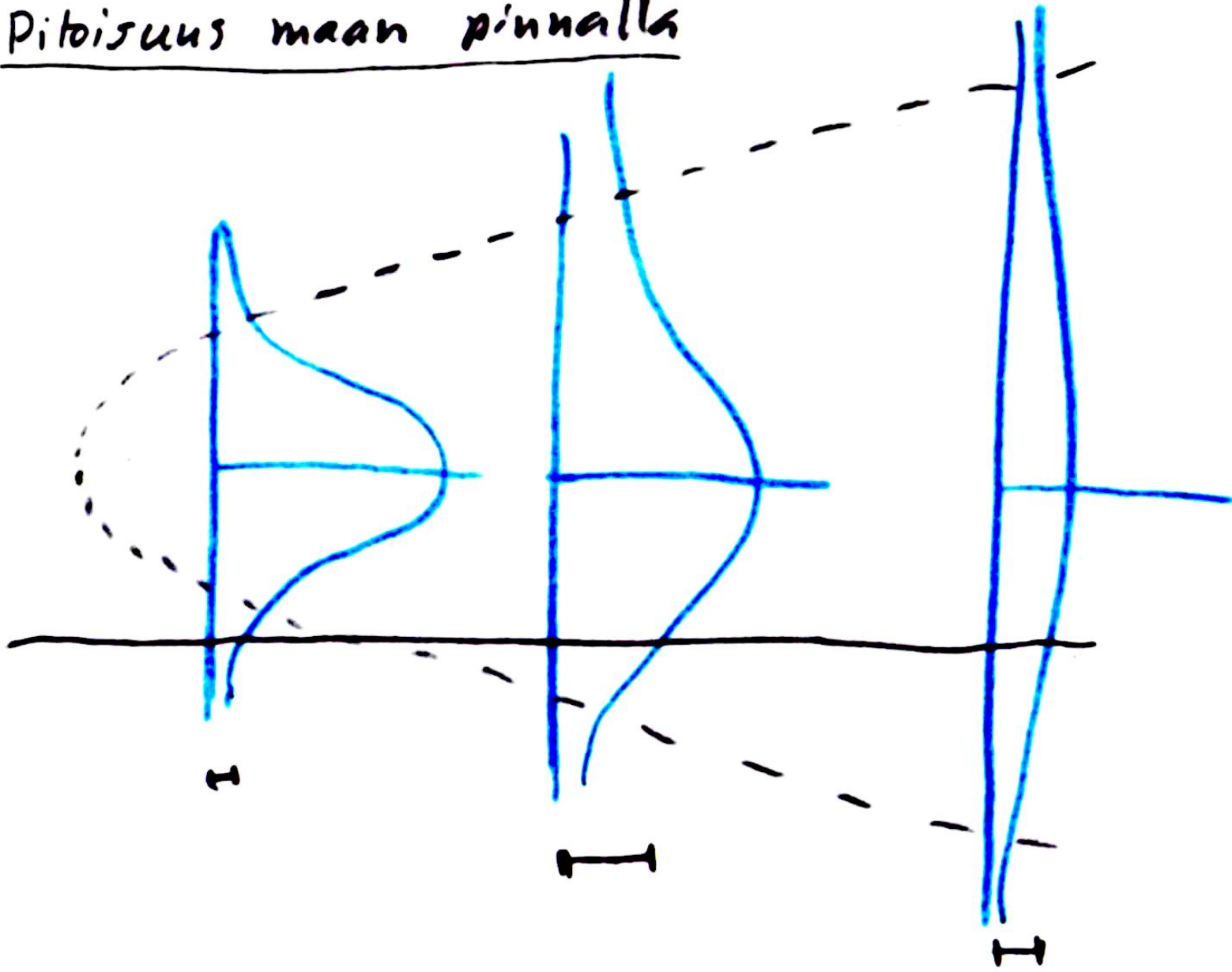
Piippulisa



- lämpötila
(noste)

- puhallusnopeus

Pitoisuus maan pinnalla



Hajonnat σ_y, σ_z riippuvat stabiilisuudesta ²⁰

Gaussin vanamalli käytökelpoinen

- yksittäisille lähteille, useillekin
- alle 5 km etäisyyksillä

Myös hetkellisille päästöille

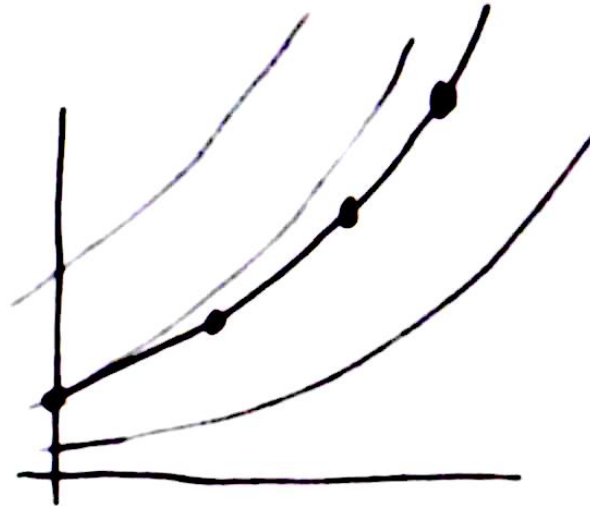
"gaussian puff"

ja viivamaisille, "gaussian line plume"

Kauko kulkeutuminen

Jos aine leviää rajakerroksen yläpuolellekin
Suuren mittakaavan ilmakehämallit

Ainemäärän säilyttävät numeeriset
menetelmät



$$\frac{Dc}{Dt} = (1 - \alpha) \frac{Q}{h} - k_x c - \left(\frac{V_d}{h} + k_w \right) c$$

$$\frac{Dc'}{Dt} = \frac{Q'}{h} + k_x c - \left(\frac{V_d'}{h} + k_w' \right) c'$$

c = rikkidioksidi

c' = sulfaatti tuotteet

Q
 Q' } päästönopeus

h = rajakerroksen korkeus

V_d, V_d' = kuiva poistuma

α = lähi laskeuma

k_w, k_w' = märkä poistuma

k_x = kemia $c \rightarrow c'$

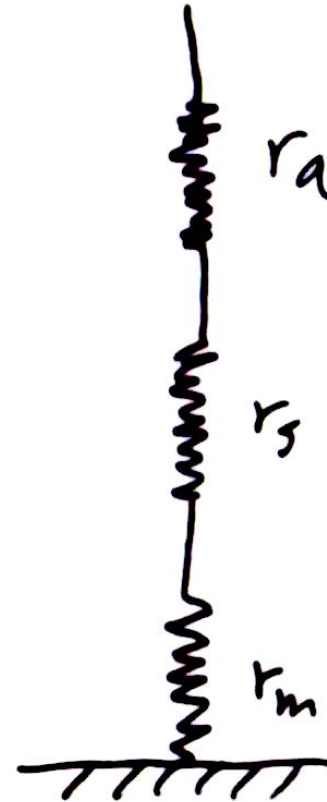
Kuiva poistuma maanpinnasta

konduktanssi = $\frac{1}{r}$

molekulaarinen
resistanssi r_m

kasuston
resistanssi r_s

aerodynaaminen
resistanssi r_a



Kiitos mielenkiinnosta

(ks. blogista tiedot loppukokeesta)

