

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Keemiatehnika instituut

Laboratoorne töö õppeaines

Keemiatehnika alused

KEEVKIHI HÜDRODÜNAAMIKA

Tallinn

2008

1. SISSEJUHATUS

Selleks, et viia peeneteraline materjal hõljuvasse olekusse e. keevakihti, on vaja selle materjali kihist läbi juhtida gaasi või vedelikku (fluidumi) kiirusega, mille puhul kihi takistus õhu voole on võrdne kihi kaaluga pinnaühiku kohta. Fluidumi kiirust, mille juures materjali kiht läheb hõljuvasse olekusse, nimetatakse kriitiliseks kiiruseks. Kriitilisel kiirusel suureneb kihi maht, peeneteralised osakesed omandavad võime üksteise suhtes liikuda ning hakkavad “keema” ja voolama sarnaselt vedelikega. Kriitilisel kiirusel saab materjali kaal pinnaühiku kohta võrdseks kihi takistusega. Fluidumi kiiruste vahemikku, mille juures materjal hõljub fluidumi voos, nimetatakse hõljumiskiiruseks. Fluidumi kiiruse edasisel suurendamisel, hakkab gaasivoog osakesi endaga kaasa kandma. Sellist gaasi või vedeliku kiirust nimetatakse kaasakande- ehk pneumotranspordi kiiruseks.

Peeneteralise materjalikihi kõrgus ning ka kihi poorsus hõljuvas olekus suurenevad. Kihi poorsus ehk vaba mahu osa väljendab kihi osakeste vahelise vaba ruumi osa kihi mahu V_{kk} ühes ruumalaühikus:

$$\varepsilon = \frac{V_{kk} - V_{os}}{V_{kk}} = 1 - \frac{V_{os}}{V_{kk}} \quad (1)$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_{kk}}{\rho_{os}} \quad (2)$$

kus V_{os} ja V_{kk} – tahkete osakeste maht ja keeva kihi kogumaht, m^3 ,

ρ_{os} ja ρ_{kk} – osakeste tihedus ja kihi tihedus (nn. puistetihedus), kg/m^3 .

Keevkihi aparate kasutatakse keemiatööstuses teralise materjali kuivatamisel, kristallisatsioonil, adsorptsioonil, katalüütiliste ja paljude teiste protsesside läbiviimisel. Pneumotransporežiimi kasutatakse teralise materjali ümberlaadimisel ja transpordil.

2. TÖÖ EESMÄRK

2.1. Tutvuda keevkihi seadme ehituse ning töötamise põhimõttega.

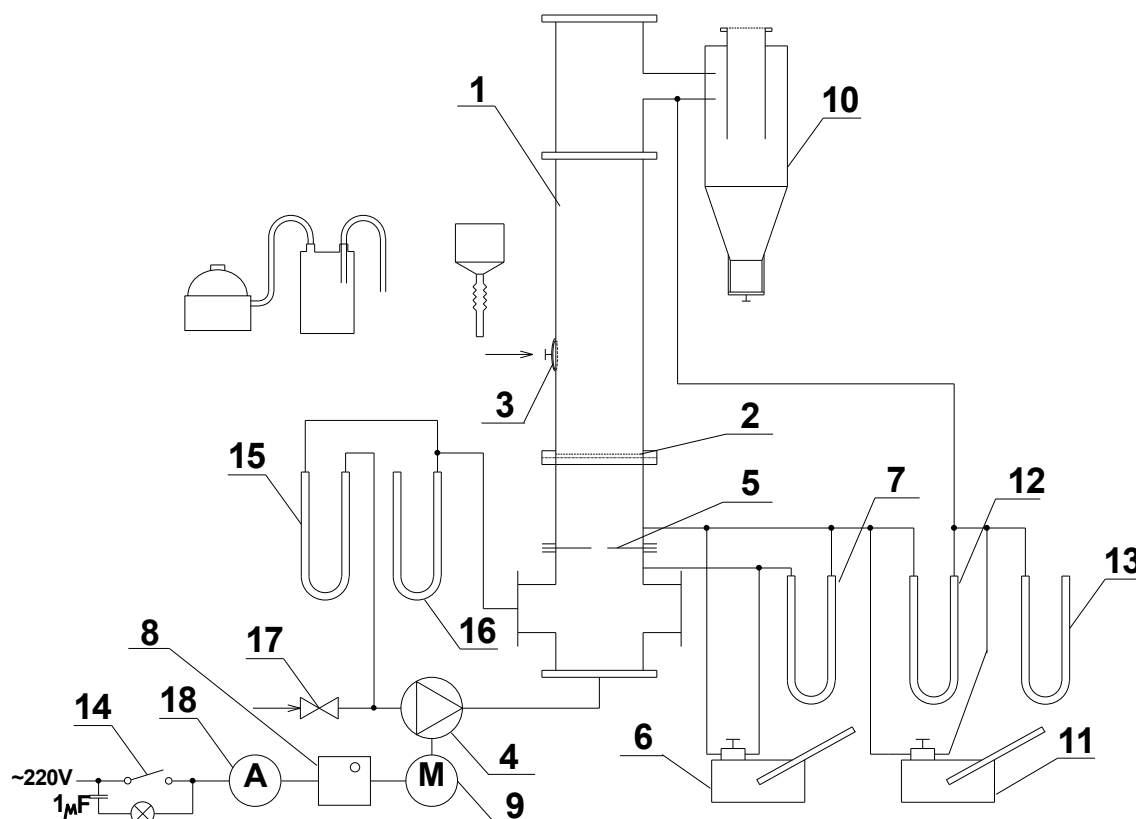
2.2. Määrata katseliselt õhu kriitiline kiirus, hõljumise kiirus ja pneumotranspordi kiirus antud materjali kasutamisel.

2.3. Võrrelda katsest saadud tulemusi kirjanduses toodud arvutusvalemite kasutamisel saadud tulemustega.

2.4. Esitada graafiliselt kihi poorsuse, kõrguse ja takistuse sõltuvused õhu kiirusest aparadi vabas ristlõikepinnas.

3. KATSESEADME KIRJELDUS

Keevkihi aparaat (joonis 1) kujutab endast 94 mm läbimõõduga kolonni (1), milles on rest (2) (ava läbimõõt 2 mm, vaba ristlõikepind 20% kogu ristlõikepinnast). Teraline materjal laaditakse lehtri abil aparaati kolonni seinas oleva luugi (3) kaudu. Materjalist juhitakse läbi õhuvool, mis tekitatakse ventilaatoriga (4). Kolonni suunatud õhu kulu mõõdetakse diafragma (5), diferentsiaalmanomeetrite näitude abil (6 ja 7). Manomeetrid on ühendatud paralleelselt. Mikromanomeetrit (6) kasutatakse väikeste rõhulangude mõõtmiseks. Õhu kulu muudetakse reguleerides sagedusmuunduriga (8) ventilaatori mootorile (9) antava voolu sagedust. Materjali kihi läbinud õhk puhastatakse õhuga kaasa kantud materjali osakestest ja tolmust tsüklonis (10). Tsüklonisse satub materjal ka töötamisel pneumotransportrežiimil. Aparaadi hüdrodünaamilist takistust mõõdetakse paralleelselt ühendatud diferentsiaalmanomeetritega (11 ja 12), mille impulsstorud on ühendatud kolonniga enne ja pärast kolonnis olevat resti. Tsükloni (10) takistust mõõdetakse manomeetriga (13), rõhulangu, mis on tekitatud ventilaatori (4) poolt, mõõdetakse diferentsiaalmanomeetriga (15) ja ventilaatori poolt tekitatud rõhk manomeetriga (16). Ventilaatori poolt imetava õhu kogust võib reguleerida siibriga (17).



Joonis 1. Katseseadme skeem

4. TÖÖ KÄIK

Enne tööga alustamist puhastatakse kolonn, kontrollitakse, kas kolonn on ühendatud õhutorustikuga, suletakse kõik kolonni avad, mikromanomeetrid (6 ja 11) ja avatakse siiber (17).

4.1. Määratakse resti takistuse sõltuvus õhu kiirusest kolonnis.

- Käivitatakse ventilaator (lüliti (14), sagedusmuundur (8), nupp “RUN”),
- sagedusmuunduri (8) abil reguleeritakse välja õhu kiirus,
- pärast seadme töörežiimi stabiliseerumist mõõdetakse õhu kiirus diferentsiaalmanomeetrite (6 ja 7) näitude abil ning registreeritakse tühja resti takistus (diferentsiaalmanomeetrite 11 ja 12 näidud),
- tulemused kantakse tabelisse 1,
- seejärel suurendatakse õhu kiirust (suurendades voolu sagedust) ja korratakse mõõtmisi; voolu sagedust muudetakse piirides 0 kuni 70 Hz,
- seisatakse ventilaator.

4.2. Määratakse materjaliga resti takistuse sõltuvus õhu kiirusest kolonnis.

Selleks

- määratakse mikromeetriga teralise materjali osakeste keskmine diameeter (määratakse granulomeetriline koostis)

$$d_e = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad (3)$$

kus n – osakeste arv

d_i – i-nda osakese diameeter, m.

Määratakse materjali tihedus. Orienteeruva tiheduse võib leida valemi (2) abil, võttes materjali poorsuseks $\varepsilon = 0,4$ ja määrates puistetiheduse ρ_k . Selleks kaalutakse mõõtsilindrisse kindel kogus teralist materjali ja määratakse materjali maht. Kaalutud materjali võib kasutada edasises töös.

- laaditakse läbi luugi (3) kaalutud materjal restile (2), suletakse luuk (3) ja mõõdetakse seisva materjalikihi kõrgus,
- käivitatakse ventilaator, nagu on kirjeldatud punktis 4.1.,
- muudetakse sagedusmuunduri abil astmeliselt voolu sagedust minimaalsest kuni 70 Hz,

- erinevatel voolu sagedustel (õhu kiirustel) (alati pärast režiimi stabiliseerumist) mõõdetakse materjalikihi kõrgus restil, õhu kiirus (manomeetrid 6 ja 7) ja materjaliga resti takistus (manomeetrid 11 ja 12).
- Tulemused kantakse tabelisse 2,
- pärast maksimaalse õhu kiiruse saavutamist, vähendatakse õhu kiirust kuni minimaalseni ning korratakse mõõtmisi erinevatel õhu kiirustel.

NB! Pärast mõõtmiste lõpetamist puhastatakse kolonn teralisest materjalist, rakendades pneumotranspordi printsiipi.

4.3. Katseandmete registreerimine

Katseandmed kantakse tabelisse 1 ja 2.

Tabel 1.

Tühja resti takistuse määramine

Nr.	Diferentsiaalmanomeetri näit, mmH ₂ O		Õhu kiirus, $\omega_{\text{õhk}}$, m/s	Resti takistus, Δp_{rest} , mmH ₂ O	
	6	7		11	12
1.					
2.					
...					

Tabel 2.

Materjaliga resti takistuse määramine

Materjal

Materjali kaal

Materjali tihedus

Materjali granulomeetriline koostis

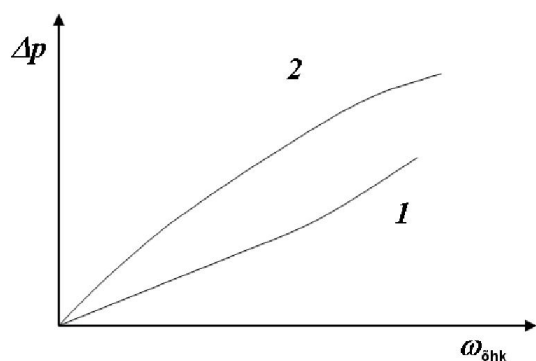
Nr.	Diferentsiaalmanomeetri näit, mmH ₂ O		Õhu kiirus, $\omega_{\text{õhk}}$, m/s	Resti ja materjali takistus, $\Delta p_{\text{mat+rest}}$, mmH ₂ O		Kihi kõrgus, h , m	Kihi poorsus, ϵ	Kihi iseloomustus
	6	7		11	12			
1.								
2.								
3.								
...								

5. KATSEANDMETE TÖÖTLEMINE

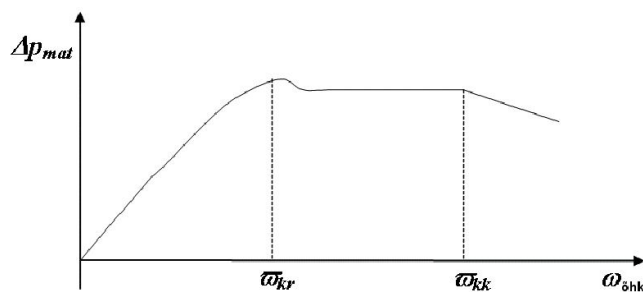
5.1. Katseandmete põhjal joonistatakse järgmised graafikud:

- resti takistuse sõltuvus õhu kiirusest $\Delta p_{\text{rest}} = f(\omega_{\text{õhk}})$ (joonisel 2. joon 1).
- materjaliga resti takistuse sõltuvus õhu kiirusest $\Delta p_{\text{rest+mat}} = f(\omega_{\text{õhk}})$ (joonisel 2. joon 2).

- materjali takistuse sõltuvus õhu kiirusest $\Delta p_{mat} = f(\omega_{\delta hk})$ (Joonis 3), kusjuures $\Delta p_{mat} = \Delta p_{mat+rest} - \Delta p_{rest}$, kus $\Delta p_{mat+rest}$ ning Δp_{rest} väärtused kindla õhu kiiruse $\omega_{\delta hk}$ jaoks saadakse vastavate sõltuvustelt joonisel 2.

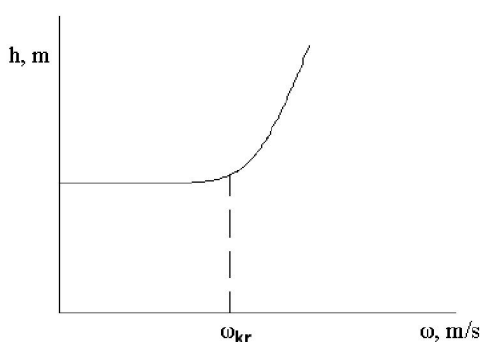


Joonis 2. Tühja resti takistuse ja materjaliga resti takistuse sõltuvus õhu kiirusest

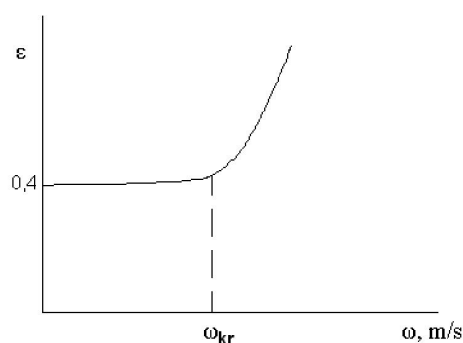


Joonis 3. Materjali takistuse sõltuvus õhu kiirusest

- esitatakse graafiliselt keeva kihi kõrguse (h) sõltuvus õhu kiirusest ning kihi poorsuse (ε) sõltuvus õhu kiirusest – joonised 4 ja 5.



Joonis 4. Keeva kihi kõrguse sõltuvus õhu kiirusest



Joonis 5. Keeva kihi poorsuse sõltuvus õhu kiirusest

5.2. Kirjanduses toodud kriteeriaalvõrranditega arvutatakse

- kriitiline Reynolds'i arvu väärtus Re_{kr}

$$Re_{kr} = \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}} \quad (4)$$

kus

$$Re_{kr} = \frac{\omega_{kr} \cdot d_e}{\nu_k} = \frac{\omega_{kr} \cdot d_e \cdot \rho_k}{\mu_k} \quad (5)$$

ja

$$Ar = \frac{d_e^3 \cdot \rho_k \cdot (\rho - \rho_k) \cdot g}{\mu_k^2} \quad (6)$$

ω_{kr} – fluidumi kriitiline kiirus, m/s,

d_e – osakeste keskmine diameeter, m,

ρ ja ρ_k – osakeste ja keskkonna tihedus, kg/m³,

μ_k – keskkonna dünaamiline viskoossus, Pa·s.

- hõljuva kihi poorsus ε

$$\varepsilon = \left(\frac{18 \cdot Re + 0,36 \cdot Re^2}{Ar} \right)^{0,21} \quad (7)$$

- kaasakande kiirus ω_{kk} , arvestades, et

$$Re_{kk} = \frac{Ar}{18 + 0,61 \cdot \sqrt{Ar}}, \text{ kui } \varepsilon = 1 \quad (8)$$

ja

$$Re_{kk} = \frac{\omega_{kk} \cdot d_e \cdot \rho_k}{\mu_k} \quad (9)$$

- teha kokkuvõtte tööst.

5. KIRJANDUS

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. Изд. "Химия" М. 1971 г., стр. 109-114
2. Руководство к практическим занятиям в лаборатории по процессам и аппаратам химической технологии под редакцией П.Г. Романкова изд. "Химия" 1989 г., стр. 74-81.
3. Павлов К.Ф., Романков П.Г. и др. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Изд. "Химия", 1987 г., стр. 104-109