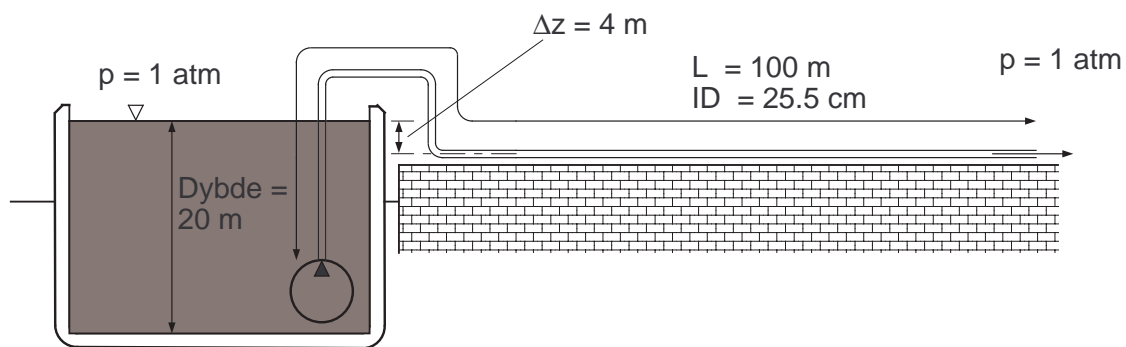


Øving 5

Øving 5 var opprinnelig tiltenkt å relatere seg til stoffet i Guo et.al., men siden noe av pensum nå også blir dekket av utdelt materiale, vil noen av oppgavene relatere seg til dette.

For de øvingene som refererer til kapittelnummer, vil metoder og nødvendige tabeller og diagrammer være å finne i boka (Gjelder Oppgave 2, Oppgave 3, Oppgave 5 og Oppgave 6). For Oppgave 1 kan Moody-diagrammet i Figur 11.10 i læreboka benyttes.

Oppgave 1 (Væskestrøm og sentrifugalpumpe)



Figur 1: Tanker ved kai, skjematisk

Figur 1 viser en oljetanker ved kai, under lossing. For en væske med konstant tetthet, kan ligningen for rørstrøm (11.78) i læreboka formuleres som følger (og her er det kinetiske leddet *ikke* neglisjert):

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} + z_2 + \frac{u^2}{2g} f_M \cdot \frac{L}{D}$$

Indeks 1 og 2 gjelder lokasjoner i strømningsretning, hvor 2 er nedstrøms 1.

Se bort fra pumpen i første omgang. For røret gjelder følgende data:

Lengde, $L = 100$ m.

Indre diameter, $ID = 25.5$ cm.

Overflateruhet, $\epsilon = 0.05$ mm.

For oljen gjelder følgende data:

Tetthet, $\rho = 673$ kg/m³.

Dynamisk viskositet, $\mu = 38$ cP (= 0.038 Ns/m²)

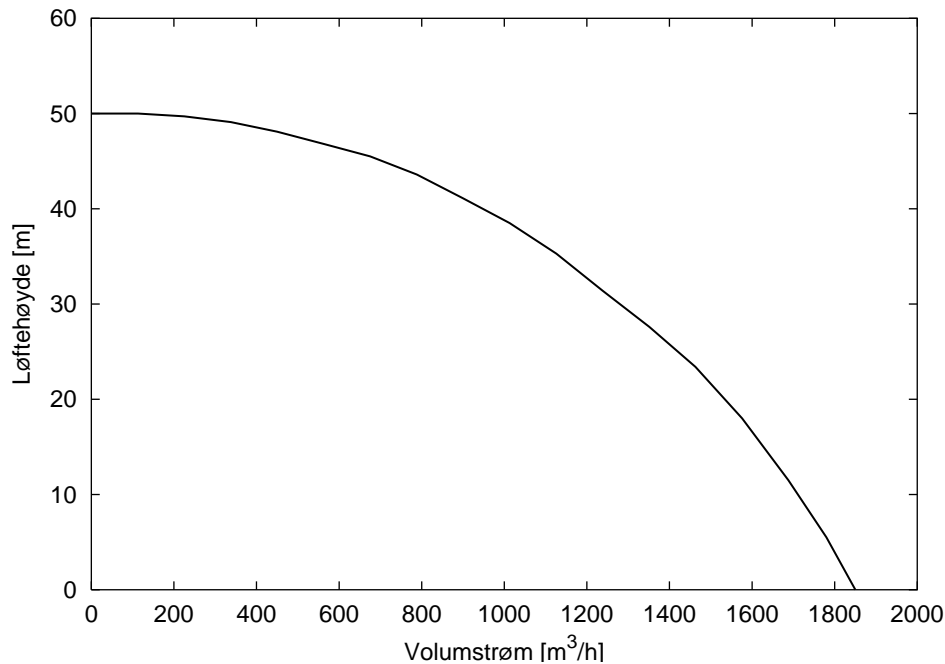
- a Velg lokasjon "1" ved oljetankens overflate, og "2" ved rørets utløp, og vis at ligningen blir redusert til:

$$(z_1 - z_2) = \frac{u^2}{2g} \left(1 + f_M \cdot \frac{L}{D} \right)$$

KURS BIP160: PRODUKSJON AV OLJE OG GASS høst 2013

- b Anslå Darcy-Weisbach friksjonsfaktoren, $f_M(Re, e)$ for en antatt hastighet på 3.5 m/s.
- c Hvor stor initiell strømningsrate (når $\Delta z = 4$ m) vil man få når røret brukes som en hevert ?

Inkluder en nedsenket sentrifugalpumpe. For å få opp oljen som befinner seg under kaikanten, må man benytte en Pumpe. Denne har en karakteristikk som i Figur 2.



Figur 2: Pumpekaraktistikk for Oppgave 1

- d Anta at både innløp og utløp for pumpen befinner seg 20 m under overflaten. Hva blir pumpens innløpstrykk ?

Ved å beholde lokasjon "1" ved oljetankens overflate, blir uttrykket for systemkarakteristikken enklest mulig. Det hydrostatiske trykket ved pumpeinnløpet kanselleres nemlig av den ekstra løftehøyden man får ved å velge systemets innløp ved pumpens dybde.

- e Vis at systemkarakteristikken $H_s(\dot{Q})$, kan uttrykkes ved

$$H_s = -\Delta z + \frac{8 f_M L}{g \pi^2 D^5} \cdot \dot{Q}^2$$

- f Anta at f_M forblir uendret, og finn volumstrømmen ved bruk av Pumpe.

KURS BIP160: PRODUKSJON AV OLJE OG GASS høst 2013

Oppgave 2 (Separasjon, Kap. 10)

Gitt en horisontal separator for olje og gass med diameter 60" (= 1.524 m) og lengde 15' (= 4.572 m). Følgende er oppgitt for strømmen inn:

Gassrate, $q_G = 5.1 \text{ MMSm}^3/\text{d}$ (= $5.1 \cdot 10^6 \text{ Sm}^3/\text{d}$).

Relativ gasstetthet, $\gamma = 0.71$.

Oljerate, relativt til gass, $\frac{q_L}{q_G} = 500 \text{ m}^3/\text{MMSm}^3$.

Oljetetthet, $G_L = 80 \text{ }^\circ\text{API}$

Separatortrykk, $p = 50 \text{ bar a}$

Temperatur, $T = 34 \text{ }^\circ\text{C}$

Anta at separatoren er 1/2 full, og at oppholdstid for olje er 1 min:

- Beregn tetthet i kg/m^3 for gassen og oljen (Molvekt for luft er 28.97 g/mol , universell gasskonstant $R = 8.3144 \text{ J/mol K}$).
- Hvor stor kan max oljerate være ?
- Vis at gassraten er ca. 20 % for høy, dersom gjennomsnitt K legges til grunn.

NB! Ved gasskapasitetsberegninger legges hele tverrsnittsarealet til grunn ($v = \text{superficial velocity}$), mens væskekapasitetsberegninger tar hensyn til væskeniået (basert på phase velocity). Reell gjennomsnittshastighet for gassen (phase velocity) vil da alltid være større enn superficial velocity, da den relaterer seg til et mindre strømningsareal. Ved god væskekapasitet kan man regulere ned nivået (innen visse grenser), og således imøtegå problemene med for høy gasshastighet i separatoren.

- Dersom væskeniået senkes fra 1/2 full til 1/4 full, hvor mye senkes da fasehastigheten for gassen ? (Tips: Se Table 10.5 i læreboka)

Oppgave 3 (Dehydrering, Kap. 10)

Gassen fra separatoren i Oppgave 2 er mettet på vann, og skal tørkes ned til $5 \text{ lb}_m/\text{MMScf}$ med TEG før videre behandling.

- Vis at det går 1.195 mol gassmolekyler på en standard kubikkfot, Scf (ved $60 \text{ }^\circ\text{F}$ og 14.7 psia).
- Finn vanninnholdet i gassen i lb_m/MMScf og i ppm (parts per million, molbasis). Molekylvekt for vann er 18.02 g/mol . (Legg til grunn at vann(damp)molekylene regnes som en del av gassen)

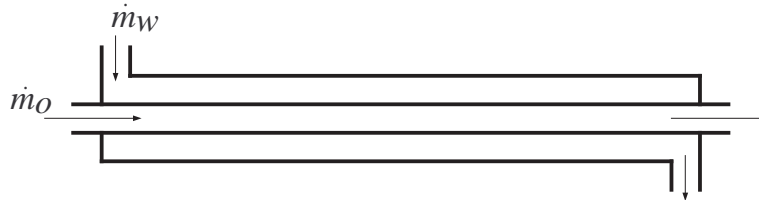
Tørkeanlegget skal baseres på en konvensjonell kolonne (trayed), og dimensjoneres i henhold til et GWR-krav på $2.5 \text{ gal (TEG)}/\text{lb}_m (\text{H}_2\text{O})$. Metodene i boka baserer seg på å plukke standardutstyr fra tabeller, og for gassmengden i Oppgave 2 blir det nødvendig å installere 2 parallelle enheter, hver med kapasitet til å håndtere halvparten ($q_G = 2.55 \text{ MMSm}^3/\text{d}$).

- Hvor stor må ytre diameter på glycolkontakten være ?
- Hva blir den tørkede gassens vannduggpunkt ?
- Hvor mange trinn må kontaktorkolonnen ha ?
- Hvor stor blir sirkulasjonsraten for glycol ?

KURS BIP160: PRODUKSJON AV OLJE OG GASS høst 2013

Oppgave 4 (Varmevekslere)

En oljestrøm skal kjøles ned vha vann i en dobbelt-rør varmeveksler som arbeider i medstrømsarrangement, se Figur 3. Oljen går i det indre røret, vannet i det ytre.



Figur 3: Dobbelttrørvarmeveksler i medstrømsarrangement

Data for varmeveksler:

- Indre diameter, indre rør: $D_1 = 50$ mm
- Ytre diameter, indre rør: $D_2 = 58$ mm
- Indre diameter, ytre rør: $D_3 = 100$ mm
- Termisk konduktivitet for stål: $k_{st} = 47$ W/m K

Data for olje:

- Massestrøm: $\dot{m}_o = 3.5$ kg/s
- Tetthet: $\rho_o = 850$ kg/m³
- Spesifikk varmekapasitet: $c_o = 2131$ J/kg K
- Temperatur inn: $T_{o,i} = 75$ °C

Data for vann:

- Massestrøm: $\dot{m}_w = 1.5$ kg/s
- Tetthet: $\rho_w = 1000$ kg/m³
- Spesifikk varmekapasitet: $c_w = 4200$ J/kg K
- Temperatur inn: $T_{w,i} = 15$ °C

For alle spørsmål kan man se bort ifra varmelekkasje til omgivelsene, og alle oppgitte egenskaper kan antas konstant mhp. lengden.

- a Hva er den teoretisk laveste temperatur man kan kjøle oljen til ? (dvs. dersom varmeveksleren var uendelig lang)
- b Av praktiske grunner er lengden (langsmed røret) begrenset til 40 m. Oljens temperatur ut er da 65 °C. Hva blir varmevekslerens totale varmeovergangstall, U , når dette referer til arealet på utsiden av det indre røret (altså D_2) ?

For en nærmere analyse kan man estimere teoretiske verdier for varmeovergangskoeffisientene basert på strømningsforhold og fluidegenskaper. Typiske verdier vil være:

$$\text{Varmeovergangskoeffisient fra oljen til indre rørvegg: } h_I = 360 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

KURS BIP160: PRODUKSJON AV OLJE OG GASS høst 2013

Varmeovergangskoeffisient fra ytre rørvegg til vannet: $h_Y = 2650 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

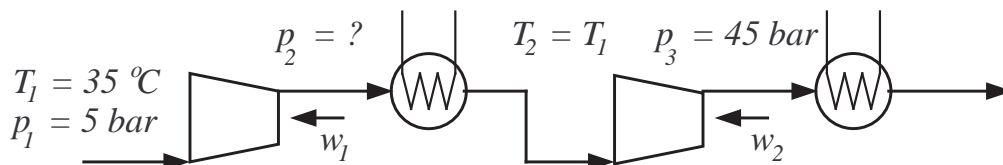
- c** Hva blir teoretisk varmeovergangstall, U , fortsatt referert til utsiden av det indre røret ?
- d** Hva ville oljens temperatur ut blitt, med det teoretiske varmeovergangstallet ? (Tips: Anta først at $LMTD$ er konstant, og estimer nye temperaturer. Dette er starten på en iterativ prosedyre som kan gjentas til verdiene slutter å endre seg)

For å bedre varmeovergangen kunne man tenke seg å erstatte det indre stålrøret med et tilsvarende i kobber. Kobber er en betraktelig bedre varmeleder enn stål, og har en termisk konduktivitet $k_c = 400 \text{ W/mK}$.

- e** Hvor mange prosent forbedring i totalt varmeovergangstall vil man da få, forutsatt at alt annet er konstant (dvs. er det verdt prisen av kobber) ?

Oppgave 5 (Kompressorer, Kap. 11)

En gasstrøm på $2500 \text{ Sm}^3/\text{h}$ skal komprimeres fra 5 til 45 bar i to trinn (se skisse i Figur 4). Imellom trinnene kjøles gassen ned til den temperaturen den hadde før kompresjonen.



Figur 4: To-trinns kompressor

For gassen gjelder følgende data:

Relativ gasstetthet, $\gamma = 0.68$.

Adiabatekspont ($\frac{c_p}{c_v}$), $\kappa = 1.24$.

Først antas ideell gass og isentropisk kompresjon ($z = 1$, $n = \kappa$). Derved gjelder ligning (11.48) og (11.49):

- a** Finn det mellomtrykket som gjør at teoretisk kompressorarbeid fordeler seg likt på de to kompressorene.
- b** Hva blir det totale teoretiske arbeidet pr. tidsenhet med dette mellomtrykket (i kW) ?
- c** Hva blir utløpstemperaturen for kompressortrinnene, før kjøling ?

Det er valgt å bruke sentrifugalkompressorer, som man kan anta arbeider etter en tilnærmet polytropisk prosess. Anta for enkelhets skyld at polytropisk virkningsgrad (polytropic efficiency, Lign. 11.67) er konstant, og at $E_p = 0.7$.

- d** Repeter prosedyren i avsnitt 11.3.3, og finn en korrigert verdi for kompresjonsarbeidet på andre trinn.

KURS BIP160: PRODUKSJON AV OLJE OG GASS høst 2013

Oppgave 6 (Gassrørledninger, Kap. 11)

Europipe II eksporterer gass fra Kårstø i Tysvær til Dornum i Tyskland. For et transportsenario kan vi anta følgende data:

Rørets lengde, $L = 658$ km.

Rørets indre diameter, $ID = 42$ in (= 1.07 m).

Innløpstrykk, Kårstø, $p_1 = 190$ bar a.

Utløpstrykk, Dornum, $p_2 = 90$ bar a.

Gassens molvekt, $Mw = 17.7$ g/mol.

Omgivelsestemperatur på sjøbunnen, $T = 4$ °C.

- Hvorfor kan man med god tilnærming anta at gasstemperaturen under transport er konstant, og lik sjøbunnens omgivelsestemperatur ?
- Beregn z -faktor for gassen ved innløp og utløp, basert på $T = 4$ °C. Molvekt for luft er 28.97 g/mol.
- Rørets designkapasitet er noen steder oppgitt til ca. 65 MMSm³/d, og andre steder til ca. 74 MMSm³/d. Hvilket anslag er mest korrekt, dersom Weymouthligningen for horisontal strømning legges til grunn ?

Weymouthligningen for horisontal strømning tilsvarer ligning (11.101) i læreboka:

$$q_{st} = C \cdot \left(\frac{T_{st}}{p_{st}} \right) \sqrt{\frac{(p_1^2 - p_2^2)}{z \gamma T L}} \cdot D^{\frac{8}{3}}$$

For SI-enheter:

- $C = 137.2$.
- q_{st} kommer ut i Sm³/s (Standardkubikkmeter pr. sekund).
- Alle trykk må oppgis i Pa.
- Alle temperaturer må oppgis i K.
- Alle lengdeenheter (D og L) må oppgis i m.

For lærebokas enhetssystem:

- $C = 18.062$.
- q_{st} kommer ut i scfh (Standard kubikkfot pr. time).
- Alle trykk må oppgis i psi.
- Alle temperaturer må oppgis i °R (grader Rankine).
- Rørdiameteren må oppgis i in.
- Lengden må oppgis i miles (!).

Tilleggsspørsmål (til de som gidder)

- Regn om til enhetene brukt i Ligning (11.101) og gjenta kapasitetsanslaget og sjekk om det stemmer.