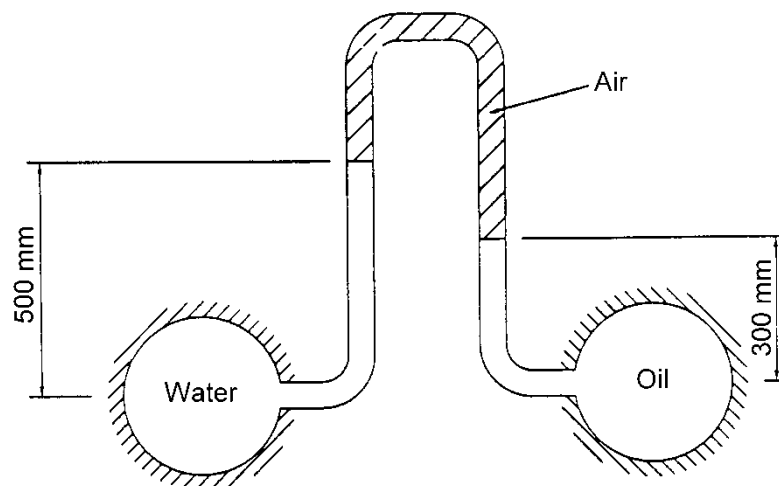


ÖVNINGSUPPGIFTER TILL STRÖMNINGS- OCH ENERGITEKNIK

1 Grundläggande strömningssamband

Tryck

- Ö1.1 Ett U-rör i glas är delvis fyllt med vatten, varvid vattenytan i vardera skänkel har samma höjd. Man håller på cyklohexan över respektive skänkel, 75 mm i den ena och 150 mm i den andra. Vad blir höjdskillnaden mellan vattenytan i vardera skänkel?
- Ö1.2 Vilket tryck i bar motsvarar 10,2 m vattenpelare?
- Ö1.3 Figuren nedan visar en så kallad inverterad U-rörsmanometer kopplad mellan två rör. I det ena röret strömmar det vatten och i det andra en olja, vars densitet är 800 kg/m^3 . Luftens densitet i manometern kan antas vara $1,2 \text{ kg/m}^3$. Beräkna tryckskillnaden mellan vattenröret och oljeröret.



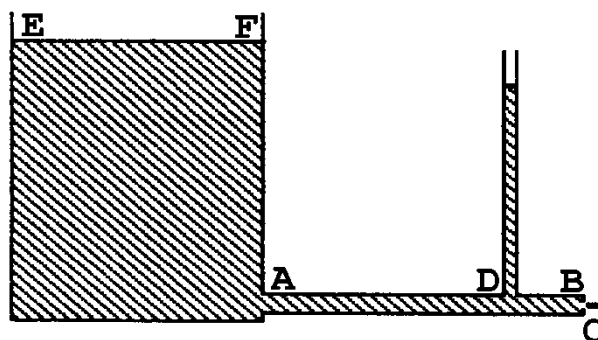
Kontinuitetsekvationen

- Ö1.4 I en rörledning med 25 mm diameter är vätskehastigheten 2,5 m/s. Beräkna volymflödet i liter per minut.
- Ö1.5 Genom en rörledning med cirkulärt tvärsnitt skall $356 \text{ m}^3/\text{h}$ vatten transporteras med en hastighet av 1,4 m/s. Hur stor är den erforderliga diametern?
- Ö1.6 En rörledning med diametern 300 mm reduceras först till 150 mm för att sedan få diametern 250 mm. Om medelhastigheten i 150 mm-sektionen är 4,5 m/s, vilken hastighet råder då i de andra sektionerna, om det är en inkompressibel vätska som strömmar i ledningen?

- Ö1.7 I ett rör med varierande tvärsnittsarea strömmar vatten med ett volymflöde av 6000 l/min. Vattentemperaturen är 12°C. Vid en punkt av röret är tvärsnittsarean 0,10 m² och på ett annat ställe 0,02 m². Beräkna hastigheten vid dessa två ställen.
- Ö1.8 En rörledning består av två hopkopplade rör, det ena med diametern 50 mm och det andra med diametern 75 mm. Volymflödet i ledningen är 237 l/min. Beräkna hastigheten i respektive rör.
- Ö1.9 I en cylinder med innerdiametern 50 mm rör sig, koncentriskt, en kolv med ytterdiametern 46 mm. Om cylindern fylls med vatten och kolven sedan skjuts in i cylindern, måste det då undanträngda vattnet passera i spalten mellan kolven och cylinderväggen. Om kolvens hastighet är 75 mm/s, hur stor är då vattenhastigheten i spalten?
- Ö1.10 700 m³/h vatten transporteras genom en rörledning med 0,4 m diameter. Man vill dela detta flöde i två: ett på 500 m³/h och ett på 200 m³/h. Vilka diametrar måste grenledningarna ha för att hastigheten skall vara densamma i alla tre ledningarna?

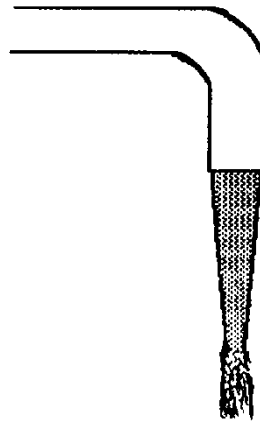
Bernoullis ekvation

- Ö1.11 Beräkna den teoretiska utströmningshastigheten genom en liten öppning, vars mittpunkt ligger 5 m under vattenytan i en öppen tank.
- Ö1.12 Den konstanta nivån *EF* i tanken nedan ligger 5 m över utloppet vid *C*. Diametern i utloppet *C* är en tredjedel av diametern i röret *AB*. I punkten *D* på detta rör *AB* är ett tryckmätningrör inkopplat. Beräkna hur högt vätskan stiger i tryckmätningröret. Antag förlustfri strömning.

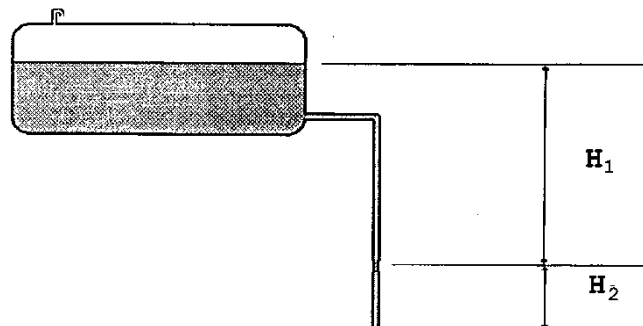


- Ö1.13 Metanol strömmar förlustfritt i ett rörsystem med volymflödet 3,0 m³/h. På ett ställe där rördiametern är 20 mm visar en manometer att trycket är 1,20 bar. Beräkna trycket på ett annat ställe i rörsystemet, som ligger 5 m högre och där rördiametern är 50 mm.
- Ö1.14 I botten av en oljetank finns ett avtappningsrör vars diameter är 25 mm. Genom röret strömmar olja ut med ett flöde av 2 l/s. Beräkna oljenivåns höjd över tankens botten om flödet antas vara friktionsfritt.

- Ö1.15 En vattenstråle, som rinner ut ur ett rör enligt figuren, smalnar av mer och mer innan den till slut splittras upp. Om rörets inre diameter är 10 mm och vattnets utloppshastighet är 0,3 m/s, vad blir strålens diameter 0,5 m längre ner om den där fortfarande skulle hålla samman? (Fundera gärna på varför strålen splittras längre ned.)



- Ö1.16 I en vertikal rörledning med 0,3 m diameter finns en lokal förträngning med diametern 0,15 m. I en punkt A, som ligger 0,6 m högre än förträngningen, är trycket 5,17 bar. Beräkna trycket i förträngningen när det strömmar $0,12 \text{ m}^3/\text{s}$ vatten. Förlusterna försummas och vattnets densitet kan sättas till 1000 kg/m^3 .
- Ö1.17 Figuren nedan visar en varmvattentank. Vattnets temperatur är 60°C . Trycket ovan vattenytan i tanken är atmosfärstryck. Beräkna den minsta diameter som förträngningen i röret får ha, för att inte kavitation skall uppstå. Bortse från förluster. Diametern i resten av röret är 75 mm. H_1 och H_2 är 7 m respektive 2 m.



(Ledning: Kavitation uppstår då det lokala statiska trycket blir lägre än vätskans ångtryck vid aktuell temperatur.)

- Ö1.18 $7,5 \text{ m}^3/\text{h}$ vatten strömmar i en rörledning där på ett ställe med innerdiametern 0,15 m trycket är 8,2 bar. På ett annat ställe, som ligger 3 m högre, är diametern 0,3 m. Bestäm trycket på detta ställe om förlusterna försummas. $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$.
- Ö1.19 En kanal genom vilken vattenmängden 170 kg/s strömmar, har vid sektionen A diametern 150 mm och vid sektionen B 300 mm. Vilket är trycket vid sektion B, då denna ligger 1,8 meter högre än A, där övertrycket är 7,0 mvp (meter vattenpelare)? Friktionen försummas och atmosfärstrycket är 760 mm Hg.

Ö1.20 I en stor öppen tank ligger vattennivån 4 m över dess botten. Från botten utgår ett rör med 120 mm diameter som mynnar ut i det fria 12 m under tankens botten. Röret avslutas med ett munstycke, vars utloppsdiameter är 100 mm. Om förlustfri strömning antas, beräkna

- a) vattnets utströmningshastighet
- b) trycket vid rörinloppet i tankens botten.

Ö1.21 I ett kärl strömmar 60 l/min vatten in, samtidigt som det avtappas genom en sughävert, som hänger över kärlekanten. Hur djupt under kärlekanten inställer sig vattenytan, om hävertens båda ändpunkter befinner sig 0,6 m under kanten? Röret har en genomströmningsarea på 6 cm^2 . Antag att strömningen sker förlustfritt.

Ö1.22 En ubåt går i saltvatten ($\rho = 1030 \text{ kg/m}^3$) på ett djup av 17 m och med hastigheten 6,2 m/s. Beräkna det tryck som uppstår vid fören, d.v.s. i stagnationspunkten. Lufttrycket är 0,10 MPa.

2 Viskositet och Reynolds tal

Viskositet

- Ö2.1 En Höpplerviskosimeter används för att bestämma viskositeten på en processvätska. Vid användande av en kula med kulkonstanten 1,236 cSt/s och densiteten 8,12 g/cm³ tar det 57,4 s (taget som medelvärde av tre mätningar) för kulan att falla mellan den övre och den undre ritsen på glasröret, då vätskan är 25°C. Vätskans densitet vid denna temperatur är uppmätt till 1350 kg/m³. Beräkna processvätskans viskositet vid 25°C.
- Ö2.2 Viskositeten skall bestämmas för en glykolblandning (ca 20% löst i vatten). I den Höpplerviskosimeter som finns tillgänglig används den största kulan (som ger minst vätskespalt). Den har kulkonstanten 0,01004 cSt/s och densiteten 2,480 g/cm³. Värdet skall användas för en uppskattning, och det behövs inte lika stor noggrannhet, varför tiden för kulans fall bara mäts mellan de två översta ritsarna, d.v.s. halva mätsträckan. Medelvärdet på falltiden för halva sträckan är 59,7 s och lösningens densitet är 1,02 g/cm³ vid mättemperaturen 25°C. Vad är blandningens viskositet vid denna temperatur?

Reynolds tal

- Ö2.3 I ett 1" rör strömmar en fluid. Beräkna den högsta hastighet fluiden kan ha för att fortfarande laminär strömning skall råda, och bestäm också massflödet vid denna gränshastighet, för nedanstående fluider:
- Vatten av 20°C.
 - Luft av 20°C.
- Ö2.4 När 114 liter vatten per minut rinner fram i en vattenledning, vars inre diameter är 76 mm, är då flödet laminärt eller turbulent? Vattnets temperatur är 21°C.
- Ö2.5 Koncentrerad svavelsyra av 18°C strömmar genom en ledning med innerdiametern 89 mm. Flödet är 120 l/min. Är strömningen laminär eller turbulent?
- Ö2.6 I ett rör med fyrkantigt tvärsnitt, med dimensionerna 3 cm × 6 cm, strömmar vatten med en temperatur 50°C. Flödet är 1,7 kg/s.
- Uppskatta med hjälp av hydraulisk diameter vad Reynolds tal blir i röret?
 - Vattnet strömmar vidare in i mellanrummet mellan två koncentriska rör, d.v.s. strömningens tvärsnitt är den cirkulära spalten mellan det inre rörets yttervägg och det yttre rörets innervägg. Om det inre röret har en ytterdiameter på 15 mm och det yttre röret en innerdiameter på 30 mm, vad blir då Reynolds tal i detta rör?

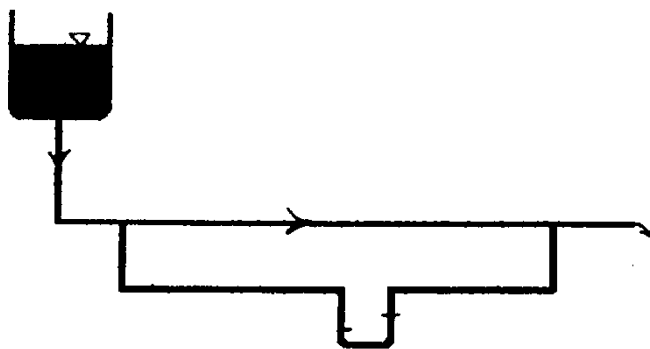
Hagen-Poiseuilles ekvation

Ö2.7 Glycerin med temperaturen 26,5°C pumpas fram i ett smalt horisontellt rör, vars diameter är 2,50 mm. Glycerinflödet är 0,113 l/min. Röret har två tryckuttag. Avståndet mellan dessa är 0,300 m. Tryckskillnaden mellan dessa uttag är 2,76 bar. Beräkna viskositeten för glycerin vid 26,5°C.

Ö2.8 Diametern i ett kapillärrör kan bestämmas genom att man mäter vätskeflödet genom röret. Räkna ut diametern från följande data:

Rörlängd	0,5002 m	Tryckfall	482,9 kPa
Viskositet	0,0385 kg/m s	Massflöde	2,997 g/s
Densitet	995,2 kg/m ³		

Ö2.9 Från en behållare rinner en saltlösning ner till ett horisontellt kapillärrör. Massflödet uppmäts till $1,23 \cdot 10^{-5}$ kg/h. Lösningens densitet är 1214 kg/m³. Kapillärröret är försett med två tryckuttag, vilka är kopplade till en U-rörsmanometer. Manometervätskan är koltetraklorid. Vätskan ovanför manometervätskan utgörs av saltlösningen. Kapillärrörets diameter är 0,30 mm. Avståndet mellan tryckuttagen är 2,8 m. Höjdskillnaden mellan koltetrakloridytorna i manometern är 27,0 mm. Beräkna saltlösningens viskositet vid försökstemperaturen.



(Ledning: För U-rörsmanometern gäller: $p_1 - p_2 = (\rho_{\text{Manometervätska}} - \rho_{\text{fluid}}) \cdot g \cdot \Delta h$)

Ö2.10 Smörjolja pressas genom ett 1 meter långt rör med diametern 5 mm. Hur mycket olja passerar, om tryckdifferensen mellan rörändarna är $1 \cdot 10^5$ N/m², oljans viskositet är 2,0 St och dess densitet är 900 kg/m³?

Ö2.11 En trögflytande vätska ska pressas igenom ett rör med diametern 10 mm, och det önskade flödet bör vara minst 0,2 kg/s. Den högsta tryckdifferens som kan åstadkommas är 3,0 bar. Om vätskans densitet är 1300 kg/m³ och dess dynamiska viskositet är $95,4 \cdot 10^{-3}$ Pa s, hur långt kan då röret högst vara?

3 Hastighets- och flödesmätning

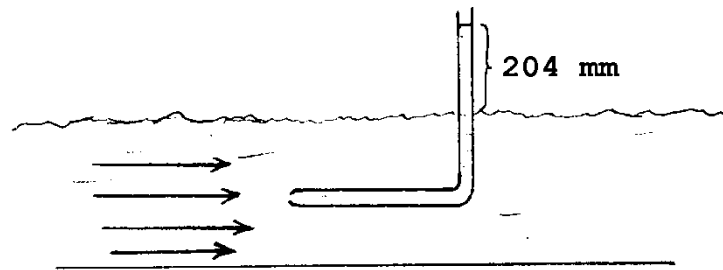
Pitot- och Prandtlrör

Ö3.1 Ett Prandtlrör placeras i mitten av en rörledning i vilken bensen strömmar fram. Den anslutna U-rörsmanometern, som innehåller kvicksilver och bensen, visar ett utslag av 21 mm skillnad mellan kvicksilverskänklarna. Temperaturen vid mätningen är 18°C.

- Beräkna hastigheten längs rörets mittlinje.
- Hur stort är volymflödet, om rörets diameter är 0,050 m.

Ö3.2 För att mäta strömningshastigheten i centrum av en vattenledning används ett Prandtlrör. Totaltrycket uppgår till 5670 mmvp och det statiska trycket till 4720 mmvp. Hur stor är vattenhastigheten i mätpunkten?

Ö3.3 I ett öppet avloppsdike stoppas ett enkelt Pitotrör ned enligt figuren. Avloppsvattnet kan antas ha samma densitet som rent vatten. Beräkna avloppsvattnets hastighet i mätpunkten.

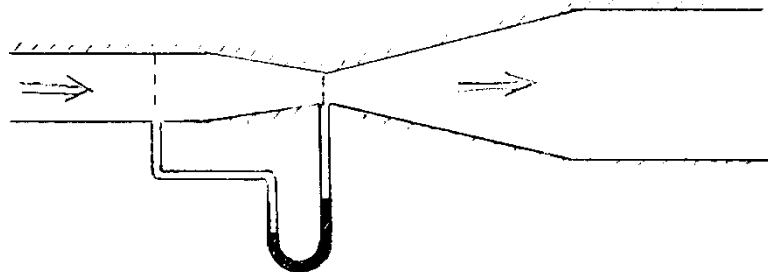


Ö3.4 För mätning av hastigheten i en luftkanal användes ett Prandtlrör och en därtill kopplad mikromanometer. Manometervätskan utgörs av cyklohexan. Vid en mätning var höjdskillnaden mellan skänklarna 5,20 mm. Luftens temperatur var då 20°C. Beräkna lufthastigheten vid denna mätning.

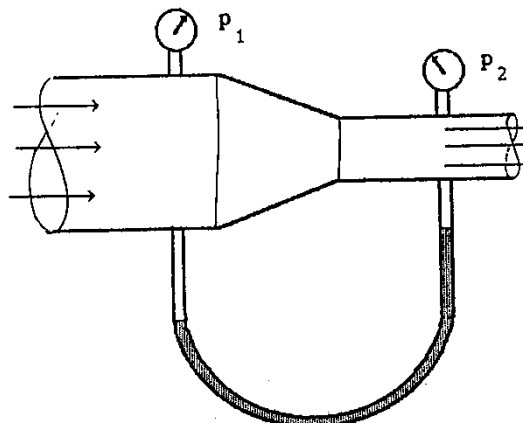
Ö3.5 Volymflödet i en luftkanal bestäms genom mätning med ett Prandtlrör. Luftkanalen utgörs av ett rör med diametern 100 mm. Luften är torr och dess temperatur är 20°C. Till Prandtlrörets uttag är ett U-rör anslutet. Det är delvis fyllt med vatten. Vid mätning är nivåskillnaden mellan vattenytorna i U-röret 100 mm. Beräkna volymflödet.

Venturimeter

- Ö3.6 I en horisontell ledning strömmar vatten från ett rör med diametern 100 mm in i ett annat rör med diametern 160 mm. Mellan dessa rör insättes en Venturimeter med 70 mm diameter i minsta sektionen. Manometern som innehåller kvicksilver visar en höjdskillnad mellan kvicksilverpelarna på 88 mm. Beräkna massflödet i ledningen.



- Ö3.7 I en ångledning med innerdiametern 50 mm insätts en Venturimeter, vars minsta diameter är 38,7 mm. Största diametern är densamma som rörets. Om strömningshastigheten i ångledningen är 3 m/s och tryckskillnaden i Venturimetern är 16 Pa, vad är då ångans densitet?
- Ö3.8 Cyklohexan vid 18°C pumpas genom en ledning med diametern 100 mm. För mätning av flödet har man installerat en horisontell Venturimeter med de respektive diametrarna 100 mm och 65 mm. Till Venturimeterns tryckkuttar har man kopplat en U-rörsmanometer med vatten som manometervätska. Höjdskillnaden mellan vattenpelarna är 387 mm. Tillloppsledningarna till manometern är fyllda med cyklohexan. Förlustfri strömning förutsättes. Beräkna cyklohexanflödet i liter per minut.
- Ö3.9 Genom rörledningen i figuren nedan strömmar vatten. Avståndet mellan tryckkuttagen är 1,0 m och rördiametrarna är 300 mm respektive 150 mm. Enligt visarmanometrarna är p_1 lika med 2,40 bar och p_2 lika med 1,65 bar. Manometervätskan i U-röret är kvicksilver och avståndet i höjddled mellan kvicksilverytorna är 500 mm. Beräkna vattenflödet och det procentuella felet hos visarmanometrarna. Antag förlustfri strömning.

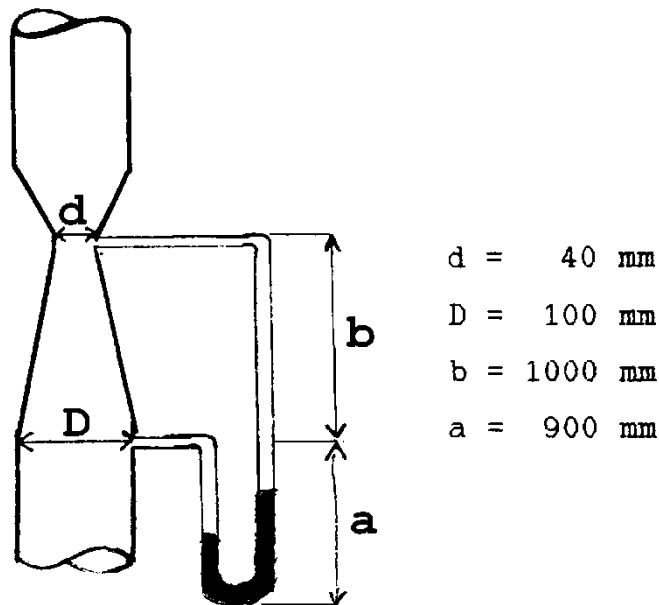


Ö3.10 I en vertikal rörledning för vatten är insatt en Venturimeter, som på 0,6 m avsmalnar från 200 mm (A) till 100 mm (B) diameter. Trycket vid A uppmättes till 0,3 bar och vid B till 0,2 bar. Beräkna den framrinnande vattenmängden

- vid strömning nedåt
- vid strömning uppåt.

Ö3.11 I en vertikal vattenledning är ett Venturirör inkopplat enligt figur. Som manometervätska används tetrabrometan, vars densitet är 2960 kg/m^3 .

- Beräkna hastigheten och flödet i huvudledningen, om manometerutslaget är 53 mm.
- Vilken är den högsta hastighet som kan uppmätas med detta Venturirör?

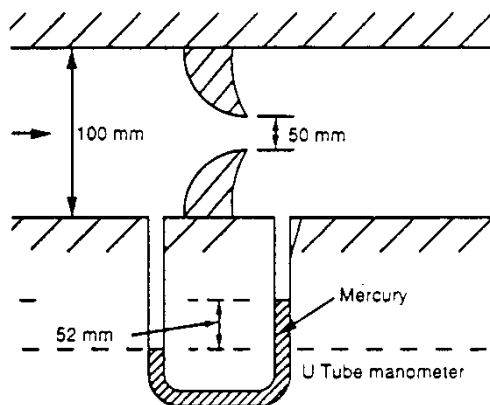


Mätmunstycke och strypfläns

Ö3.12 För att mäta vattenflödet i ett rör är en strypfläns installerad. Rörets innerdiameter är 203 mm, medan strypflänsens håldiameter är 101,6 mm. Tryckdifferensen över strypflänsen mäts med ett U-rör, som i sin nedre del innehåller kvicksilver och i övrigt är fyllt med vatten. Vattentemperaturen i röret är 22°C . Beräkna vattenflödet om nivåskillnaden mellan kvicksilverpelarna är 32,6 mm.

Ö3.13 Vatten vid 20°C pumpas genom en ledning, $\varnothing = 100 \text{ mm}$. För mätning av flödet har man installerat ett mätmunstycke, $\varnothing = 65 \text{ mm}$. Den anslutna manometern innehåller kvicksilver och höjdskillnaden mellan skänklarna är 81 mm. Tilloppsledningarna till manometern är fyllda med vatten. Beräkna vattenflödet.

- Ö3.14 En strypfläns med öppningen 30 mm är installerad i ett rör med diametern 50 mm. I röret strömmar en olja vars densitet är 900 kg/m^3 och viskositet är 4,0 cP. En ansluten manometer visar att tryckfallet över strypflänsen är 9908 Pa. Beräkna oljans volymflöde i röret.
- Ö3.15 Beräkna storleken på en strypfläns till en vattenledning vars diameter är 100 mm. Maximala vattenflödet är $150 \text{ m}^3/\text{h}$ och den tillgängliga differensmanometern har ett mätområde på 0 - 50 kPa.
- Ö3.16 Vatten av 50°C strömmar fram i en rörledning. För att mäta volymflödet är ett munstycke installerat i ledningen. Tryckskillnaden över munstycket mäts med en U-rörsmanometer med kvicksilver som manometervätska. Beräkna flödet i ledningen om följande data gäller: Ledningens diameter är 100 mm. Munstyckets diameter är 50 mm. Höjdskillnaden i manometern är 50 mm.
- Ö3.17 En strypfläns med håldiametern $d = 101,6 \text{ mm}$ är installerad i en horisontell rörledning med diametern $D = 203 \text{ mm}$, genom vilken det strömmar 850 l/min vatten av 22°C . Tryckdifferensen över strypflänsen mätes med U-rör, som i sin nedre del innehåller kvicksilver och i övrigt är fyllt med vatten. Beräkna nivåskillnaden mellan kvicksilverpelarna.
- Ö3.18 Ett munstycke används för att bestämma massflödet i ett rör enligt nedanstående figur. Det är olja som strömmar fram i röret. Oljans densitet är 800 kg/m^3 och dess viskositet är 15 cP. Manometern är delvis fylld med kvicksilver och höjdskillnaden mäts till 52 mm. Vad är resultatet?

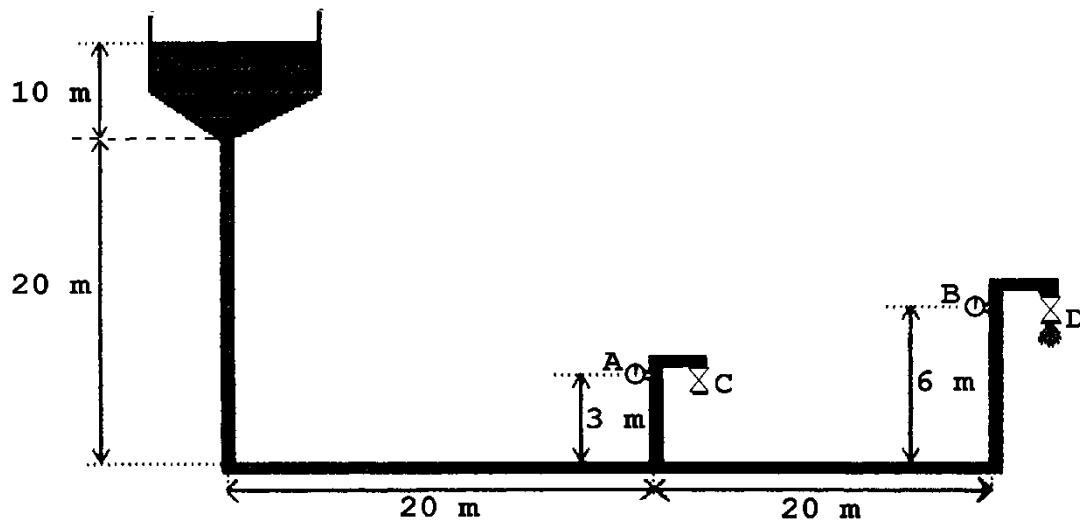


4 Rörströmning med förluster

Friktionsmotstånd i raka rör

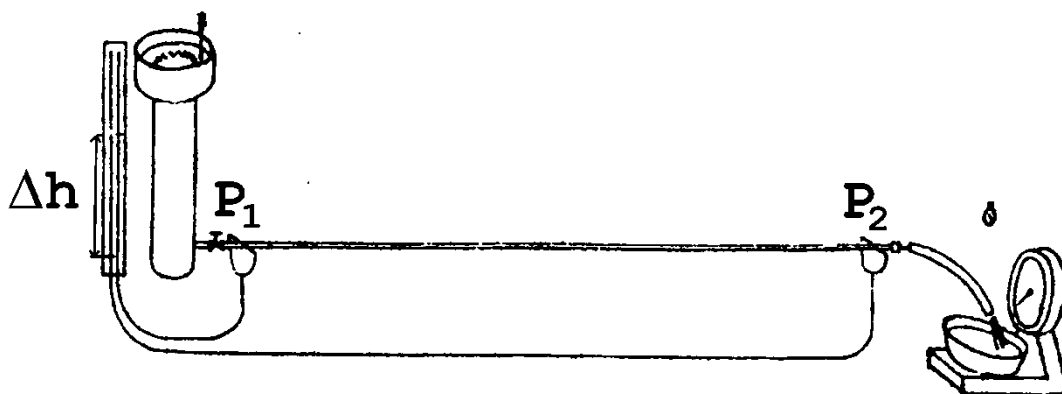
- Ö4.1 Koltetraklorid pumpas fram i ett horisontellt rör. Rörets längd är 30 m och dess bredd är 50 mm. Skrovligheten ε för röret anges vara 0,03 mm. Koltetrakloridens temperatur är 18°C och dess massflöde är 36 ton/h.
- Beräkna tryckfallet i röret.
 - Beräkna den effekt som pumpen måste avge till koltetrakloriden för att övervinna detta tryckfall.
- Ö4.2 En horisontell rörledning är 2000 m lång. Diametern på röret är 200 mm. Röret är tillverkat av svetsad stålplåt, vars skrovlighet uppskattas vara 0,16 mm. Genom ledningen pumpas olja med densiteten 944 kg/m³ och viskositeten 0,0028 kg/m s. Massflödet är 160 ton olja per timme.
- Beräkna friktionstryckfallet i ledningen.
 - Beräkna det minsta effektbehovet för pumpen.
- Ö4.3 Ur en djupborrad brunn pumpas 5 liter vatten per sekund rakt uppåt 100 m. Röret är ett galvaniserat stålrör, vars diameter är 2 tum och skrovlighet 0,1 mm. Vattnets temperatur är 8°C.
- Beräkna friktionsförlusterna i ledningen.
 - Beräkna totala tryckfallet i ledningen.
 - Beräkna det minsta effektbehovet för pumpen om dess verkningsgrad är 90%.
- Ö4.4 En vattenledning är konstruerad av invändigt plastbelagt rör, $\varepsilon = 0$. Rördiametern är 0,3 m och totala längden är 6 km. Genom ledningen transporteras 9000 m³ vatten per dygn. Vattnets temperatur är 20°C.
- Beräkna friktionstryckfallet i ledningen.
 - Beräkna nödvändig pumpeffekt om ledningen är horisontell och pumpen verkningsgrad är 90%.
 - Beräkna nödvändig pumpeffekt om utloppet ligger 50 m högre än inloppet och pumpen verkningsgrad är 90%.
 - Beräkna nödvändig pumpeffekt om utloppet ligger 50 m lägre än inloppet och pumpen verkningsgrad är 90%.

- Ö4.5 Ange det tryck som respektive manometer *A* och *B* visar i vattenledningssystemet enligt figuren nedan.



Röret har diametern 50 mm och är av galvaniserat järn med skrovligheten 0,12 mm. Vattnets temperatur är 20°C. Ventilen *C* är stängd, medan *D* är inställd så att flödet är 5 l/s. Eventuella engångsförluster kan försummas.

- Ö4.6 Ett rörsystem består av en pump och ett horisontellt rör utan krökar och andra engångsförluster. Pumpen avger effekten 2 kW till vätskan som strömmar i röret. Rörets längd är 300 m och dess diameter är 75 mm. Skrovligheten i röret antas vara 0,02 mm. Vätskans densitet är 900 kg/m^3 och dess viskositet är $0,8 \cdot 10^{-3} \text{ Pa s}$. Beräkna volymflödet i röret.
- Ö4.7 Figuren nedan föreställer apparaturen för bestämning av skrovligheten ϵ hos rör.

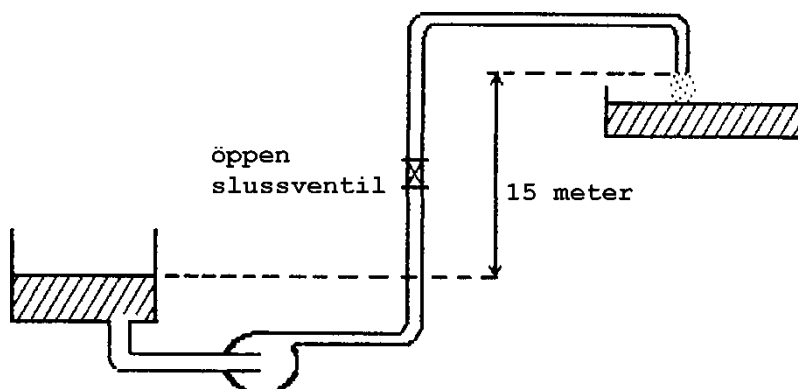


Vid ett försök var vattnets temperatur 6°C, Δh 153 mm, massflödet 10 kg/min, rörets inre diameter 19,2 mm och rörets längd mellan tryckkuttagen 4,80 m. Uppskatta rörets skrovlighet, utgående från detta enda försöksvärde.

- Ö4.8 En rak horisontell vattenledning med diametern 50 mm är utrustad med två tryckmätningrör placerade på fem meters avstånd från varandra. Vid ett tillfälle uppmättes ett flöde av 100 liter på 1,2 minuter. Samtidigt var vattennivån i det ena tryckmätningröret 978 mm och i det andra 892 mm. Vattentemperaturen var 40°C. Beräkna skrovligheten för röret enligt detta försök.
- Ö4.9 Ett rörsystem för vatten med temperaturen 20°C består av en 280 m lång rörledning. Rören i ledningen är vanligt järn med diametern 0,30 m. Utloppet ligger 17 m över inloppet. Tryckfallet på grund av engångsförluster är försumbart. När rören var nya, gav den i ledningen installerade pumpen ett flöde av 14 m³/min. Skrovligheten för de nya rören var 0,05 mm. Efter några år hade rostbildningen orsakat ett ökat tryckfall, så att flödet med samma pump som tidigare endast blev 12 m³/min. Beräkna skrovligheten för de rostiga rören.
(Ledning: Antag att pumpen ger samma effekt i båda fallen.)
- Ö4.10 Från en 50 m högt belägen cistern skall en vattenledning, bestående av PVC-rör med längden 1500 m, läggas. Genom ett munstycke i slutet av ledningen skall 30 m³/h avges. Vilken diameter skall röret ha?
- Ö4.11 Ett samhälle ska ta sitt vatten från en högt belägen sjö. Man vill välja diametern på rörledningen mellan sjön och samhället så stor, att höjdskillnaden 40 m räcker för att få fram 9000 m³ vatten per dygn. Rören skall vara invändigt plastbelagda stålrör. Längden på ledningen blir 6 km. Vattnets lägsta temperatur är 5°C. Hur stor diameter skall man välja?
- Ö4.12 En saltlösning, vars densitet är 1180 kg/m³ och vars viskositet är 2,5·10⁻³ kg/m s, pumpas genom ett 30 m långt kopparrör. Rörets inre diameter är 25 mm och dess skrovlighet är 0,01 mm. Flödet är 100 l/min. Beräkna den minsta effekt som pumpen måste avge om rörets utlopp ligger 3 m högre än inloppet.
- Ö4.13 Från en vattentank belägen på taket av en byggnad skall en vattenledning, bestående av polyetenrör, med längden 700 m läggas. Flödet i röret med helt öppen ventil skall vara minst 20 m³/h. Beräkna den minsta diametern röret kan ha, om nivåskillnaden mellan vattenytan i tanken och utloppet från röret är 22 m. Vattnets temperatur kan sättas till 15°C.
- Ö4.14 Från ett vattenverk leds vatten i en i marken nergrävd rörledning. Röret är ett galvaniserat stålrör, vars invändiga diameter är 300 mm. Rörlängden är 800 m och utloppet ligger 37 m lägre än inloppet i vattenverket. Vattnets temperatur är 10°C. Beräkna det maximala vattenflödet i rörledningen.

Engångsmotstånd

Ö4.15 I en anordning enligt nedanstående figur skall en vätska pumpas från en tank upp till en annan. Vätskans densitet är 1800 kg/m^3 och dess viskositet är $0,020 \text{ kg/m s}$. Flödet är 5 l/s . Rören är invändigt släta plaströr. Röret från nedre tanken fram till pumpen är 10 m långt och har diametern 80 mm . Röret från pumpen till övre tanken är 50 m långt och har diametern 50 mm . Pumpens verkningsgrad är 85% och däri ingår förluster in till och ut ur pumpen. Beräkna minsta nödvändiga effekt till pumpen.



Ö4.16 Vatten av 8°C pumpas från en brunn via ett 120 m långt rör till ett utlopp som ligger 3 m högre än nivån i brunnen. Rörets diameter är 50 mm och dess skrovlighet är $0,02 \text{ mm}$. I rörledningen finns 3 st. 90° -böjar, 2 st. 45° -böjar och en öppen slussventil. Tillförd pumpeffekt är 750 W . Beräkna volymflödet.

Ö4.17 En vattenkran, som används för att fylla tankbilar, matas genom en 370 m lång rörledning av plast med innerdiametern 100 mm från en stor cistern med vatten. Vattenytan i denna ligger 17 m ovanför kranens utlopp. Fem 90° rörkrökar och två slussventiler finns i ledningen. Beräkna hur lång tid det tar att fylla en tankbil med 25 m^3 vatten.

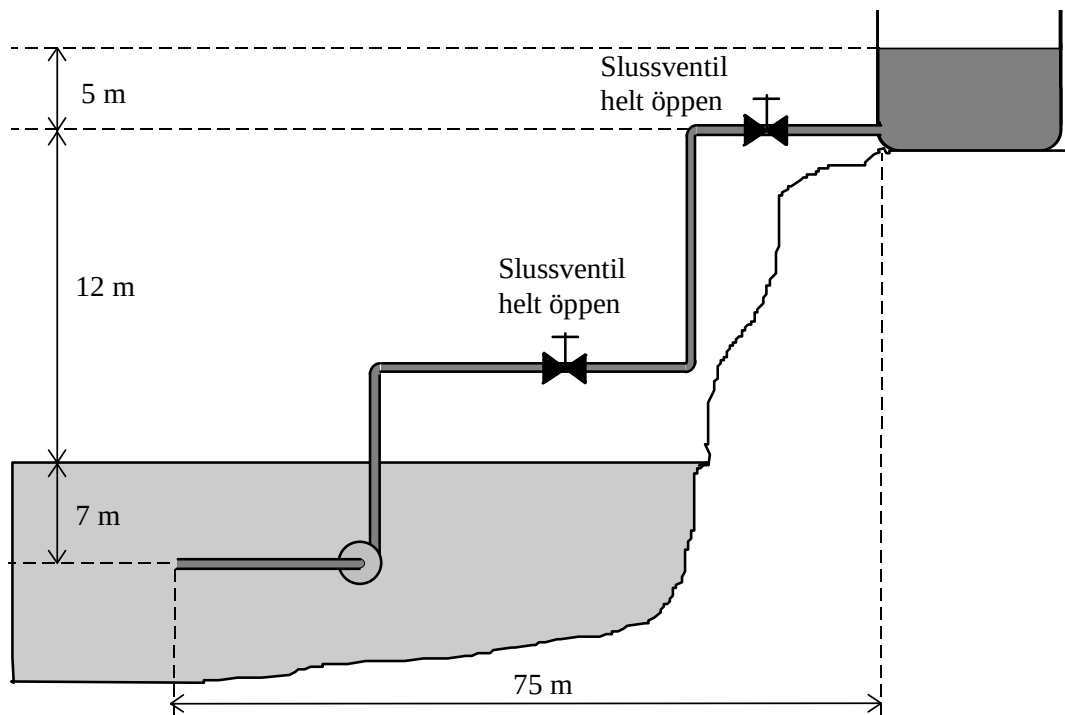
Ö4.18 En rörledning av vanligt stål, $\varepsilon = 0,03 \text{ mm}$, har längden 200 m och inre diametern 70 mm . I ledningen finns 5 90° standardvinklar och en rak öppen sätesventil. Ledningens utlopp ligger 20 m över dess inlopp. En pump pumpar fram en vätska så att flödet blir $12,6 \text{ l/s}$. Vätskans viskositet är 15 cP och dess densitet är 900 kg/m^3 . Beräkna avgiven motoreffekt om pumpens verkningsgrad är 52% .

Ö4.19 Koncentrerad ättiksyra, 18°C , pumpas från en lagertank till en blandningstank. Nivån i blandningstanken ligger 4 m högre än nivån i lagertanken. Båda tankarna är öppna mot atmosfären. Röret mellan tankarna är 30 m långt och har inre diametern 50 mm . Dess skrovlighet är $0,001 \text{ mm}$. I rörsystemet finns en centrifugalpump, två halvöppna slussventiler, ett mätmunstycke och två 90° -böjar. Munstyckets diameter är 25 mm . Vid ett tillfälle avlästes tryckskillnaden över mätmunstycket till 6300 N/m^2 samtidigt

som effektförbrukningen för motorn som driver pumpen var 2070 W. Beräkna verkningsgraden för motor med pump.

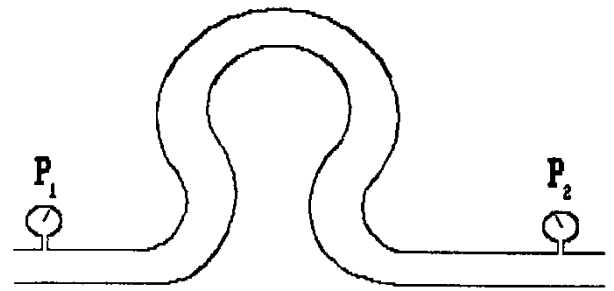
Ö4.20 75 liter vatten per minut skall pumpas från ett vattendrag, med temperaturen 14°C , till en värmeväxlare, där vattnet indirekt koler ner en olja. Avståndet från vattendraget till värmeväxlaren är 200 m och höjdskillnaden är 23 m. Rörlet skall vara ett $\frac{3}{4}$ -tums PVC-rör med slät insida. Rörsystemet innehåller 6 st. 90° -krökar och 2 st. sätesventiler. I värmeväxlaren är det ett tryckfall på 0,3 bar för kylvattnet. Beräkna den pumpeffekt som pumpen skall avge till kylvattnet.

Ö4.21 En tank skall fyllas med 15 l/s vatten. Detta skall hämtas från en närbelägen sjö, enligt figuren nedan. Rörlet är ett galvaniserat stålör med innerdiametern 100 mm. Hur stor effekt måste pumpens motor kunna leverera, om pumpens verkningsgrad är 75% och vattnets temperatur är 7°C .

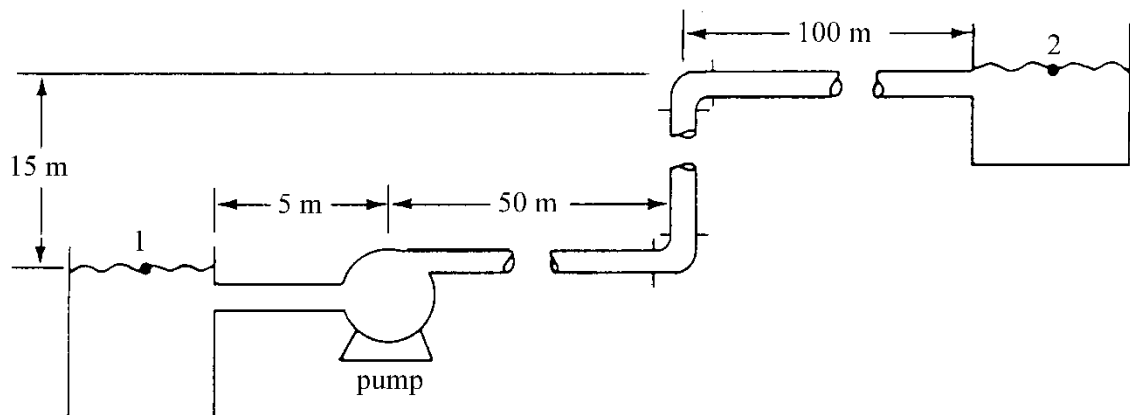


Ö4.22 En centrifugalspump pumpar vatten av 20°C från en mot atmosfären öppen tank till en trycktank vars vätskeyta ligger 12 m över vätskeytan i den öppna tanken. En manometer i toppen av trycktanken visar att trycket där är 2,18 bar. En flödesmätare visar att vattenflödet är $80 \text{ m}^3/\text{h}$. Rörlet från den öppna tanken är 12 m och dess diameter är 150 mm. Rörlet efter pumpen är 18 m och dess diameter 120 mm. I bägge rören finns två 90° rörkrökar och en öppen slussventil. Båda rören är så kallade handelsrör, vars skrovlighet är 0,046 mm. Beräkna den av pumpen avgivna effekten.

- Ö4.23 I vattenledningen enligt figuren har en expansions slinga monterats för att ta upp tryckstötter i ledningen. Vid ett flöde av 4,6 l/s avlästes en tryckskillnad på $1,67 \cdot 10^4$ Pa. Hela rörlängden mellan manometrarna är 10 m. Rörets innerdiameter är 50 mm och dess skrovlighet är 0,02 mm. Vattnets temperatur är 5°C. Beräkna engångsförlustfaktorn n för expansions slingan.

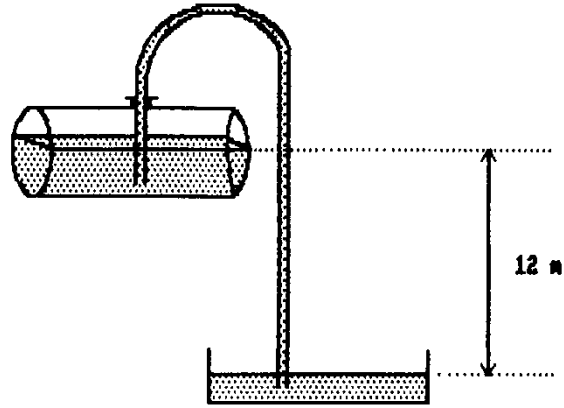


- Ö4.24 Vatten skall pumpas från en lägre tank till en högre enligt figuren nedan. Vattentemperaturen är 20°C och flödet skall vara 5 liter per sekund. Rören är vanliga handelsrör med inre diametern 100 mm. Pumpens verkningsgrad är 65%. Beräkna effektbehovet för pumpen.



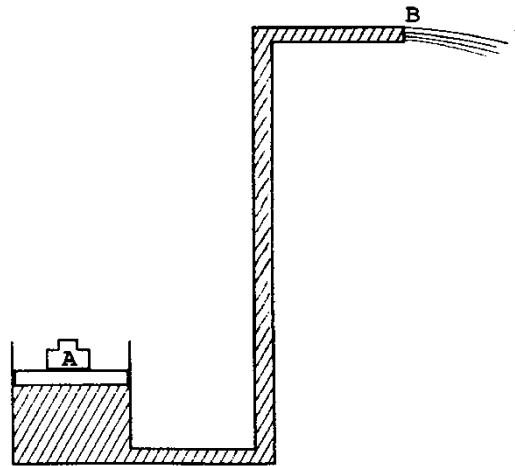
- Ö4.25 Ett vattenflöde på $100 \text{ m}^3/\text{h}$ skall pumpas upp till toppen av en reaktor, där trycket är 20 bar. Nivån i den vätskefyllda reaktorn ligger 18 m över nivån i vattentanken, varifrån vattnet pumpas. Vattentanken är öppen mot atmosfären. Vattenledningen är totalt 40 m lång och dess diameter är 150 mm. Röret är av stål med en skrovlighet av 0,02 mm. Ledningen innehåller 6 st. 90°-böjar och två helt öppna slussventiler. Vattnets temperatur är 20°C. Beräkna pumpens effektbehov om dess verkningsgrad är 80 %.

- Ö4.26 En tank, delvis fylld med olja, skall tömmas med hjälp av en hävert. Som hävert används en gummislang, vars innerdiameter är 20 mm. Slangens totala längd är 25 m. Oljans densitet är 800 kg/m^3 och dess viskositet är $0,0004 \text{ kg/m s}$. Beräkna flödet då avståndet mellan övre och nedre vätskeyta enligt figuren är 12 m.



- Ö4.27 Från en sjö går en rörledning bestående av vanliga handelsrör, 1", upp till botten av en tank. Ledningen är 120 m och innehåller en pump, två sätesventiler och 7 st. 90° standardvinklar. Tankens botten ligger 13 m över sjöns yta. Pumpen ger ett flöde av 52 l/min. Maxnivån på vattnet i tanken är 3 meter över dess botten. Beräkna vilken maxeffekt pumpen avger till vattnet.

- Ö4.28 En vikt A är placerad på en rörlig kolv, som ligger som ett lock ovanpå en vätska i en tank. Från botten av tanken går ett vinklat rör. Rörets utlopp B ligger 1,2 m högre än nivån i tanken. Rörets längd är 3,6 m och dess diameter är 10 mm. Rörets skrovlighet är 0,002 mm. Kolvens yta är $0,02 \text{ m}^2$. Vätskan är vatten av 60°C . Om kolv och vikt tillsammans väger 37 kg, vad blir då flödet ut genom röret? Kolven är lätttröglig och dess friktionsmotstånd mot tankväggen kan försummas.



- Ö4.29 För ett forskningsprojekt, där man studerar korrosionsproblem i en kärnkraftsreaktor, får en ingenjör i uppgift att "designa" ett strömningssystem. Systemet skall bestå av ett rör vars längd är 250 ft och vars inre diameter är 1 tum. Det skall vara ett rostfritt rör, vars skrovlighet är 0,05 mm. Röret går i en slinga från en tank via en pump och tillbaka till tanken. Vätskan som pumpas runt i röret är flytande vismut vid temperaturen 350°C . Om strömningshastigheten skall vara 1,0 ft/s, vilken minsta effekt måste pumpen då avge? Ur tabell erhålls följande data för vismut vid 350°C :

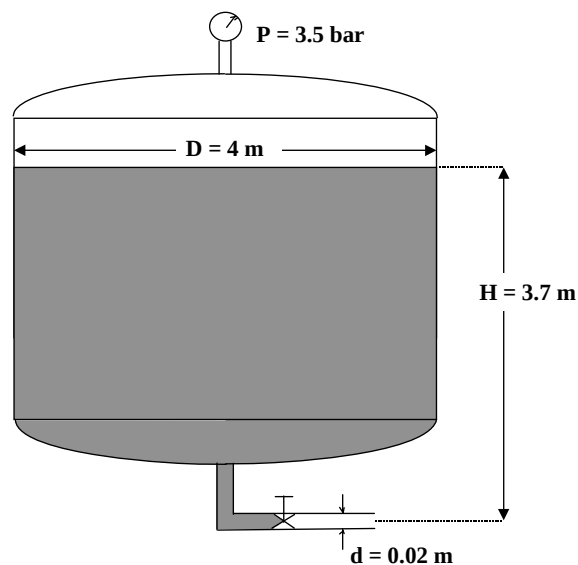
Viskositet	1,28 centipoise
Densitet	613 lb/ft^3

Omräkningsfaktorer: 1 tum = 2,54 cm; 1 ft = 0,305 m; 1 lb = 0,455 kg

- Ö4.30 En centrifugalpump skall installeras i ett rörsystem i vilket vattenflödet skall vara $9,0 \text{ m}^3/\text{min}$. Rörlängden är 280 m och innerdiametern är 0,30 m. Rören är galvaniserade. Vattentemperaturen är 12°C . Utloppet ligger 17 m högre än inloppet. Rörsystemet innehåller 5 rörkrökar, 90° stor radie, och 2 raka sätesventiler. Beräkna vilken effekt motorn skall avge till pumpen om pumpens verkningsgrad är 70%.

Flöde i system med ändring av drivande kraft

- Ö4.31 Nedanstående figur föreställer en lagertank för etanol under tryck.



Om slussventilen i botten öppnas helt, beräkna hur mycket etanol som rinner ut under en minut. Totala längden på röret under tanken är 15 meter. Röret är ett vanligt handelsrör.

- Ö4.32 En öppen tank innehållande 75 liter glykol skall tömmas med hjälp av en hävert. Tanken har en kubisk form med sidan 0,5 m. Som hävert används en 3 meter lång plastslang, vars inre diameter är 15 millimeter. Häverten mynnar ovan ytan till en större tank. Avståndet mellan botten på glykoltanken och hävertens utlopp är konstant lika med 1,5 meter. Glykolens temperatur är 18°C . Beräkna den tid det tar att tömma tanken.
- Ö4.33 Från botten av en cylindrisk tank leder ett 50 m långt horisontellt rör, vars inre diameter är 20 mm. I ändan sitter en kulventil. Tanken innehåller vatten av 60°C och vätskenivån i tanken är 2,5 meter över utloppet i röret. Tankens diameter är 2 meter. Bestäm den tid det tar att tappa ut 2000 liter vatten. Ett medelvärde på friktionsfaktorn kan antas vara 0,023.

5 Rörsystem

Ö5.1 Från en högt belägen lagringstank ska en processvätska fördelas genom ett rörsystem till olika delar av processen. Detta sker genom att vätskan leds genom ett 100 m långt rör (med en diameter på 80 mm) till en fördelningsstation, varifrån den fördelas till önskade mellanlagringstankar, genom att öppna eller stänga ventiler i rörledningarna ut från fördelningen. Rörsystemet innehåller inga pumpar, utan vätskan strömmar enbart med hjälp av höjdskillnad.

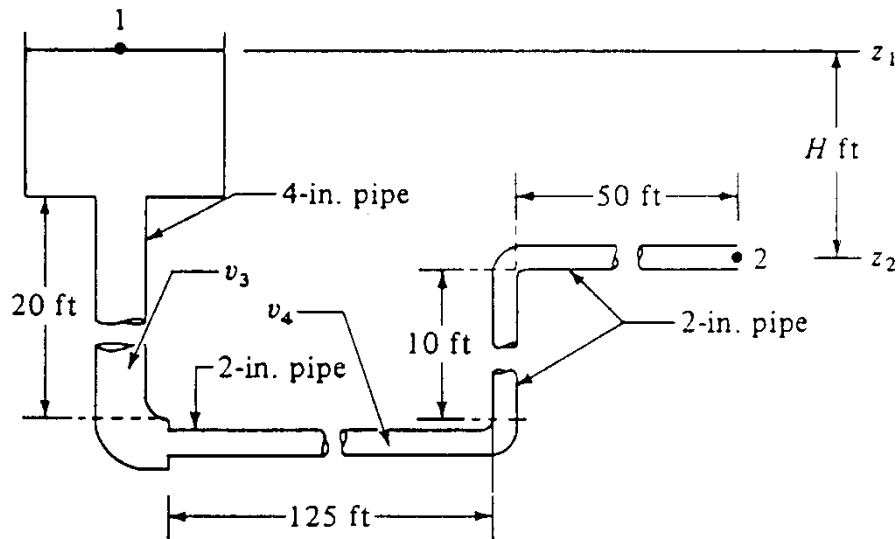
Processvätskan har vid normal temperatur en densitet på 950 kg/m^3 och en viskositet på 1300 cP. Vid beräkningarna kan samtliga rör antas ha en friktionsfaktor på 0,025 och engångsförlusterna kan försummas. Alla tankar kan anses vara öppna mot atmosfären.

- Om all vätska leds till samma mellantank genom en 100 m lång rörledning (med en diameter på 60 mm) från fördelningsstationen, vad är då det maximala volymflödet vid en höjdskillnad mellan tankarnas nivå på 25 m?
- För att öka flödet till tanken i a), kan en parallell ledning (100 m lång, 60 mm diameter) kopplas in mellan fördelningsstationen och mellantanken. Hur mycket ökar det maximala flödet mellan tankarna?
- Vid ett tillfälle ska vätskan fördelas mellan två mellantankar. Till den första tanken, med en höjdskillnad på 18 m (räknat mellan lagringstankens och mellantankens nivåer) leder en rörledning på 150 m, och till den andra tanken, med en höjdskillnad på 25 m, leder en rörledning på 100 m. Båda rörledningarna från fördelningsstationen har en diameter på 60 mm. Vilket är det maximala flödet totalt, och till respektive mellantank?

Seriekopplade rör

Ö5.2 Vatten strömmar genom ett rörsystem med varierande innerdiameter. Massflödet är 1700 kg per timme. Första delen av systemet är ett 120 meter långt horisontellt plaströr med innerdiameter 30 mm. Detta är hopsatt med ett andra rör av glas, 10 meter långt och med innerdiameter 20 mm, vilket är vinklat uppåt så att utloppet ligger 4 meter högre än inloppet. Vattnets temperatur är 40°C . Beräkna tryckfallet i rörsystemet.

- Ö5.3 Från botten av en tank leder ett rörsystem enligt figuren nedan. Rören är galvaniserade. Tanken innehåller vatten av 70°C . Höjdskillnaden mellan punkt 1 och 2 är 10 m.

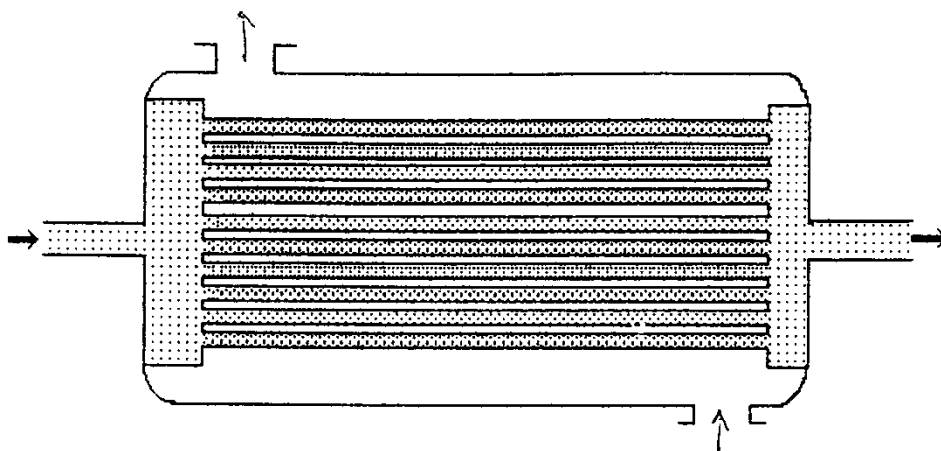


Beräkna utgående flöde. En fot är 0,305 m och en tum är 2,54 cm.

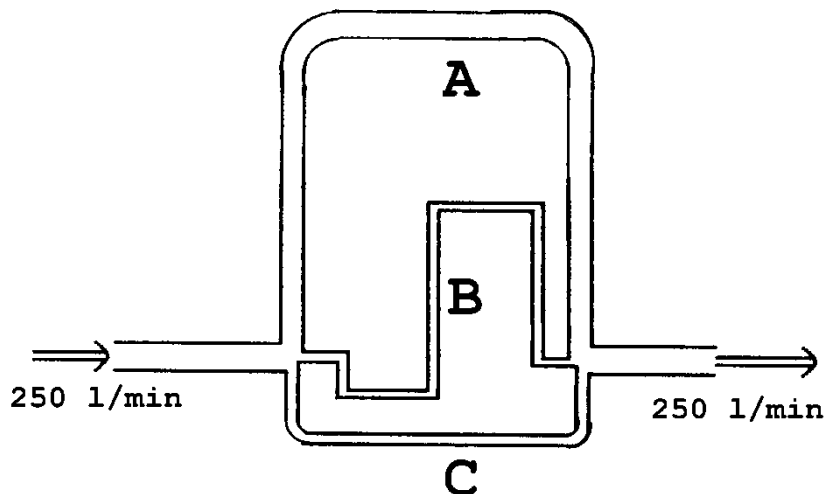
Parallellkopplade rör

- Ö5.4 En värmeväxlare består av 10 stycken 5 m långa, parallella tuber, vars inre diameter är 50 mm. Före tuberna finns en låda som fördelar strömningen jämnt till tuberna och likaså finns en samlingslåda efter tuberna.

Varmvatten av medeltemperaturen 50°C strömmar genom värmeväxlarens tuber. Totala varmvattenflödet in i och ut ur värmeväxlaren är $110 \text{ m}^3/\text{h}$. Tuberna är nya stålrör, vars skrovlighet är 0,0010 mm. Beräkna totala tryckfallet över värmeväxlaren vad avser varmvattensidan.

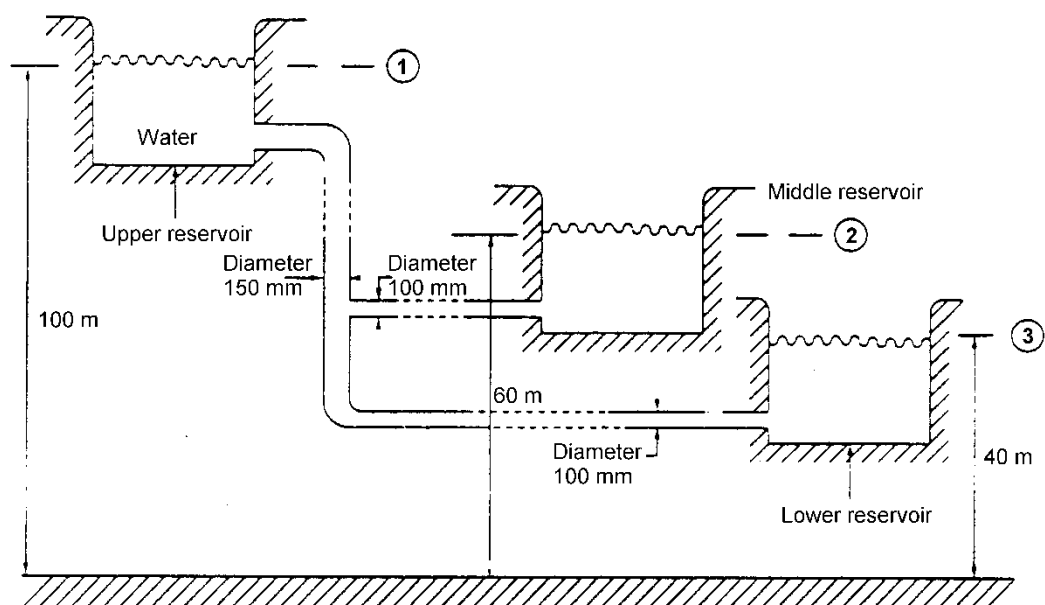


- Ö5.5 En rörledning delar sig i tre grenrör, A, B och C, vilka därefter går ihop i ett rör igen. A är 50 m långt och har innerdiametern 40 mm. Motsvarande för B och C är 30 m och 20 mm respektive 20 m och 25 mm. Rören antas ha friktionsfaktorn 0,016, lika för alla. Vatten av 20°C strömmar fram i ledningen. Beräkna hastigheten i respektive grenrör.



Förgreningar

- Ö5.6 Från en vattentank i vilken nivån är 100 m över en referenshöjd leder ett rör, 1,8 km långt och med diametern 150 mm till en förgrening där det delas i två rör, varav det ena leder till en mellantank, i vilken nivån är 60 m över referenshöjden, och det andra röret leder till en bottentank, vars nivå ligger 40 m över referenshöjden. Dessa två rör har diametern 100 mm och längderna 1,2 km respektive 2,2 km. Beräkna flödena i respektive rör om friktionsfaktorn kan antas vara 0,04.



- Ö5.7 En 4 km lång rörledning med innerdiameter 225 mm leder vatten från reservoaren *A* till reservoaren *B*. Vattenytan vid *A* ligger 66 m över den vid *B*. Över båda ytorna råder atmosfärstryck. I punkt *C* 1,6 km från *A* tappas av 42,5 l/s vatten. Beräkna flödet till *B* om rörfriktionskoefficienten $\lambda = 0,036$ och $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$.

6 Pumpar

Uppfordringshöjd

- Ö6.1 En pump skall uppfordra vatten till en höjd av 17 m över pumpen. Pumpens sughöjd är noll, d.v.s. vattnet rinner till pumpen. Vattenledningen är 280 m lång och har en diameter på 300 mm. I ledningen finns två böjar som sammanlagt förorsakar en tryckförlust motsvarande den för 32 m ledning. Rörfriktionskoefficienten $\lambda = 0,0223$.
- Vad är den statiska uppfordringshöjden i systemet?
 - Beräkna erforderlig uppfordringshöjd om önskat flöde är $9 \text{ m}^3/\text{min}$.
 - Konstruera en systemkurva för det aktuella systemet. Avgör med hjälp av den vilket flöde som skulle ge en uppfordringshöjd på 30 mvp.
- Ö6.2 Från en cistern i ett vattenreningsverk skall 600 l/min vatten pumpas till ett vattentorn genom en 80 mm ledning. Nivåskillnaden är 12 m och i ledningen, som är 200 m lång, finns 4 st. avstängningsventiler ($n = 5$), 5 st. slussventiler ($n = 0,2$), 1 st. backventil ($n = 5$) och 4 st. 90° rökrörkar ($n = 0,3$). Beräkna pumpens uppfordringshöjd och effektbehov, om pumpens verkningsgrad är 60 % och $\lambda = 0,025$.
- Ö6.3 Vid provning av en centrifugalpump visade en manometer på trycksidan 1500 mm Hg övertryck, på sugsidan 200 mm vp undertryck. Höjdskillnaden mellan manometrarna var 0,5 meter. Sugsidans rördiameter var 0,25 m, och trycksidans 0,30 m. Vattenflödet mättes till $0,1375 \text{ m}^3/\text{s}$. Hur stor är pumpverkningsgraden om den tillförda effekten är 45 kW?

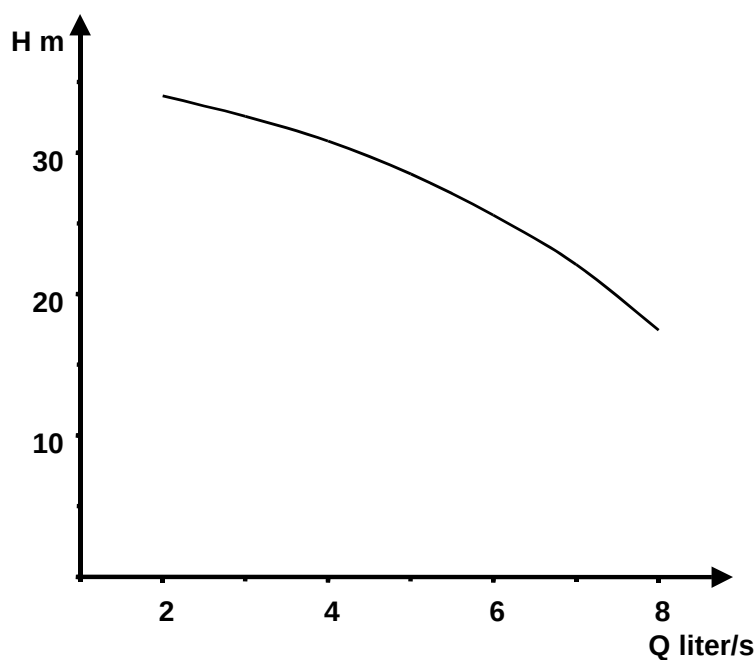
NPSH

- Ö6.4 En pump ska pumpa upp vatten från en öppen tank. Följande data gäller: Vattentemperaturen är $32,2^\circ\text{C}$, vattenhastigheten i sugledningen är 2 m/s , den totala tryckförlustkoefficienten i sugledningen ($\lambda \cdot L/D + \sum n$) = 3 och atmosfärstrycket är 983 mbar.
- Bestäm den maximala sughöjden för att kavitation inte skall inträffa i sugledningen.
 - Om pumpen har en erforderlig NPSH på 4 m vid detta flöde, vad är den högsta höjd ovanför nivån i tanken som man kan placera pumpen? En säkerhetsmarginal på 1 m är rekommenderad.
- Ö6.5 Bensen ska pumpas från en tank till en annan högre belägen tank. Det önskade flödet är 500 l/min . Det finns en pump tillgänglig som klarar detta flöde. Om pumpen placeras på en sockel, 7 m ovanför botten på tanken, kan den totala

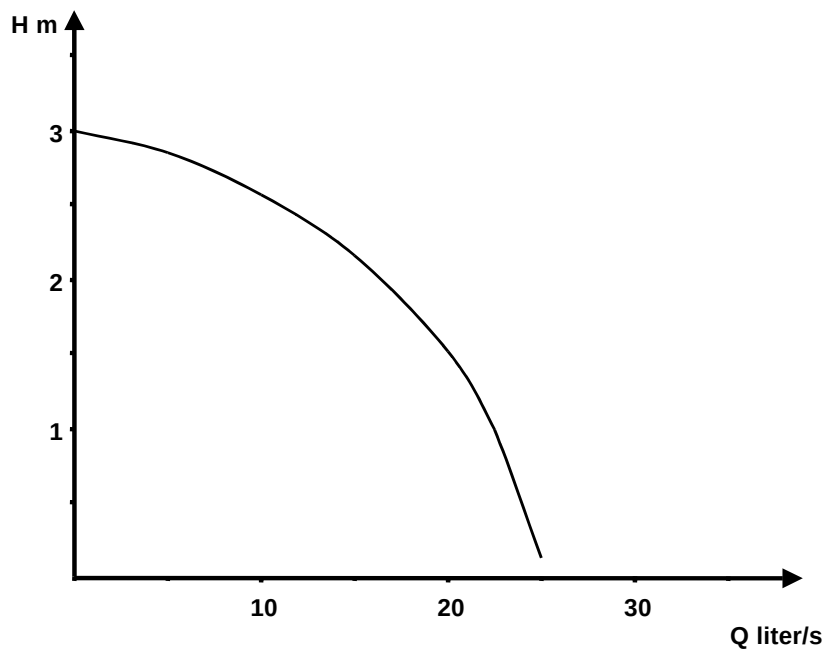
tryckförlustkoefficienten för den nödvändiga rördragningen uppskattas till 5, då rördiametern är 100 mm. Pumpens erforderliga NPSH vid det angivna flödet är 5 mvp. Om trycket i tanken är 1,05 bar och temperaturen är 18°C, hur långt ner kan nivån i tanken sjunka (med lämplig säkerhetsmarginal) innan det riskerar att bli kavitation i pumpen? Ångtrycket för bensen vid 18°C är 68 mmHg.

Pumpkurvor och reglering

- Ö6.6 Två centrifugalpumpar med nedanstående pumpkurva seriekopplas i en ledning. Vad blir flödet om totala uppforderingshöjden är 45 m?

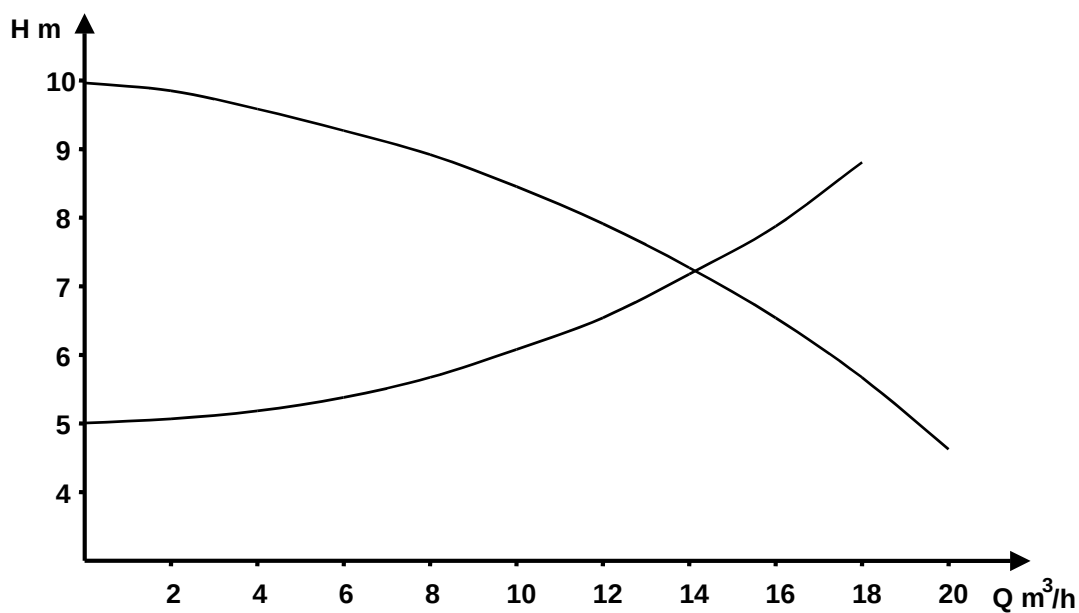


- Ö6.7 En centrifugalpump lämnar 70 l/s vatten vid en uppforderingshöjd av 22 m. Varvtalet är 960 varv/min. Hur stort blir vattenflödet och uppforderingshöjden om varvtalet ökas till 1250 varv/min? Hur stor är avgiven motoreffekt vid de två olika varvtalen, om pumpens verkningsgrad i båda fallen är 60%?
- Ö6.8 Två lika centrifugalpumpar vars pumpkurva (för en pump) framgår av figuren nedan skall parallellkopplas. Man skall pumpa vatten genom en 1000 m lång horisontell rörledning. Rörets inre diameter är 200 mm och friktionsfaktorn för det aktuella fallet är 0,02. Bortse från övriga förluster och beräkna vattenflödet i röret.



Ö6.9 I figuren nedan visas en pumpkurva med inlagd systemkurva. I det aktuella fallet pumpas 14 m^3 vatten per timme, och höjdskillnaden mellan in- och utlopp är 5 m. Den avgivna motoreffekten till pumpen är 380 W.

- Beräkna pumpens verkningsgrad.
- Pumpkurvan i figuren gäller för en pump vars varvtal är 1410 varv/minut. Antag att motorn går att varvtalsreglera och att man då ändrar varvtalet till 1200 varv/minut. Hur ser den nya pumpkurvan ut, och var skär den systemkurvan? Beräkna pumpeffekten för detta fall.
- Flödet i b) kan åstadkommas med det ursprungliga varvtalet på 1410 varv/minut men med en ny systemkurva som uppkommer om flödet stryps med en ventil. Beräkna effekten i detta fall och jämför med b).



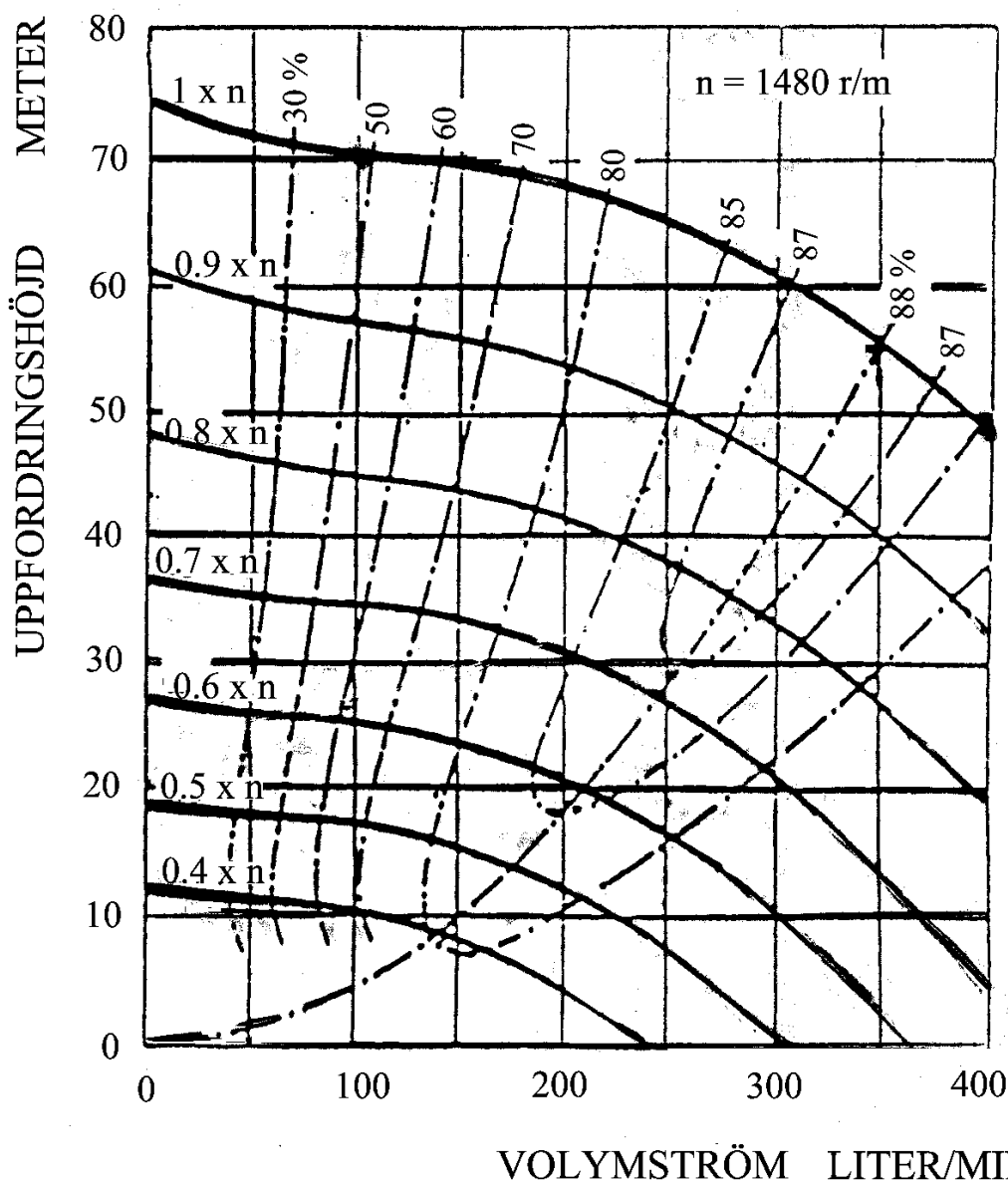
Ö6.10 En centrifugalpump transporterar metanol från öppen behållare till en trycktank vars tryck är 2,5 bar. Vätskenivån i tryckbehållaren ligger 10 m över nivån i den öppna behållaren. Pumpens karakteristika visas i nedanstående diagram. (Pumpkurvor för olika varvtal n , samt därtill hörande verkningsgrad.) I tryckluftledningen finns en strypventil för reglering av flödet. Vid fullt öppen ventil ger pumpen flödet 400 l/min vid varvtalet 1480 rpm.

Bestäm av motorn till pumpen levererad effekt för följande fall:

- Flödet 400 l/min och varvtalet 1480 rpm
- Flödet 100 l/min och varvtalet 1480 rpm
- Flödet 100 l/min med varvtalsreglering

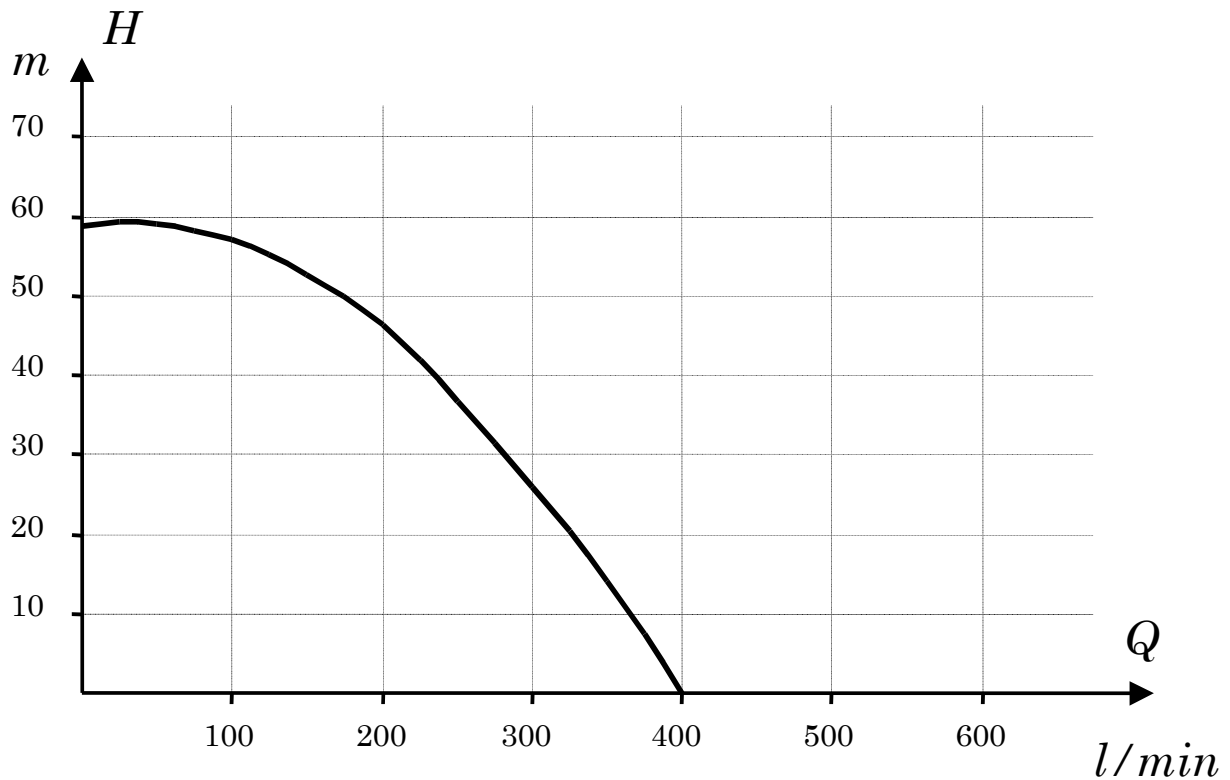
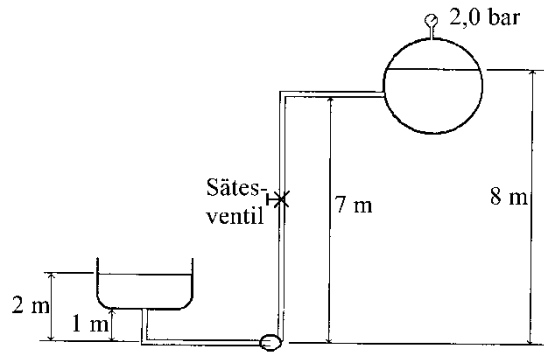
Bestäm också varvtalet i alternativ c).

Inga förändringar i systemet beaktas, förutom strypning eller varvtalsändring.



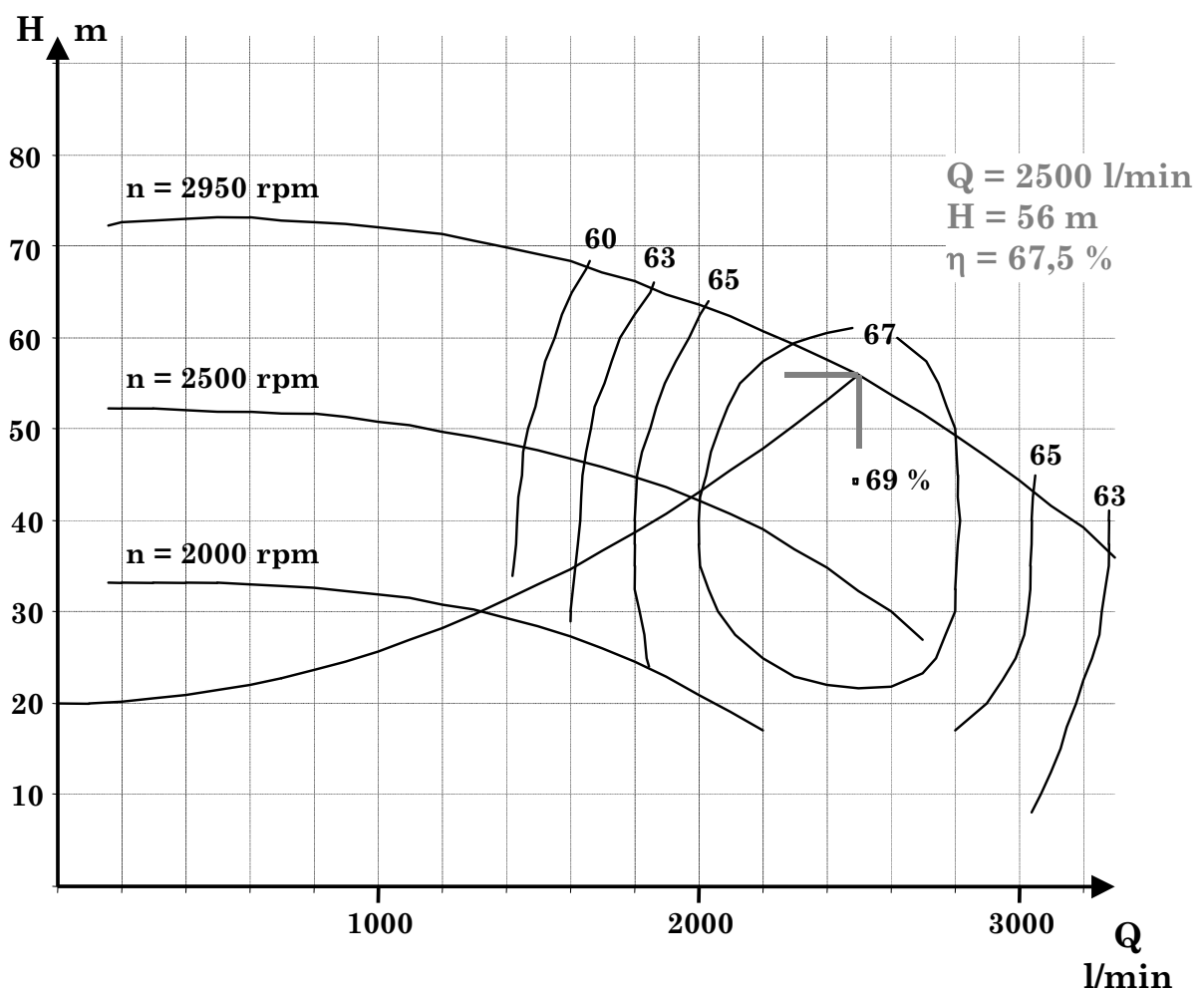
Ö6.11 En pump skall monteras in i ett system enligt figuren nedan. Till förfogande finns en centrifugalpump vars karakteristika visas nedan. Det är vatten av 40°C som skall pumpas. Totala rörlängden är 100 m. Rörets inre diameter är 0,040 m. Röret är ett vanligt handelsrör.

Beräkna hur stort flöde denna pump ger vid fullt öppen sätesventil och pumpens effektbehov vid detta tillfälle om verkningsgraden är 75 %.



Ö6.12 Pumpkurvor för olika varvtal visas nedan. Det aktuella systemets kurva är också inlagd. Pumpen ger flödet 2500 l/min vatten då varvtalet är 2950 rpm. Flödet ska sänkas till 1600 l/min antingen genom strypreglering eller genom varvtalsreglering.

- Beräkna pumpens effektbehov då flödet är 2500 l/min.
- Beräkna pumpens effektbehov då flödet minskats till 1600 l/min genom strypreglering.
- Beräkna pumpens effektbehov då flödet minskats till 1600 l/min genom varvtalsreglering.



7 Värmeledning

Ledning i plana väggar

- Ö7.1 En 100 mm tjock stenullsmatta har en temperatur av $+5^{\circ}\text{C}$ på ena sidan och $+25^{\circ}\text{C}$ på andra sidan. Hur stort blir värmeflödet genom en 2 m^2 stor yta om
- stenullen är helt torr?
 - stenullen är helt vattenindränkt?
- Ö7.2 En vägg av hårdbränt tegel, 150 mm tjock, har en ytemperatur på var sin sida av väggen på 30°C resp. 70°C . Bestäm värmetransporten genom väggen per kvadratmeter väggyta.
- Ö7.3 En ugnsvägg är konstruerad av inifrån räknat 12 cm isoleringstegel, som tål hög temperatur, med värmeledningstalet $0,14\text{ W/m K}$ och därefter 24 cm vanligt tegel som inte får bli varmare än 500°C , annars spricker det. Dess värmeledningstal är $1,4\text{ W/m K}$. Temperaturen på ugnsväggens insida är 750°C och på dess utsida 80°C .
- Beräkna värmeflödet per m^2 ugnsvägg samt temperaturen i kontaktytan mellan de två olika tegelsorterna.
 - Om man vill isolera ugnen utvändigt med stenull, så att ytemperaturen sjunker till 40°C , hur tjock skall då isoleringen vara?
- Ö7.4 Beräkna hur mycket lägre värmeflödet blir genom en 1 m^2 stor kopparskiva vars tjocklek är 10 mm, om den isoleras på ena sidan med ett 10 mm tjockt isoleringsmaterial, vars värmeledningstal är $0,03\text{ W/m K}$. I bägge fallen är temperaturskillnaden mellan de yttre ytorna 80°C .
- Ö7.5 En bastu är byggd som en kub med 2,5 m sida. Väggar, golv och tak består av 20 mm furubrädor, 150 mm stenull och 20 mm furubrädor igen. Temperaturen inne i bastun och även på innerytan är 105°C och på ytterytan 28°C . Hur stor effekt måste bastuaggregatet minst ha för att kunna hålla temperaturen i bastun?
- Ö7.6 Grundmuren till ett hus består av 1 cm puts ($0,5\text{ W/m K}$), 10 cm lättbetong ($0,1\text{ W/m K}$) och 15 cm vanlig betong ($0,90\text{ W/m K}$) räknat inifrån och utåt. Innerytan har temperaturen 15°C och ytterytan 0°C .
- Beräkna värmeflödet genom muren i W/m^2 och temperaturen mellan lättbetongen och den vanliga betongen.
 - På insidan av väggen sattes stenullsplattor, som är 7 cm tjocka och har värmeledningstalet $0,035\text{ W/m K}$. Vad blir då värmeflödet genom väggen, om man håller temperaturen 20°C på insidan av stenullsplattorna och samma yttemperatur?

- Ö7.7 I en testapparat för undersökning av olika materials värmeledningstal erhöles följande experimentella resultat. Genom en spånskiva, vars area var $0,15 \text{ m}^2$ och tjocklek $14,8 \text{ mm}$, överfördes under 1 timme värmemängden 129 kJ . Ytemperaturen på skivans bägge sidor hölls under denna tid konstant och var $23,0^\circ\text{C}$ resp. $27,0^\circ\text{C}$. Beräkna spånskivans värmeledningstal.

Ledning i cylindriska rörväggar

- Ö7.8 I ett ångrör strömmar mättad ånga av $2,7 \text{ bar}$. Röret har innerdiametern 80 mm och rörets väggjocklek är 2 mm . Röret är isolerat med först ett 20 mm tjockt stenullsskikt och sedan ett 15 mm tjockt skumplastskikt. Stenullens värmeledningstal är $0,05 \text{ W/m K}$. Temperaturen i kontaktytan mellan de två isolerande skikten är 60°C , medan skumplastens yttemperatur är 30°C . Beräkna värmeförlusten per meter rörlängd samt värmeledningstalet för skumplasten. Rörets innervägg kan antas ha samma temperatur som ångan.
- Ö7.9 Ett ångrör med ytterdiametern 60 mm är 140°C varmt. Det är isolerat med 50 mm tjock glasull, vars värmeledningstal är $0,20 \text{ W/m K}$, och 40 mm tjock skumplast, vars värmeledningstal är $0,03 \text{ W/m K}$. På utsidan är yttemperaturen 30°C . Beräkna värmeeffekten genom isoleringen per meter rörlängd och temperaturen i kontaktytan mellan glasull och skumplast. Tål skumplasten denna temperatur?

8 Konvektion

Påtvungad konvektion vid rörströmning

- Ö8.1 Beräkna ett medelvärde för värmeövergångstalet på insidan av ett långt rör vars diameter är 50 mm och där det strömmar vatten med hastigheten 1 m/s och medeltemperaturen är 20°C.
- Ö8.2 Toluen strömmar i ett rör med en innerdiameter på 60 mm. Volymflödet är 3,5 liter/s och medeltemperaturen är 18°C. Vad blir värmeövergångstalet mellan toluenet och insidan av rörväggen?
- Ö8.3 I ett 1,7 m långt rör, som på insidan har diametern 35 mm, strömmar en trögflytande processvätska med ett flöde av 3,7 ton/h. Vid aktuella förhållanden uppskattas vätskans densitet till 1100 kg/m³, dess viskositet 1,25 Pa·s, värmekonduktiviteten 0,185 W/m·K och specifika värmekapaciteten 2,3 kJ/kg·K. Uppskatta värmeövergångstalet från vätskan till rörväggen.
- Ö8.4 Hur hög strömningshastighet bör eftersträvas i ett rör med strömmande vatten, om man vill ha ett värmeövergångstal på ca 1000 W/m²K? Rördiametern på insidan är 30 mm och längden är 12 m. Vattnets temperatur är 40°C.
- Ö8.5 En etanolström ska värmas upp, och leds in i en värmeväxlare vars tuber har ett rektangulärt tvärsnitt med dimensionerna 4 cm × 12 cm. Genom varje tub strömmar ett volymflöde på 6,5 liter/s. Uppskatta värmeövergångstalet mellan etanol och tubvägg, om medeltemperaturen i etanolströmmen är 18°C.

Fri konvektion

- Ö8.6 En isolerad ugn är byggd som en kub med 1 m sida. Temperaturen på ugnens ytteryta är 100°C och luftens temperatur är 20°C. Beräkna värmeflödet på grund av konvektion från ugnen till luften. Ugnen står på ett isolerande skikt av asbest.
- Ö8.7 Uppskatta värmeövergångstalet, h , vid fri konvektion från en kub med sidan 2,5 m, dels från väggarna, dels från taket, om ytterytans temperatur är 28°C och
- omgivande lufts temperatur är 10°C.
 - omgivande lufts temperatur är -5°C.
- Ö8.8 Uppskatta värmeflödet på grund av konvektion från väggarna på en kastrull med varmvatten, om kastrullens ytteryta har temperaturen 80°C och omgivningens temperatur är 25°C. Kastrullen är 25 cm i diameter och är 15 cm hög. Antag att köksfläkten inte är på, utan att fri konvektion råder.

Värmegenomgång utan strålning: Konvektion och ledning

- Ö8.9 En låda i form av en kub med sidan 0,8 m innehåller en värmekälla som avger 300 W. Lådan hänger fritt i ett rum, vars lufttemperatur är konstant och lika med 18°C. Lådväggen består, utifrån och in, av 15 mm hård träfiberskiva, 20 mm isoleringsskiva av mineralull och 2 mm aluminiumplåt. Värmeövergångstalen på ut- och insidan kan antas vara 5 W/m²K resp. 8 W/m²K. Beräkna lufttemperaturen inne i lådan.
- Ö8.10 Ett kylelement i ett kylskåp har en yta av 0,1 m². Köldmediets temperatur (d.v.s. inuti kylelementet) är -10°C, medan kylskåpstemperaturen (d.v.s. utanför kylelementet) är +4°C. Kylelementet är av galvaniserat järn, vars värmeledningstal är 52 W/m K. Järnets tjocklek är 1 mm. Värmeövergångstalet på insidan av kylelementet uppskattas till 2000 W/m²K och på utsidan till 23 W/m²K.
- Bestäm nödvändig kyleffekt för köldmediet. Approximera kylelementet med en plan platta.
 - Bestäm nödvändig kyleffekt, om det har bildats en 1 cm tjock frostbeläggning på utsidan av kylelementet. Frostens värmeledningsförmåga är 0,115 W/m K.
- Ö8.11 Beräkna värmeflödet per timme genom en vägg, vars totala area är 120 m². Väggen består, utifrån och inåt, av 25 mm träpanel av gran, 50 mm byggmatta av mineralull, 25 mm furuspont samt 20 mm porös träfiberskiva. Värmeövergångstalen på ut- och insidan kan sättas till 8 W/m²K resp. 6 W/m²K. Uttemperaturen är -20°C och innetemperaturen i rummet är +20°C. Ange också var i väggen temperaturen är 0°C. Värmeöverföring genom strålning kan försummas.
- Ö8.12 Väggen till ett kylskåp består, utifrån räknat, av 0,8 mm tjock aluminiumplåt, en 50 mm tjock skumplastskiva och en 1,5 mm tjock polystyrenskiva vars värmeledningstal är 0,3 W/m K. Värmeövergångstalen uppskattas till 20 W/m²K och 50 W/m²K på utsidan resp. insidan av väggen. Beräkna värmeflödet in i kylskåpet. Den totala väggytan är på 5 m². I rummet är temperaturen 24°C och i kylskåpet 3°C.
- Ö8.13 En koppartråd med diametern 1 mm är isolerad med plast, så att totala diametern är 3 mm. Omgivningens temperatur är 40°C och värmeövergångstalet från plastens utsida till omgivande luft är 9 W/m²K. Plastens termiska ledningsförmåga är 0,4 W/m K. Koppars elektriska ledningsförmåga är 5,1·10⁷ Ω⁻¹ m⁻¹. Hur stor strömstyrka kan tillåtas i tråden, om plasten inte får bli varmare än 95°C?

$$\text{Ledning: Elektrisk ledningsförmåga} = \frac{1}{\rho_R}$$

$$\text{Eleffekt } \dot{W}_{el} = R \cdot I^2$$

$$R = \rho_R \frac{L}{A}$$

där ρ_R = resistivitet, Ω m

R = resistans, Ω

L = ledningens längd, m

A = ledningens tvärsnittsarea, m²

Värmegenomgång utan strålning: Rörströmning

Ö8.14 Ett varmvattenrör av stål är 10 m långt med inre diametern 50 mm och yttre diametern 55 mm. I rörledningen strömmar det 15 m³/h vatten med temperaturen 95°C.

- a) Beräkna värmeförlusterna till omgivande luft av 20°C. Strålningen kan försummas.
- b) Beräkna värmeförlusterna om röret isoleras med ett 20 mm tjockt isoleringsmaterial vars värmeledningstal är 0,03 W/m K.

Ö8.15 Beräkna värmeförlusterna per längdmeter hos ett ångrör med 89 mm yttre diameter, 3,5 mm godstjocklek och en värmekonduktivitet på 52 W/m K. Utvändigt är röret isolerat med ett 40 mm tjockt lager isolering vars värmeledningstal är 0,14 W/m K. Ångan är mättad och håller temperaturen 350°C och omgivande luftens temperatur är 20°C. Antag att strålningen är försumbar.

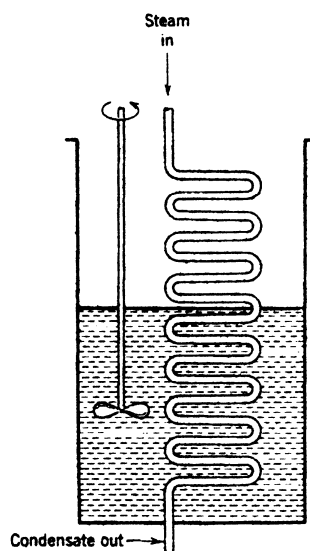
Ö8.16 I ett rör transporteras mättad ånga med trycket 2,0 bar. Rörets ytterdiameter är 100 mm. Röret är isolerat med en 70 mm tjock stenullsmatta, vars värmekonduktivitet är 0,05 W/m K. En ivrig försäljare av detta isoleringsmaterial föreslår att tjockleken på isoleringen skall fördubblas, för då halveras värmeförlusterna. Gör en approximativ beräkning för att se om detta påstående stämmer. Antag att omgivningens temperatur är 28°C och att strålningen är försumbar.

Ö8.17 I en rörledning med ytterdiametern 70 mm strömmar en blandning av flytande och gasformig SO₂ vid ett sådant tryck att temperaturen är -4°C. Röret är isolerat med expanderad uretancellplast med sådan tjocklek att ytterdiametern på isoleringen är 210 mm. Omgivningens temperatur är 25°C. Beräkna den värmeeffekt som svaveldioxiden upptar per meter rörlängd. Strålningen kan försummas.

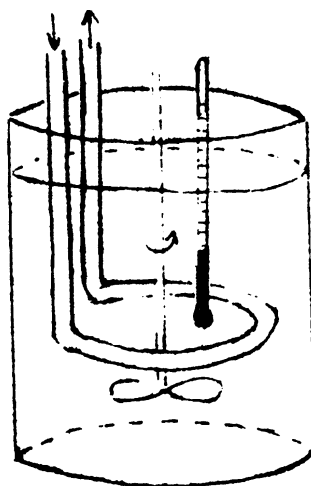
Icke-stationär värmeöverföring

Ö8.18 Ett kärl av metall är fyllt med 28,3 liter vatten av temperaturen 15,5°C. Vattnet är under kraftig omrörning. Kärlet sänks momentant ner i ett ångbad, vars temperatur hålls konstant vid 104,3°C. Värmegenomgångstalet mellan ångbadet och vattnet i kärlet uppskattas till 1140 W/m²K. Kärlets yta är 0,372 m. Beräkna den tid det tar att värma upp vattnet i kärlet till 65°C.

- Ö8.19 I en tank med omrörningsanordning uppvärms 5,0 ton saltlösning med hjälp av en rörslina, i vilken mättad ånga av 2,7 bar passerar. Värmeövergångstalet mellan ånga och saltlösning har beräknats till $930 \text{ W/m}^2\text{K}$. Rörslingans yttre mantelyta är 3,0 m. Saltlösningens värmekapacitet kan antas vara densamma som för vatten. Lösningens temperatur är i början 20°C . Hur länge dröjer det innan temperaturen är 80°C ?



- Ö8.20 En termosflaska med ytan $0,07 \text{ m}^2$ fylls med 1 liter kokvarmt kaffe. Innan korken sätts på mäts kaffets temperatur till 95°C . Efter 6 timmar i en omgivning av 0°C öppnas termosen och temperaturen mäts åter. Den har då sjunkit till 87°C . Uppskatta värmeövergångstalet för termosflaskan.
- Ö8.21 För att bestämma värmeövergångstalet på utsidan av ett kopparrör omgivet av vatten under kraftig omrörning, används följande försöksanordning: I en isolerad tank med vatten är ett kopparrör nedsänkt enligt nedanstående figur. Rörets längd i vattnet är 1,0 m, dess ytterdiameter är 25 mm och dess godstjocklek är 1 mm. Vattenflödet i kopparröret är 10 l/min . Ingående vattentemperatur är 60°C och utgående 56°C . Under försökets gång (ca 5 minuter) ökar tankvattnets temperatur från 20°C till 21°C . I tanken finns en termometer och en omrörare. Beräkna värmeövergångstalet på kopparrörets utsida.



Ö8.22 För en klotformad behållare har man funnit att värmeövergångstalet på utsidan ges av sambandet

$$h = 2,5 \cdot (\Delta T)^{0,3} \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

där ΔT är temperaturskillnaden mellan behållarens ytteryta och omgivningen.

Behållaren är av stål och dess diameter är 2 m. Behållaren fylls med en lösning vars temperatur är 60°C. Lösningens densitet är 950 kg/m³ och dess specifika värmekapacitet är 3200 J/kg K. Uppskatta hur lång tid det tar för lösningen att kallna till 25°C i en omgivning som är 18°C. Hela lösningens temperatur är i varje ögonblick konstant genom kraftig omrörning och värmeutbyte genom strålning kan försummas.

Ö8.23 En cylindrisk tank är fylld med 20 ton av en vätska vars specifika värmekapacitet är 2,9 kJ/kg°C. Tanken är 3 m i diameter och 3 m hög. Den är gjord av stål och väger 2 ton. I tanken finns en omrörare. Tanken med innehåll hålles vid en konstant temperatur, 65°C, genom en ångslinga på insidan. Vid ett stopp i ångpannan får tanken stå och svalna under omrörning. Man har tidigare funnit att värmeövergångstalet mellan tanken och omgivande luft kan beskrivas av

$$h = 0,8 \cdot (\Delta T)^{0,25} \quad (\text{W/m}^2\text{K})$$

där ΔT är temperaturskillnaden mellan tankens innehåll och den omgivande luftbulken.

Beräkna hur lång tid det tar för tanken att svalna från 65°C till 30°C, om den omgivande luftens temperatur är 20°C och värmeutbytet genom strålning kan försummas.

9 Strålning

Strålning och konvektion

- Ö9.1 Ett oisolerat ångrör med ytterdiametern 70 mm och yttemperaturen 200°C (på utsidan) omges av luft med temperaturen 27°C . Ångröret är målat med en aluminiumfärg, vilket leder till att emissiviteten på ytan är 0,4. Beräkna den totala värmeförlusten från röret per löpmeter.
- Ö9.2 Ett kvadratisk, plant värmeelement med sidan 1 m har yttemperaturen 60°C . Ytans emissivitet antas vara 0,4. Omgivningen är ett rum med vägg-, tak- och golvytan 30 m^2 . Omgivande ytors yttemperatur är 20°C och deras emissivitet kan sättas till 0,6. Omgivande lufttemperatur är 20°C .
- Beräkna värmestrålningen från elementet.
 - Beräkna det totala värmeflödet från elementet till luft och väggyta.
- Ö9.3 En kvicksilvertermometer med emissiviteten 0,9 hängs i mitten av en lokal. Termometern visar då 20°C . Väggar, golv och tak i lokalen är dåligt isolerade och har temperaturen 5°C . Om värmeövergångstalet mellan termometern och den omgivande luften är $8\text{ W/m}^2\text{K}$, vad är då den sanna temperaturen hos luften i lokalen?
- Ö9.4 Ett kvadratisk kylelement med sammanlagda arean 5 m^2 (på båda sidor om elementet) har yttemperaturen -30°C . Kylytan är frostbelagd, vilket innebär en emissivitet på 0,1 för ytan. Kylelementet står i ett stort kylrum, vars temperatur (både luft och väggytor) är -20°C .
- Beräkna värmestrålningen till kylytan.
 - Beräkna hur stort värmeflödet till ytan på grund av konvektion är.
- Ö9.5 Hur stor värmeeffekt avges från en stående, lätt klädd människa med medelyttermperaturen 27°C , höjden 1,8 m och ytan $1,7\text{ m}^2$? Ytans emissivitet kan sättas till 0,5. Omgivningens yta kan antas vara stor och ha en temperatur på 17°C , densamma som omgivande luft.
- Ö9.6 I ett rum är ena väggen delvis täckt av 3 kvadratiske fönster, vardera med arean $1,3\text{ m}^2$. Rummets övriga ytor är stora i förhållande till fönstren. Vid ett tillfälle uppmättes yttemperaturen på insidan av fönstren till $+9^{\circ}\text{C}$ och temperaturen på övriga ytor i rummet, samt luften i rummet, till 23°C . Beräkna vilken effekt ett värmeelement skall ha för att hålla temperaturen konstant i rummet vid detta tillfälle. Nödvändiga data tas ur Data och Diagram.

Värmegenomgång med strålning

- Ö9.7 I en oisolerad ångledning strömmar mättad vattenånga av 2,5 bar. Ångledningens ytterdiameter är 50 mm och ytterytans emissivitet är 0,7. Ledningen går genom en stor lokal, vars väggar har temperaturen 20°C. Lufttemperaturen i lokalen är 27°C. Beräkna värmeförlusten per meter rörlängd.
- Ö9.8 Genom ett oisolerat, något rödostigt stålrör, med invändig diameter 25 mm och godstjocklek på 2 mm, strömmar mättad ånga av 3 bar. Röret hänger strax under taket i ett dragfritt rum med lufttemperaturen 14°C. Rörets längd i rummet är 12 m.
- Beräkna avgiven värmemängd från röret?
 - Om röret isoleras med en 20 mm tjock matta av stenull, vars termiska ledningsförmåga är 0,042 W/m°C, och utanpå denna sätts en tunn aluminiumplåt, vars yta är lätt oxiderad, vad blir då avgiven värmemängd?
- Ö9.9 In i ett kopparrör, vars inre diameter är 50 mm, strömmar varmvatten av 90°C. Flödet är 220 l/min. Rörets längd, innan det går in i en tank, är 60 m. Godstjockleken är 3 mm. Röret är isolerat med ett 30 mm tjockt glasullsskikt, vars värmeledningstal är 0,08 W/m K. Ytterytan av glasullen är skyddad av ett tunt papper, vars emissivitet är 0,9. Omgivande ytor och luft har temperaturen 20°C. Beräkna vattnets temperatur när det når tanken.
- Ledning: Räkna värmeöverföringen vid en punkt där temperaturen på vattnet i röret är lika med medeltemperaturen över rörlängden.
- Ö9.10 Man vill ordna uppvärmningen av en husvagn på följande sätt: Ett kopparrör med ytterdiametern 24 mm och innerdiametern 20 mm dras i flera slingor runt husvagnen så att det löper horisontellt. Vattnet värms i en gasoleldad panna och pumpas runt i ledningen med en impellerpump, vars kapacitet är 0,03 m³/h. Vattnets temperatur när det lämnar pannan är 90°C. Uppskatta erforderlig längd på kopparröret för att ett värmebehov på 1,4 kW skall täckas. Emissiviteten för kopparröret kan sättas till 0,7. Rumstemperaturen i husvagnen är 18°C och röret kan antas vara draget så att obehindrad fri konvektion kan ske.

Ledning: Värmeöverföringen kan uppskattas vid en medeltemperatur på vattnet i röret.

- Ö9.11 Rökgas från en ångpanna går genom en rektangulär kanal under golvet i pannrummet. Om någon råkar lägga en bunt papperssäckar på golvet ovanför rökkanalen, stiger golvtemperaturen under säckarna, så att risk för antändning föreligger. Gör en uppskattning av denna golvtemperatur om följande data gäller:

Rökgastemperaturen är 250°C och lufttemperaturen i pannrummet är 30°C. Buntens papperssäckar är 0,5 m hög och värmeledningstalet för papperssäckarna är 0,05 W/m K. Pannrumsgolvet är av betong och dess tjocklek är 0,25 m.

Värmeledningstalet är $1,3 \text{ W/m K}$. Röckkanalens väggar är av tegel, med tjockleken $0,25 \text{ m}$ och värmekonduktiviteten $0,45 \text{ W/m K}$. Värmeövergångstalet mellan rökgas och vägg uppskattas till $40 \text{ W/m}^2\text{K}$. Mellan röckkanalen och betonggolvet finns en smal luftspalt och värmeövergångstalet från röckkanalväggens utsida via luftspalten till undersidan av betonggolvet uppskattas till $20 \text{ W/m}^2\text{K}$. Även mellan betonggolvet och papperssäckarna antas det vara en smal luftspalt, vars värmeövergångstal uppskattas till $10 \text{ W/m}^2\text{K}$. Värmeövergångstalet mellan papperssäckarna och luften i pannrummet uppskattas till $5 \text{ W/m}^2\text{K}$.

10 Värmeväxlare

- Ö10.1 Tjockolja skall i en motströms värmeväxlare förvärmas från 10°C till 50°C av varmvatten, som därvid kyla från 95°C till 60°C. Värmeväxlarens yta är 2 m² och dess värmegenomgångstal är 600 W/m²K.
- Beräkna hur stort flöde av varmvatten som behövs.
 - Beräkna varmvattenflödet om värmeväxlaren kopplas medströms istället. Hur påverkar detta värmeväxlarens kapacitet?
- Ö10.2 I en kylare med effektiva kyltan 6 m² kondenseras mättad metanolånga med hjälp av kylvatten, vars ingående temperatur är 12°C och utgående temperatur är 25°C. Kylaren arbetar i motström och trycket på metanolsidan är 1,0 bar. Värmegenomgångstalet är 1,2 kW/m²K. Beräkna hur mycket metanol som kondenseras per timme om utgående metanolvätska är kokvarm.
- Ö10.3 En processvätska ska förvärmas innan den leds vidare till ett destillationstorn. Förvärmningen sker med hjälp av kondenserande vattenånga vid 5,0 bars tryck i en värmeväxlare. Processvätskans flöde är 5,7 ton/h och ingående temperatur är 35°C. Vätskans specifika värmekapacitet är 2,5 kJ/kg K. Ångflödet till värmeväxlaren är 2,0 ton/h och den kommer in som mättad ånga, men på grund av värmeväxlarens kapacitet kondenseras den bara partiellt. Värmeväxlarens area är 20 m² och värmegenomgångstalet kan uppskattas till 500 W/m²K. Vilken temperatur är det på utgående processvätska? Beräkna också hur stor del av ångflödet som kondenseras.
- Ö10.4 Vid en sulfittfabrik erhålls per timme 1,2 ton avfallslut av 100°C, som man vill utnyttja för uppvärmning av 1 ton vatten per timme från 20°C. För detta ändamål finns en värmeväxlare med ytan 4 m² och med ett uppskattat värmegenomgångstal på 520 W/m²K. Beräkna vattnets utgående temperatur och den överförda värmemängden. Avfallslutens specifika värmekapacitet är 4,0 kJ/kg K.
- Ö10.5 I ett luftkonditioneringsaggregat skall 10000 m³/h luft värmas från 10°C till 20°C med hjälp av vatten, vars temperatur sjunker från 70°C till 50°C. Luftvärmarens värmegenomgångstal uppges vara 18 W/m²K. Beräkna hur stor värmeöverföringsyta som behövs om apparaten kopplas i motström. Beräkna också hur stor vattenmängd som behövs.
- Ö10.6 Man önskar återvinna värme från en produktström, som tidigare fått stå och kallna i en lagertank. Produktströmmen utgörs av varm 50 %-ig natriumhydroxid. Flödet är 1,8 m³/h och temperaturen 75°C. Luten skall kylas ner till 25°C i en motströms värmeväxlare, vars area är 25 m² och värmegenomgångstal 700 W/m²K. Ingående kallvattentemperatur är 15°C. Hur mycket varmvatten kan man framställa per timme och av vilken temperatur? Densiteten för 50 %-ig natriumhydroxid är 1525 kg/m³ och specifika värmekapaciteten är 3,26 kJ/kg K.

- Ö10.7 Man önskar värma 4,6 ton/h av en lösning från 15°C till 70°C med hjälp av varmvatten från ett fjärrvärmeverk och en värmeväxlare. Tillgänglig varmvattentemperatur är 95°C och värmegenomgångstalet hos värmeväxlaren, som är en plattvärmeväxlare, är 2700 W/m²K. Vilket är det minsta varmvattenflöde man kan ha om temperaturskillnaden mellan varma och kalla sidan inte får understiga 5°C? Beräkna också hur stor yta värmeväxlaren skall ha vid detta flöde. Lösningens specifika värmekapacitet är 3350 J/kg K.
- Ö10.8 I en värmeväxlare skall kokvarm ättiksyra av trycket 1 bar förångas vid konstant tryck. Som värmande medium används mättad vattenånga av 5 bar, som får kondensera vid konstant tryck. Hur mycket ättiksyra kan förångas per timme i en värmeväxlare, vars yta är 5 m², och vars värmegenomgångstal för detta ändamål är 12000 W/m²K?
- Ö10.9 I en värmeväxlare pastöriseras mjölk, 360 ton per timme. Som värmande medium används kondenserande ånga av 1,1 bar. Ingående mjölktemperatur är 5°C, utgående 80°C. Mjölks specifika värmekapacitet är 4,0 kJ/kg K. Värmeväxlarens värmegenomgångstal är 2000 W/m²K. Beräkna värmeväxlarens yta.
- Ö10.10 I en kylare med effektiva kylytan 7,0 m² kondenseras och kyls metanol med hjälp av kallt vatten. Kylaren är kopplad i motström. Temperaturen på in- och utgående kylvatten är 12°C respektive 25°C. Ingående metanolånga är mättad och har trycket 1 bar. Utgående metanolvätska har temperaturen 18°C. Förhållandet mellan värmegenomgångstalen i kondenseringsdelen och kylningsdelen är 25:1. Beräkna hur stor del av värmeväxlarens yta som används för enbart kondenseringen.

Svar till uppgifterna***Kapitel 1***

- Ö1.1 59 mm
 Ö1.2 1,00 bar
 Ö1.3 2,5 kPa
 Ö1.4 74 l/min
 Ö1.5 0,3 m
 Ö1.6 1,1 m/s och 1,6 m/s
 Ö1.7 1 m/s och 5 m/s
 Ö1.8 2,0 m/s och 0,89 m/s
 Ö1.9 0,41 m/s
 Ö1.10 0,34 m och 0,21 m
 Ö1.11 9,9 m/s
 Ö1.12 4,9 m
 Ö1.13 0,84 bar
 Ö1.14 0,85 m
 Ö1.15 3 mm
 Ö1.16 5,0 bar
 Ö1.17 66 mm
 Ö1.18 7,9 bar
 Ö1.19 $2,0 \cdot 10^5$ Pa
 Ö1.20 a) 17,7 m/s
 b) 37 kPa undertryck
 Ö1.21 0,46 m
 Ö1.22 0,3 MPa

Kapitel 2

- Ö2.1 0,48 Pa s
 Ö2.2 1,8 mPa s

- Ö2.3 a) 0,09 m/s och 0,05 kg/s
 b) 1,4 m/s och $8 \cdot 10^{-4}$ kg/s
 Ö2.4 Turbulent, $Re = 32000$ ($3,2 \cdot 10^4$)
 Ö2.5 Laminär, $Re = 1900$
 Ö2.6 a) 69000 ($6,9 \cdot 10^4$)
 b) 88000 ($8,8 \cdot 10^4$)
 Ö2.7 0,47 Pa s
 Ö2.8 1,49 mm
 Ö2.9 2,6 mPa s
 Ö2.10 28 kg/h
 Ö2.11 5 m

Kapitel 3

- Ö3.1 a) 2,4 m/s
 b) 3,8 l/s
 Ö3.2 4,3 m/s
 Ö3.3 2,0 m/s
 Ö3.4 8,2 m/s
 Ö3.5 $920 \text{ m}^3/\text{h}$
 Ö3.6 20,6 kg/s
 Ö3.7 $2,0 \text{ kg/m}^3$
 Ö3.8 320 l/min
 Ö3.9 $0,20 \text{ m}^3/\text{s}$ och 18 % för stort
 Ö3.10 a) $0,046 \text{ m}^3/\text{s}$
 b) $0,023 \text{ m}^3/\text{s}$
 Ö3.11 a) 0,23 m/s och 1,8 kg/s
 b) 1,35 m/s
 Ö3.12 860 l/min
 Ö3.13 16 l/s

- Ö3.14 130 l/min
 Ö3.15 Minst 82 mm öppning
 Ö3.16 420 l/min
 Ö3.17 32 mm
 Ö3.18 6 kg/s, men mätningen har stor felmarginal, eftersom Reynoldstalet ligger långt till vänster om tolerans-gränsen! ($Re \approx 5400$ i första ansatsen.)

Kapitel 4

- Ö4.1 a) 93 kPa
 b) 580 W
 Ö4.2 a) 230 kPa
 b) 11 kW
 Ö4.3 a) 150 kPa
 b) 1,1 MPa
 c) 6,3 kW
 Ö4.4 a) 290 kPa
 b) 34 kW
 c) 90 kW
 Ö4.5 $2,9 \cdot 10^5$ Pa och $2,2 \cdot 10^5$ Pa
 Ö4.6 11 l/s
 Ö4.7 0,04 mm
 Ö4.8 0,3 mm
 Ö4.9 1,5 mm
 Ö4.10 80 mm
 Ö4.11 0,29 m
 Ö4.12 370 W
 Ö4.13 69 mm
 Ö4.14 $17 \text{ m}^3/\text{min}$
 Ö4.15 2,7 kW

- Ö4.16 4,4 l/s
 Ö4.17 23 min
 Ö4.18 15 kW
 Ö4.19 4,4 % (med överskattning)
 Ö4.20 3 kW
 Ö4.21 4,3 kW
 Ö4.22 5,5 kW
 Ö4.23 1,9 (≈ 2)
 Ö4.24 1,2 kW
 Ö4.25 73 kW
 Ö4.26 60 l/min
 Ö4.27 320 W
 Ö4.28 4,7 l/min
 Ö4.29 6 W
 Ö4.30 50 kW
 Ö4.31 120 l/min
 Ö4.32 260 s
 Ö4.33 44 min

Kapitel 5

- Ö5.1 a) 8,7 l/s
 b) 13,9 l/s (59 % ökning)
 c) 12,3 l/s totalt
 7,6 l/s och 4,7 l/s till tankarna
 Ö5.2 73 kPa
 Ö5.3 4,9 l/s
 Ö5.4 0,04 bar
 Ö5.5 2,0 m/s, 1,6 m/s och 2,4 m/s
 Ö5.6 $0,015 \text{ m}^3/\text{s}$, $0,0075 \text{ m}^3/\text{s}$ och $0,0075 \text{ m}^3/\text{s}$

Ö5.7 $0,036 \text{ m}^3/\text{s}$

Kapitel 6

Ö6.1 a) 17 mvp
b) 22 mvp
c) $14 \text{ m}^3/\text{min}$

Ö6.2 30 mvp
5,0 kW

Ö6.3 0,63

Ö6.4 a) 9,0 m
b) 4,0 m

Ö6.5 2,2 m

Ö6.6 7 l/s

Ö6.7 91 l/s och 37 m
25 kW och 55 kW

Ö6.8 22 l/s

Ö6.9 a) 0,73
b) $9,3 \text{ m}^3/\text{h}$ och 6,0 m
150 W
c) 220 W
45 % högre pumpeffekt

Ö6.10 a) 3,0 kW
b) 2,0 kW
c) 0,7 kW och
1000 rpm (varv/min)

Ö6.11 220 l/min och 2,0 kW

Ö6.12 a) 34 kW
b) 30 kW
c) 14 kW

Kapitel 7

Ö7.1 a) 18 W
b) 240 W

Ö7.2 240 W

Ö7.3 a) 650 W och 192°C
b) 6 cm (7 cm)

Ö7.4 3,2 MW resp. 240 W

Ö7.5 730 W (810 W)

Ö7.6 a) $13 \text{ W}/\text{m}^2$ och 2°C
b) $6 \text{ W}/\text{m}^2$

Ö7.7 0,88 W/m K

Ö7.8 56 W/m och $0,065 \text{ W}/\text{m}^\circ\text{C}$

Ö7.9 38 W/m och 110°C

Kapitel 8

Ö8.1 $3,4 \text{ kW}/\text{m}^{20}\text{C}$

Ö8.2 $1,3 \text{ kW}/\text{m}^2\text{K}$

Ö8.3 $200 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$

Ö8.4 0,18 m/s

Ö8.5 $1,2 \text{ kW}/\text{m}^2\text{K}$

Ö8.6 1,7 kW

Ö8.7 a) $2,3 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ och $2,2 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$
b) $2,7 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ och $2,5 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$

Ö8.8 40 W

Ö8.9 91°C

Ö8.10 a) 32 W
b) 11 W

Ö8.11 8,1 MJ/h
0,015 m in i mineralullsskiktet,
räknat från insidan

Ö8.12 75 W

Ö8.13 13 A

Ö8.14 a) 1,0 kW
b) 210 W

Ö8.15 0,32 kW/m

Ö8.16 Nej. Minskningen är bara 30 %.

Ö8.17 6 W/m

Ö8.18 230 s

Ö8.19 1 h 40 min

Ö8.20 0,24 W/m²K

Ö8.21 1,5 kW/m²K

Ö8.22 87 h

Ö8.23 410 h (340 h)

Ö10.3 142°C och 36 %

Ö10.4 73°C och 62 kW

Ö10.5 42 m² och 0,4 kg/s

Ö10.6 1,9 ton/h och 70°C

Ö10.7 0,76 l/s och 7,0 m²

Ö10.8 18 ton/h

Ö10.9 300 m²

Ö10.10 15 %

Kapitel 9

Ö9.1 560 W/m

Ö9.2 a) 220 W
b) 510 W

Ö9.3 29°C

Ö9.4 a) 17 W
b) 110 W

Ö9.5 87 W

Ö9.6 410 W

Ö9.7 250 W

Ö9.8 a) 2,2 kW
b) 350 W

Ö9.9 89,8°C (dvs. ca 90°C)

Ö9.10 ca 30 m

Ö9.11 230°C

Kapitel 10

Ö10.1 a) 24 l/min
b) 18 l/min.
Kapaciteten sjunker från
57 kW till 42 kW

Ö10.2 1,1 ton/h