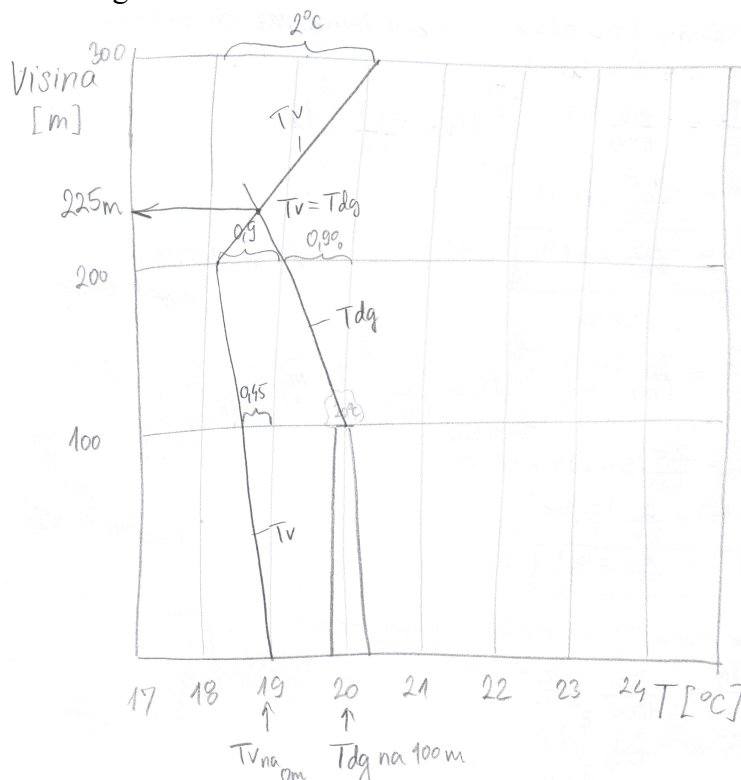


## Zadatak 7

Dimnjak visine 100 m izbacuje dim temperature  $20^{\circ}\text{C}$ . Temperatura tla je  $19^{\circ}\text{C}$ . Do visine od 200 m pad temperature okolnog vazduha sa visinom iznosi  $-4,5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ , a na većim visinama promena temperature je  $20^{\circ}\text{C}/\text{km}$ . Ako se pretpostavi da su uslovi idealno adijabatski, do koje visine će se dim podizati i kakav će biti oblik toga dima?



Adijabatski uslovi znače da je promena temperature dimnih gasova  $dT/dz = -9,8^{\circ}\text{C}/\text{km}$ .

Zadatak je moguće rešiti grafičkim prikazom, kao na slici. Do 200 m temperatura vazduha se menja  $-4,5^{\circ}\text{C}/\text{km}$  ( $= -0,45^{\circ}\text{C}$  na 100m – nagib prave), preko 200 m je  $20^{\circ}\text{C}/\text{km}$  ( $= 2^{\circ}\text{C}$  na 100m – nagib prave). Promena temp dima je  $-0,98^{\circ}\text{C}$  na 100m – isprekidane linije. Presek dve linije određuje visinu uzdizanja dima.

Na osnovu slike vidi se da se dim neće uzdići iznad 225m.

VAZDUH		DIMNI GASOVI	
Visina (m)	Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	Visina (m)	Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )
tlo	19		
100	$19 - \frac{4,5}{1000} \cdot 100 = 18,55$	100	20
200	$18,55 - \frac{4,5}{1000} \cdot (200 - 100) = 18,1$	200	$20 - \frac{9,8}{1000} \cdot (200 - 100) = 19,02$
225	$18,1 + \frac{20}{1000} \cdot (225 - 200) = 18,6$	225	$19,02 - \frac{9,8}{1000} \cdot (225 - 200) = 18,775$

Na 225m temp dima je približno jednaka temp vazduha.

Ako hoćemo da nađemo tačnu visinu do koje visine će se dim podizati tražimo presek dve jednačine prave.

RACUNSKI:

VAZDUH: Tražimo f-nu prave promene temp. vaz. sa visinom

$$\text{za } 0 \leq z < 200 \text{ m}$$

$$\frac{dT_v}{dz} = -\frac{4.5}{1000} \left[ \frac{^\circ\text{C}}{\text{m}} \right] \quad \left\{ \int_{19^\circ\text{C}}^{T_v} dT_v = -\frac{4.5}{1000} \int_{0\text{m}}^z dz \right.$$

$$T_v - 19 = -\frac{4.5}{1000} \cdot (z - 0)$$

$$0 \leq z < 200 \text{ m} \quad \boxed{T_v = -\frac{4.5}{1000} z + 19} \quad (1)$$

$$\text{za } z > 200 \text{ m}$$

$$\frac{dT_v}{dz} = \frac{2}{1000} \left[ \frac{^\circ\text{C}}{\text{m}} \right] \quad \left\{ \int_{T_v(z=200\text{m})}^{T_v} dT_v = \frac{2}{1000} \int_{200\text{m}}^z dz \right.$$

$$T_v(z=200\text{m}) = -\frac{4.5}{1000} \cdot 200 + 19 = 18.1^\circ\text{C}$$

$$T_v - 18.1 = \frac{2}{1000} \cdot (z - 200)$$

$$z > 200 \text{ m} \quad \boxed{T_v = \frac{2}{500} z + 14.1} \quad (2)$$

DG: Promena temp dg sa visinom - f-na prave

$$\frac{dT_{dg}}{dz} = -\frac{9.8}{1000} \left[ \frac{^\circ\text{C}}{\text{m}} \right]$$

$$\int_{20^\circ\text{C}}^{T_{dg}} dT_{dg} = -\frac{9.8}{1000} \int_{100\text{m}}^z dz$$

$$T_{dg} - 20 = -\frac{9.8}{1000} \cdot (z - 100)$$

$$\boxed{T_{dg} = -\frac{9.8}{1000} z + 20.98} \quad (3)$$

- proveravamo  $T_v$  i  $T_{dg}$  na  $z = 200 \text{ m}$

$$T_v(200\text{m}) = 18.1^\circ\text{C}$$

$$T_{dg}(200\text{m}) = 19.02^\circ\text{C}$$

$$T_{dg} > T_v$$

visine uzd. zasto  
će biti  $> 200 \text{ m}$

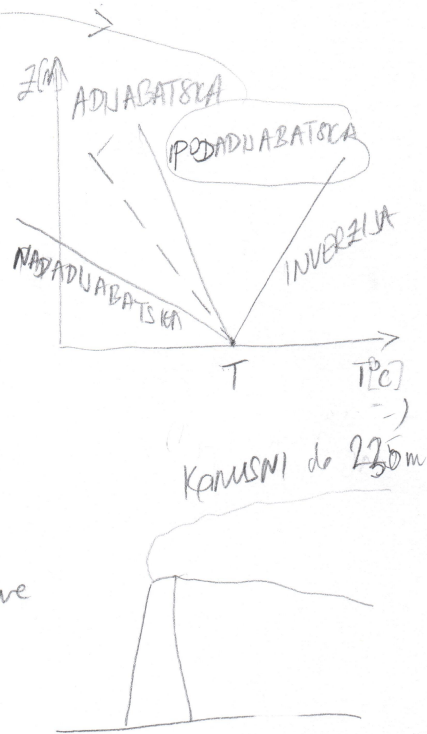
1. jedninaćavamo (2) = (3)  $T_v(z > 200\text{m}) = T_{dg}$

$$\frac{z}{500} + 14.1 = -\frac{9.8}{1000} z + 20.98$$

$$0.02982 = 6.88$$

$$\boxed{z = 230.87 \text{ m}}$$

Na visini  $z = 230.87 \text{ m}$   $T_v = T_{dg}$ , do  
te visine će se podizati dim.



## Zadatak 8

Curenjem nafte iz naftovoda emituje se 100 g/h vodonik-sulfida  $H_2S$ . Kolika će biti koncentracija  $H_2S$  na udaljenosti od 1,5 km od mesta isticanja nafte u pravcu duvanja vetra, ako je brzina vetra (na visini 10 m od tla) 3,1 m/s, a dan je jako sunčan.

Tabela 1.

	Dan Osunčanost			Noć Oblačnost	
	Jaka	Srednja	Slaba	1/2 oblačnost	3/8 oblačnost
Brzina vetra na visini 10 m od tla (m/s)					
Manja od 2	A	A-B	B	E	F
2-3	A-B	B	C	D	E
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
Veća od 6	C	D	D		

Imajući u vidu brzinu vetra i osunčanost:

Klasa A- najmanje stabilna

Klasa F- najstabilnija

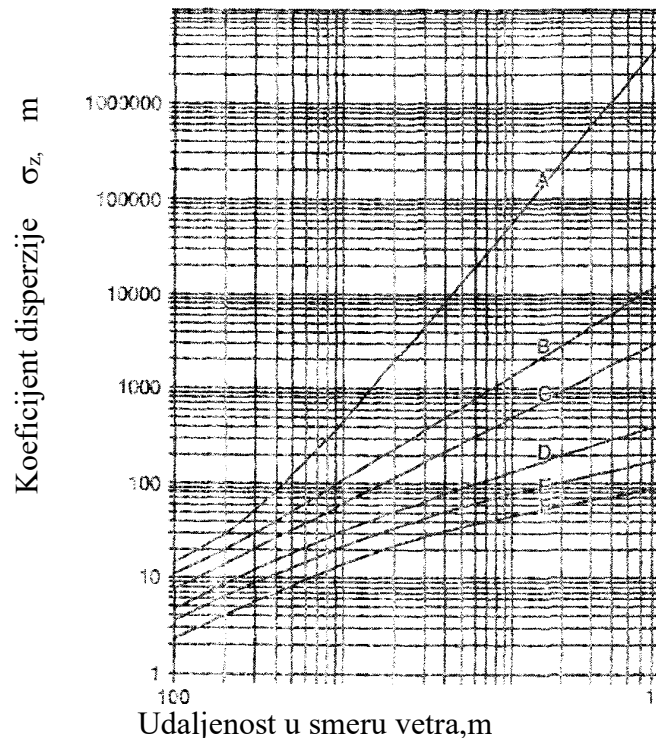
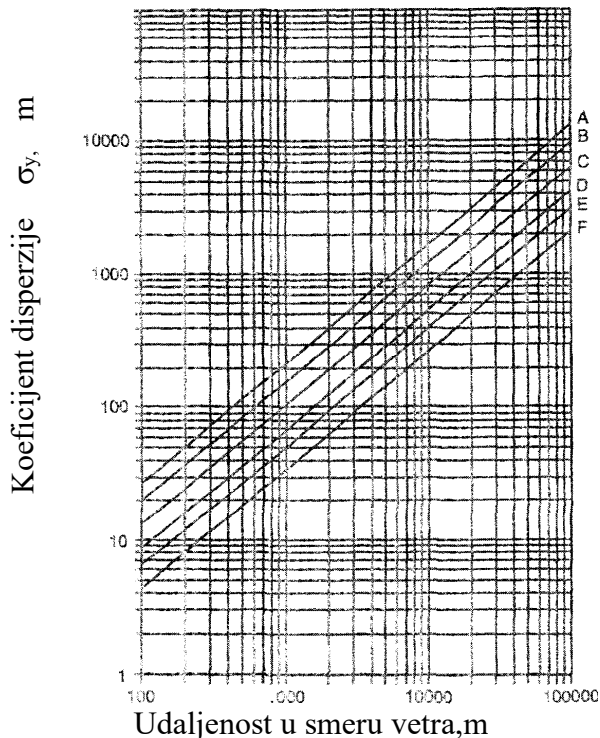
U pogledu promene temperature sa visinom:

Klase A, B, C pripadaju superadijabatskim uslovima

Klasa D neutralnim uslovima

Klase E i F temperaturskoj inverziji

Na osnovu Tabele 1. za brzinu od 3-5 m/s i za jako sunčano usvaja se klasa stabilnosti B



Slika 1

Na osnovu Slike 1.  $\sigma_y = 210 \text{ m}$ ,  $\sigma_z = 160 \text{ m}$

Emisija  $\text{H}_2\text{S}$

$$Q = 100 \frac{\text{g}}{\text{h}} = \frac{100}{3600} = 0,0278 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

$\text{H}_2\text{S}$  se emituje sa nivoa tla i  $y=0$ , pa je koncentracija  $\text{H}_2\text{S}$ :

$$C_{\text{H}_2\text{S}}(1500, 0, 0) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} = \frac{0,0278 \text{ g/s}}{\pi \cdot 3,1 \text{ m/s} \cdot 210 \text{ m} \cdot 160 \text{ m}} = 8,49 \cdot 10^{-8} \text{ g/m}^3$$

u- brzina vetra

### **Zadatak 9**

Termoelektrana koja kao gorivo koristi ugalj emituje 1,1 kg/min  $\text{SO}_2$  iz dimnjaka sa efektivne visine od 60m. Kolika će biti koncentracija  $\text{SO}_2$  na udaljenosti od 500 m u smeru duvanja vetra, duž projekcije ose dima na tlu, na nivou tla u večernjim satima, ako je vreme srednje oblačno (1/2 oblačnosti) sa brzinom vetra od 5,1 m/s (na visini 10 m od tla)?

Iz Tabele 1. usvajamo Klasu stabilnosti D. Sa Slike 1. za udaljenost od 500m dobija se za

$$\sigma_y = 35\text{m}, \sigma_z = 19\text{m}$$

Emisija  $\text{SO}_2$

$$Q = 1,1 \text{ kg/min} = 1,1 \cdot 10^3 / 60 = 18 \text{ g/s}$$

Koncentracija štetnih materija na udaljenosti od 500 m od termoelektrane u smeru duvanja vetra, duž projekcije ose dima na tlu i na nivou tla:

$$C(x, 0, 0) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(\frac{-H^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

$$C(500\text{m}, 0, 0) = \frac{18 \text{ g/s}}{\pi \cdot 5,1 \text{ m/s} \cdot 35 \text{ m} \cdot 19 \text{ m}} \exp\left(\frac{-(60\text{m})^2}{2(19\text{m})^2}\right) = 11,54 \cdot 10^{-6} \text{ g/m}^3$$

### **Zadatak 10**

Koristeći podatke iz prethodnog zadatka i pretpostavljajući da se emisija sastoji od čestica prečnika 10  $\mu\text{m}$  čija je gustina 1000  $\text{kg/m}^3$ , izračunati koncentraciju i brzinu taloženja čestica na nivou tla na udaljenosti od 200 m duž centralne linije dima. Viskoznost vazduha je 0,0185 g/(ms) pri 25°C.

Iz Tabele 1. usvajamo Klasu stabilnosti D. Sa Slike 1. za udaljenost od 200m dobija se za

$$\sigma_y = 18\text{m}, \sigma_z = 9\text{m}$$

Brzina  $V_t$  za čestice veličine od 1-100  $\mu\text{m}$

$$V_t = g d^2 \frac{\rho}{18\mu}$$

g - gravitaciono ubrzanje

d - prečnik čestice

$\rho$  - gustina čestica

$\mu$  - viskoznost vazduha

$$V_t = 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot (10 \cdot 10^{-6} \text{ m})^2 \frac{1000 \text{ kg/m}^3}{18 \cdot 0,0185 \cdot 10^{-3} \text{ kg/(ms)}} = 0,0029 \text{ m/s}$$

Koncentracija čestica na nivou tla na udaljenosti od 200m u duž centralne linije dima ( $y = 0$ )

$$C(x, y, 0) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{(H - (V_t x/u))^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

$$C(200, 0, 0) = \frac{18 \text{ g/s}}{2\pi(5,1 \text{ m/s})(18 \text{ m})(9 \text{ m})} \exp\left(-\frac{(60 \text{ m} - \frac{0,0029 \text{ m/s} \cdot 200 \text{ m}}{5,1 \text{ m/s}})^2}{2(9 \text{ m})^2}\right) = 8,429 \cdot 10^{-13} \text{ g/m}^3$$

$$\text{Brzina taloženja čestica: } \omega = V_t \cdot C(x, y, 0) = V_t \cdot \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{(H - \frac{V_t x}{u})^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

$$\omega = V_t \cdot C(200 \text{ m}, 0, 0) = 0,0029 \text{ m/s} \cdot (8,429 \cdot 10^{-13} \text{ g/m}^3) = 2,444 \cdot 10^{-15} \text{ g/(m}^2 \text{ s)}$$

### **Zadatak 11**

Prečnik dimnjaka jedne termoelektrana je 2 m. Brzina dimnih gasova na izlazu iz dimnjaka je 15 m/s, a količina toplote koju dimni gasovi u jedinici vremena predaju okolini je 4800 kJ/s. Brzina vetra je 5 m/s. Izračunati visinu za koju se dim vertikalno uzdiže. Ako je geometrijska visina dimnjaka 40 m, kolika je njegova efektivna visina? Usvojiti neutralnu stabilnost.

$$H = h_{geom} + \Delta h$$

$H$  - efektivna visina dimnjaka – visina dimnjaka na kojoj dim počinje da struji niz vetar.

$h_{geom}$  - geometrijska visina dimnjaka,

$\Delta h$  - vertikalna putanja dima - visina za koju se dim vertikalno uzdiže, zavisi od stabilnosti atmosfere.

$$\text{Visina za koju se dim vertikalno uzdiže pri neutralnoj stabilnosti: } \Delta h = 0,35 \frac{u_{gasova} \cdot d}{u_{vetra}} + 2,64 \frac{\sqrt{Q}}{u_{vetra}}$$

$u_{gasova}$  - brzina dimnih gasova iz dimnjaka (m/s)

$u_{vetra}$  - brzina strujanja vetra (m/s)

$d$  – prečnik dimnjaka (m)

$Q$  – količina toplote u jedinici vremena (kJ/s)

$$\Delta h = 0,35 \frac{15 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 2 \text{ m}}{5 \frac{\text{m}}{\text{s}}} + 2,64 \frac{\sqrt{4800 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}}{5 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 38,7 \text{ m}$$

$$H = 40 + 38,7 = 78,7 \text{ m}$$

## Zadatak 12

U termoelektrani se dnevno sagoreva 1000t uglja sa sadržajem sumpora 2%. Smatrati da sav sumpor u potpunosti sagori i da se emituje u atmosferu iz dimnjaka efektivne visine od 100 m. Ako je brzina vetra na 10 m od tla 5 m/s i atmosferska klasa stabilnosti B odrediti:

- koncentraciju SO<sub>2</sub> na nivou tla, duž projekcije ose oblaka dima na tlu, na udaljenosti 10 km u pravcu vetra,
- maksimalnu koncentraciju SO<sub>2</sub> za atmosfersku stabilnost klase B. Smatrati da je brzina vetra stalna,
- udaljenost mesta gde je koncentracija SO<sub>2</sub> na nivou tla najveća za atmosfersku klasu stabilnosti B.

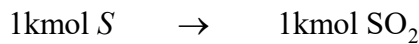
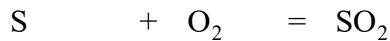
$$\dot{m}_{gor} = 1000 \text{ t} / \text{dan}$$

$$S_g^r = 2\%$$

$$H=100 \text{ m}$$

$$u=5 \text{ m/s, klasa stabilnosti B}$$

$$a) C_{SO_2}(x=10\text{km}, 0, 0) = \frac{\dot{m}_{SO_2}}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(\frac{-H^2}{2\sigma_z^2}\right)$$



$$\frac{\dot{m}_S}{M_S} = \frac{\dot{m}_{SO_2}}{M_{SO_2}} \rightarrow \dot{m}_{SO_2} = \dot{m}_S \frac{M_{SO_2}}{M_S}$$

$$\frac{S_g^r}{100} = g_S = \frac{\dot{m}_S}{\dot{m}_{gor}} \rightarrow \dot{m}_S = \dot{m}_{gor} \frac{S_g^r}{100}$$

$$\dot{m}_{SO_2} = \dot{m}_{gor} \frac{S_g^r}{100} \frac{M_{SO_2}}{M_S} = 1000 \cdot \frac{1000}{24 \cdot 3600} \cdot \frac{2}{100} \cdot \frac{64}{32} = 0,46296 \text{ kg} / \text{s} = 462,96 \text{ g} / \text{s}$$

Sa Slike 1. za udaljenost od 10000m i klasu stabilnosti B dobija se za  $\sigma_y = 1300\text{m}$ ,  $\sigma_z = 1500\text{m}$

$$C_{SO_2}(10000\text{m}, 0, 0) = \frac{462,96 \text{ g} / \text{s}}{\pi \cdot 5 \text{ m} / \text{s} \cdot 1300 \text{ m} \cdot 1500 \text{ m}} \exp\left(\frac{-(10\text{m})^2}{2(1500\text{m})^2}\right) = 15,13 \cdot 10^{-6} \text{ g} / \text{m}^3 = 15,13 \mu\text{g} / \text{m}^3$$

$$b) C_{\max SO_2} = ?$$

Maksimalna koncentracija zagađenja na površini tla se dobija kada je  $\sigma_z = \frac{H}{\sqrt{2}}$ .

$$\sigma_z = \frac{H}{\sqrt{2}} = \frac{100}{\sqrt{2}} = 70,71 \text{ m}$$

Sa Slike 1. za  $\sigma_z = 70,71 \text{ m}$  i klasu B sledi udaljenost  $x=650 \text{ m}$ .

Sa Slike 1. za udaljenost od 650m i klasu stabilnosti B dobija se za  $\sigma_y = 120 \text{ m}$ .

$$C_{\max SO_2} = C_{SO_2}(650\text{m}, 0, 0) = \frac{462,96 \text{ g} / \text{s}}{\pi \cdot 5 \text{ m} / \text{s} \cdot 120 \text{ m} \cdot 70,71 \text{ m}} \exp(-1) = 1,28 \cdot 10^{-3} \text{ g} / \text{m}^3 = 1,28 \text{ mg} / \text{m}^3$$

c) Udaljenost mesta gde je koncentracija SO<sub>2</sub> na nivou tla najveća za atmosfersku klasu stabilnosti B  $x=650 \text{ m}$ .