

## Teema 1.

### Vedelike peamised füüsikalised omadused, olekuparameetrid.

**Vedelike kokkusurutavus.** Vedelik on kindla ruumalaga, kuid kujuta aine. Vedelik võtab selle anuma kuju milles vedelik asub. Mõõdukatel rõhkudel loetakse õhuvaba vedelik kokkusurutamatuks. Vedelike kokkusurutavus võib esineda suurtel rõhkudel töötavate seadmete puhul, mis võib näiteks hüdroüsteemides mõjutada hüdroajami liikumise täpsust ja kvaliteeti. Vedelike kokkusurutavust iseloomustatakse nende elastsusmooduliga ( $K$ ). Õhuvaba õli elastsusmoodul  $K = 1500 \text{ MPa}$  (temperatuuril  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Suurt täpsust nõudvad hüdrauliliselt juhitud süsteemid ja seadmed tuleb hoida võimalikult õhuvabad.

**Tihedus**  $\rho$  [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] on vedeliku ruumalaühiku ( $V$ ) mass ( $m$ ):  
 $\rho = m/V$ , siit vedeliku ruumala  $V = m/\rho$

**Erikaal**  $\gamma$  [ $\text{N}/\text{m}^3$ ] on vedeliku ruumalaühiku kaal:  
 $\gamma = F/V$ , kus raskuskaal on jõud ( $F = mg$ ), mille tekitab gravitatsiooni ("g" - raskuskiirendus) tõttu vedeliku mass( $m$ ).

Siit  $\gamma = F/V = \rho mg/m = g$ , ehk erikaal on tiheduse ja raskuskiirenduse korrutis.

SI- süsteemi erikaalu ühikuks on  $\text{N}/\text{m}^3$

Vedeliku tihedus ja erikaal mõlemad olenevad vedeliku temperatuurist ja vedelikule mõjuvast rõhust.

**Viskoossus** on vedeliku omadus sisehõõrde tõttu takistada oma osakeste liikumist üksteise suhtes ja iseloomustab vedeliku voolavust.

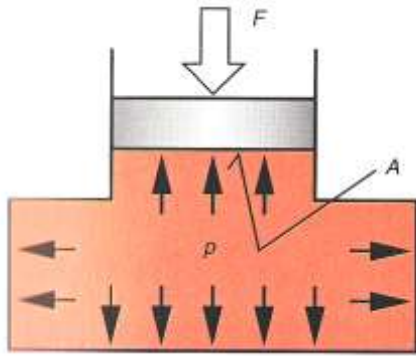
- vedeliku *sisehõõrdetegur*  $\eta$  [ $\text{Pa} \times \text{s}$ ] (paskal-sekund) pöördsuurust ( $\eta^{-1}$ ) nimetatakse vedeliku dünaamiliseks voolavuseks.
- *kinemaatiline viskoossus* ( $\nu$  - nüü) on dünaamilise voolavuse ja vedeliku tiheduse jagatis  $\nu = \eta/\rho$ .

Kinemaatilise voolavuse ühikuteks on ruutmeeter sekundi kohta [ $\text{m}^2/\text{s}$ ] e.stooks.

**Rõhu** all mõistetakse vedeliku pinnalühikule mõjuvat jõudu, mis on üle pinna jaotatud ühtlaselt. Praktikas tekitatakse rõhk ( $p$ ) kas pumba või rõhuakumulaatori abil, mis on arvutatav valemiga:

$p = F/A$  [ $\text{N}/\text{m}^2$ ], kus

$F$  – on pinnale rakendatav välisjõud [ $\text{N}$ ],  
 $A$  – rõhuga koormatud pinna pindala [ $\text{m}^2$ ]



**Joonis 1.1** Välisjõuga tekitatud rõhk

**Rõhu mõõtmine:**

- Üldkehtivas rahvusvahelises mõõteühikusüsteemis ( SI ) avaldatakse rõhk *paskalites* ( $Pa$ ).

$$1Pa = 1 \text{ N/m}^2 ; kPa = 10^3 Pa ; MPa = 10^6 Pa.$$

- Mittesüsteemsete ühikutena on kasutusel nn. *atmosfäärirõhu* ühikud (füüsikaline- ja tehniline atmosfäär):

Füüsikaline e. nn. normaalatmosfäär on maakera ümbritseva atmosfääri surve maapinnale, mis on arvutuslikult võrdub  $101325 \text{ N/m}^2 \approx 1 \text{ bar (baar)}$ ,  
*tehniline atmosfäär*, kus  $1 \text{ atm} = 1 \text{ kgf/cm}^2 \approx 9,81 \times 10^4 \text{ Pa} \approx 0,1 \text{ Mpa} \approx 1 \text{ bar}$ .

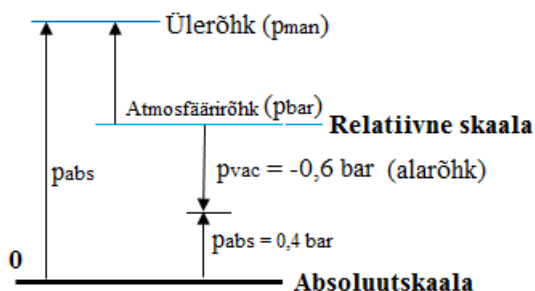
**Absoluutrõhu, ülerõhu ja alarõhu (vaakum) mõiste**

Välisõhu rõhu määramiseks võib kasutada relatiivset skaalat või absoluutskaalat (joonis 1.2), mis erinevad oma alglugemi poolest.

Relatiivse skaala järgi võetakse nullnivooks atmosfäärirõhk (baromeetriline rõhk  $p_{\text{bar}}$ ), siis sellest kõrgem rõhk on ülerõhk ehk manomeetriline rõhk ( $p_{\text{man}}$ ), atmosfäärirõhust madalam rõhk on alarõhk ehk vaakummeetiline rõhk ( $p_{\text{vac}}$ ).

Kui rõhu mõõtmisel võtta nullnivooks absoluutne vaakum, saadakse absoluutne rõhk ( $p_{\text{abs}}$ ).

$$p_{\text{man}} = p_{\text{abs}} - p_{\text{bar}} \quad \text{jä} \quad p_{\text{vac}} = p_{\text{bar}} - p_{\text{abs}}$$



**Joonis 1.2** Rõhu määramise skaalad

Ülerõhu väärtus, mis sõltub pumba tüübist võib põhimõtteliselt olla lõpmatult suur.

Praktiliselt tavapärase hüdraulilise pumbaga absoluutvaakumi tekitada pole võimalik.

Ülerõhu sünonüüm on *manomeetriline rõhk* ( $p_{\text{man}}$ ), sest ka manomeeter ise on õhurõhu all ja mõõdab ainult õhurõhust suuremat rõhku ( $p_{\text{man}} = \rho gh = \gamma h$ ).

Rõhku hüdraulikas on sageli otstarbekas väljendada vedelikusamba kõrgusega ( $h$ ).

$h = p / \rho g$  (rõhu ja erikaalu suhe) [ m ] .

Kui vee tiheduseks normaaltingimustes võetakse  $\rho_{\text{vesi}} = 1000 \text{ kg / m}^3$  , siis vastab ühele tehnilisele atmosfäärile 10 m veesammast ( 10 mH<sub>2</sub>O).

10 mH<sub>2</sub>O  $\approx 1 \text{ kgf / cm}^2 \approx 0,1 \text{ MPa}$  .

1 Pa = 0,10197 mmH<sub>2</sub>O.

Õhurõhu mõõteriistades kasutatakse sageli elavhõbedat, mille tihedus  $\rho_{\text{Hg}} = 13\,600 \text{ kg/m}^3$ .

Õhurõhku mõõdetakse elavhõbedat millimeetrites või millibaarides (hektopaskalites).

1 mmHg[torr] =  $1,333 \times 10^2 \text{ Pa}$  ,

Tollisüsteemi kasutatavates maades on enimlevinud rõhuühikuks *psi*.

1 psi = 1 *lbf/in*<sup>2</sup> ( 1 jõunael/ruuttollile)

1 Pa =  $1,45037 \times 10^{-4} \text{ psi}$  ; 1 bar = 14,5037 psi

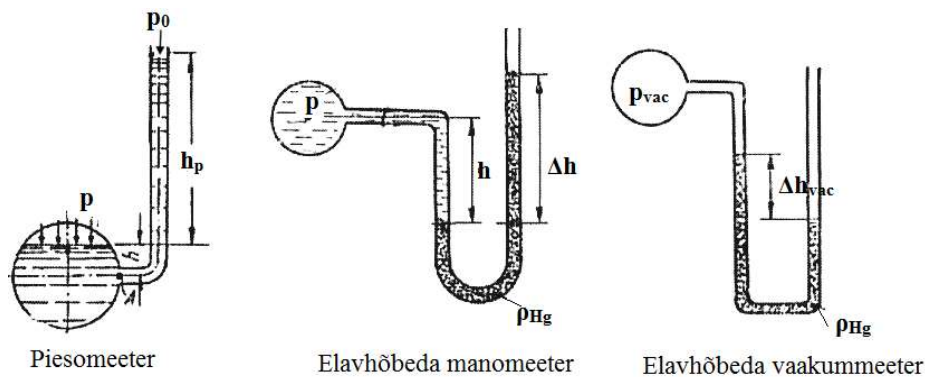
### Rõhu mõõteriistad

Rõhu mõõteriistu vastavalt tema otstarbele nimetatakse manomeetriteks, vaakummeetriteks või mano-vaakummeetriteks. Manomeetritega mõõdetakse ülerõhku, vaakummeetriga alarõhku, manovaakummeetrid on ettenähtud nii üle kui alarõhu mõõtmiseks.

Ehituslikult ja tööpõhimõttelt jagunevad rõhu mõõteriistad :

- vedeliku hüdrostaatilisel rõhu omadusel põhinevaks (joonis 1.3) – piesomeeter, elavhõbedamanomeeter ja vaakummeeter
- vedeliku rõhu poolt tekitatud deformatsiooni (joonis 1.4) mõõtmise põhimõttel
- piesoelektrilisel efektil (joonis 1.5) töötavad elektrilised rõhu mõõteriistad

Vedelikmanomeetrite/vaakummeetrite eeliseks on nende lihtsus, täpsus. Nende töö põhineb hüdrostaatilise rõhu omadusel, et vedelikule tekitatud rõhk antakse edasi igas suunas võrdse jõuga.



**Joonis 1.3** Vedelikusamba kõrgusega rõhu määramine

Piesomeeter on pealt lahtine läbipaistev püsttoru, mille alumine ots ühendatakse toru või mahutiga, milles soovitakse rõhku mõõta.

Piesomeetrit kasutatakse laboratooriumides väikeste rõhkude (0,0001...0,1 bar), elavhõbedamanomeetreid 4...5 bar rõhu mõõtmiseks.

Vedelikmanomeetrite puuduseks on piiratud mõõtepiirkond ja sobivad väikeste rõhkude mõõtmiseks. Näiteks kui vedelikuks manomeetri torus on vesi, siis 1 bar tasakaalustamiseks on vaja veesammast kõrgusega 10 m.

Elavhõbedat manomeetri U-kujulises torus paikneb elavhõbe, mille anumapoolsele pinnale mõjub anumast oleva vedeliku rõhk ( $p$ ). Anumast oleva vedeliku rõhu toimel tõrjutakse

elavhõbedat torust välja kuni elavhõbeda tasandite vahelise kaugusega  $\Delta h$  tekitatud vasturõhk tasakaalustab anumal oleva vedeliku rõhu, mida saab arvutada valemiga :

$$p_{\text{man}} = \Delta h \rho_{\text{Hg}} g - h \rho \text{ [Pa]}, \text{ kus}$$

$\Delta h$  – on elavhõbeda tasemete vahe U-torus (m)

$\rho_{\text{Hg}}$  – on elavhõbeda tihedus ( $\text{kg/m}^3$ )

$\rho$  – mõõdetava vedeliku tihedus ( $\text{kg/m}^3$ )

$g$  – raskuskiirendus ( $\text{m/s}^2$ ).

Vaakummeetri avatud torus mõjuv rõhk surub elavhõbedat anuma poole kuni elavhõbeda tasemete vahe  $\Delta h_{\text{vac}}$  tekitatud rõhk tasakaalustab alarõhu anumal.

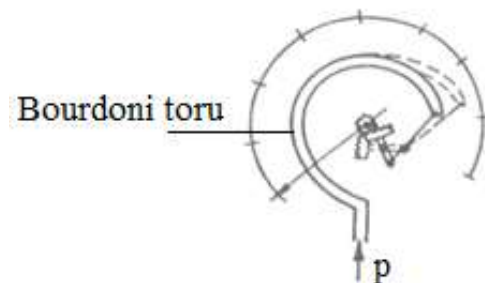
$$p_{\text{vac}} = \Delta h_{\text{vac}} \rho_{\text{Hg}} g \text{ [Pa]}$$

Vedelikumanomeetrid on transporditingimustes (laevades) kasutamiseks ebamugavad, sest suuremate rõhkude mõõtmiseks on vaja pika toruga manomeetrit, pikad klaastorud on aga kergesti purunevad.

Vaakumi mõõtmiseks vajalik elavhõbeda vaakummeetri toru pikkus võib olla suhteliselt lühike (maksimaalselt alla ühe meetri), sest vaakum ei ületa arvuliselt õhurõhu väärtust.

Mehaanilised manomeetrid (joonis 1.4) töötavad mõõdetava rõhu poolt tekitatud deformatsiooni mõõtmise põhimõttel. Manomeetri põhiosa on tajur, milleks võib olla toruvedru (Bourdoni toru), membraan või kasutatakse manomeetreid, mille talitlus põhineb mitmesugustel ainete füüsikaliste omaduste muutumisel olenevast rõhust. Kuigi rahvusvahelise mõõtühikute süsteemis (SI) rõhu ühik on paskal (Pa) võib igapäevaselt kasutatavate manomeetrite skaala olla gradueeritud erinevates rõhuühikutes.

Vedrumanomeeter:



Membraanmanomeeter:

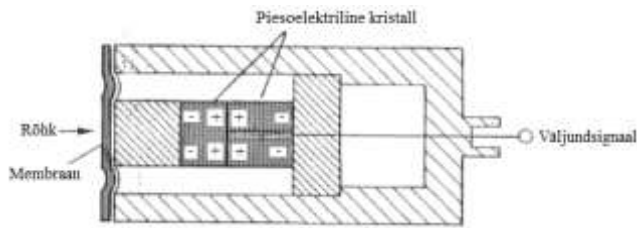


**Joonis 1.4** Rõhu määramine tajuri deformatsiooni järgi

Mehaaniliste manomeetrite eeliseks on nende töökindlus, väikesed gabariidid, võimalus mõõta suuri rõhkusi ja paigutada manomeeter seadmel mugavalt jälgitavasse kohta. Puuduseks on mõõtevead näidiku ebatäpsusest ja deformeeritava elemendi „väsimusest”. Mehaanilised manomeetrid nõuavad perioodilist kontrolli ja taatlemist. Erinevates rõhkude diapsoonides on vaja kasutada erinevaid mehaanilisi manomeetreid.

Vedrumanomeetreid valmistatakse rõhkudele 0,5...1000 bar, membraanmanomeetreid rõhkudele kuni 25 bar.

Elektriliste manomeetrites (joonis 1.5) mõõdetav rõhk mõjub membraani kaudu kvartsi kristallile. Kuna kristallide puutepinnal tekkivate elektrilaengute suurus on võrdeline mõjuva rõhu suurusega, väljundsignaal võimendatakse ja juhitakse manomeetri skaalale.



**Joonis 1.5** Rõhu elektriline mõõtmine

**Rõhu arvutuse näidisülesanne:**

Avaldada rõhk 250 mmHg paskalites, baarides ja megapaskalites, kui elavhõbeda tihedus on  $13600 \text{ kg/m}^3$ .

Elavhõbeda tihedus on  $\rho=13,5951 \text{ g/cm}^3$  ja raskuskiirendus  $g=9,80665 \text{ m/s}^2$ ,

siis rõhk 1mmHg on paskalites:  $1\text{mmHg} = 13,5951 \times 9,80665 = 133,322387\dots \text{ Pa}$

$1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$

$1 \text{ bar} \approx 10^5 \text{ Pa}$

Kasutades eelolevaid rõhkude teisendusi ning enamkasutatud raskuskiirendus konstanti  $g \approx 9.81 \text{ m/s}^2$  saab elavhõbeda tiheduse korral  $\rho \approx 13600 \text{ kg/m}^3 = 13,6 \text{ g/cm}^3$  rõhuks paskalites, siis  $1 \text{ mmHg} = 13,6 \times 9,81 = 133,416 \text{ Pa}$ , mille puhul

$250\text{Hg} \approx 250 \times 133,416 = 33354 \text{ Pa} = 0,33354 \text{ MPa} = 3.3354 \text{ bar}$ .