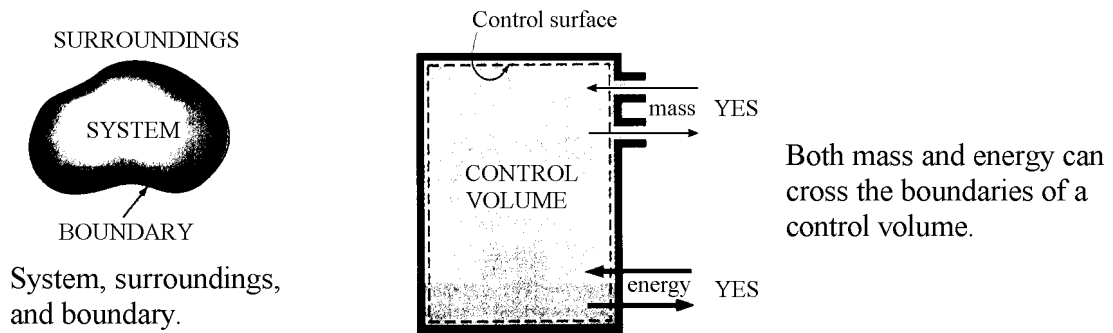


GRUNDLÄGGANDE BEGREPP

- **System** (slutet system) = en viss förutbestämd och identifierbar massa m . System — Systemgräns — Omgivning.
- **Kontrollvolym** (öppet system) = en volym som avgränsar ett visst område. Massa tillåts passera kontrollytorna (strömmande medium).



- Ett system sägs vara i **jämvikt** om det inte förekommer några obalanserade potentialer inom systemet, d.v.s. samma konstanta tryck och temperatur överallt, konstant fassammansättning, konstant kemisk sammansättning (inga tidsvariationer).

Tillståndet vid jämvikt är därmed fullständigt beskrivet.

- **Tillståndets storhet** = mätbar egenskap för ett system i jämvikt (alt. lokal jämvikt för delsystem).
- Om ett system delas upp i ett antal delsystem och en storhets värde i varje delsystem är proportionell mot delsystemets massa kallas den för en **extensiv** eller **massberoende storhet**. Alla sådana storheter kan anges per massenhet.

Exempel: volym $\mathcal{V}$, energi E , entalpi H , entropi S , ...

- En storhet som är oberoende av delsystemens massa kallas **intensiv** eller **massoberoende storhet**.

Exempel: tryck P , temperatur T , volymitet $v = \mathcal{V}/m$, densitet $\rho = m/\mathcal{V} = v^{-1}$, viskositet μ , energi per massenhet (specifik energi) $e = E/m$, entalpi per massenhet (specifik entalpi) $h = H/m$, ...

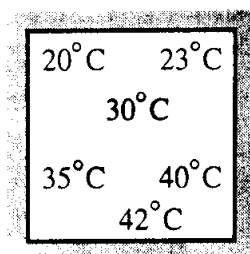
TERMODYNAMISK JÄMVIKT

Termodynamisk jämvikt (för ett system) kräver

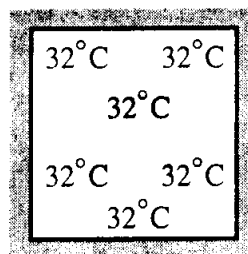
1. **termisk jämvikt** — samma temperatur överallt
2. **mekanisk jämvikt** — samma tryck överallt
3. **fasjämvikt** — massan för varje komponent konstant
4. **kemisk jämvikt** — konstant kemisk sammansättning

Vid jämvikt är det termodynamiska tillståndet fullständigt beskrivet.

A system that involves changes with time is not in equilibrium.



(a) Before



(b) After

A closed system reaching thermal equilibrium.

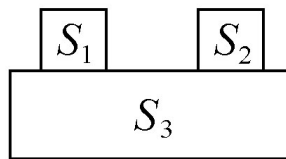
NOLLTE HUVUDSATSEN — TEMPERATUR

VAD ÄR TEMPERATUR?

Svaret ges av “nollte huvudsatsen”:

- SAMMA TEMPERATUR

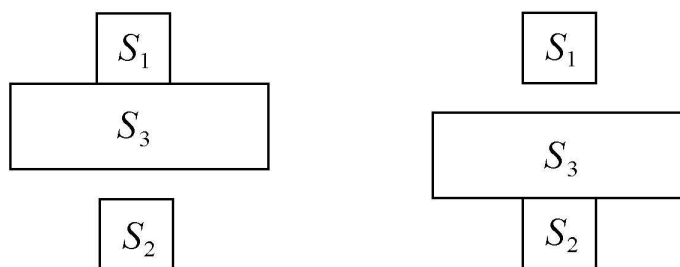
Två system sägs ha samma temperatur om de är i termisk jämvikt med varandra, d.v.s. om ingen förändring sker om de får kommunicera (bortsett från kemiska reaktioner).



$$T(S_1) = T(S_3), T(S_2) = T(S_3) \Rightarrow T(S_1) = T(S_2)$$

- OLIKA TEMPERATUR

System S_1 och S_3 har varit i kontakt en längre tid så att $T(S_1) = T(S_3)$. När S_3 förs i kontakt med S_2 sker *märkbara förändringar*. Om dessa inte beror på krafter mellan systemen sägs temperaturen för S_1 och S_2 vara olika.



$$T(S_1) = T(S_3), T(S_2) \neq T(S_3) \Rightarrow T(S_1) \neq T(S_2)$$

MÄTNING AV TEMPERATUR

Mätbara förändringar p.g.a. temperaturdifferens $\Rightarrow$ *termometer* volymsutvidgning, resistansändring, tryckändring, ...

TEMPERATURSKALOR

INTERNATIONELLA TEMPERATURSKALAN (ITS)

- Ett antal olika fixerade temperaturer s.k. *fixpunkter*
- Specificerade *termometrar* att använda däremellan
- Praktisk skala, lätt att använda; senaste: ITS-90
- Förfinas successivt till den termodynamiska temperaturskalan

TERMODYNAMISKA TEMPERATURSKALAN (Lord Kelvin, 1848)

- Helt oberoende av fysikaliska egenskaper för något speciellt ämne
- Bygger på teoretiska samband, är den “riktiga” temperaturen; opraktisk för direkta mätningar

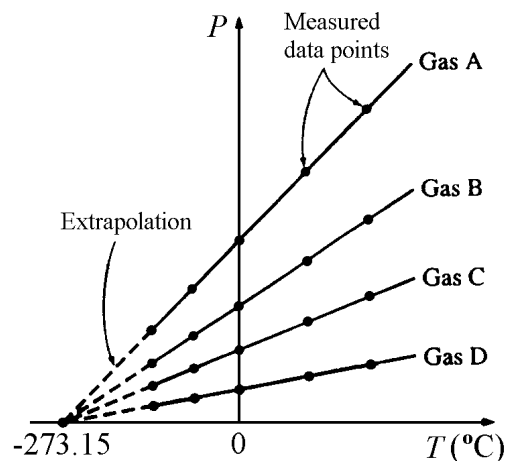
IDEALA GASSKALAN — GASTERMOMETRAR

- Utnyttjar att $PV = kT$, $k = \text{konst.}$ vid “låga” tryck
 1. $V = \text{konst.} \Rightarrow P \propto T$
 2. $P = \text{konst.} \Rightarrow V \propto T$

Konstanten bestämd av någon fixerad temperatur, t.ex. vattens trippelpunkt ($T_{\text{tp}} = 273.16 \text{ K}$)

$$T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273.15$$

P versus T plots of the experimental data obtained from a constant-volume gas thermometer using four different gases at different (but low) pressures.



THE STATE POSTULATE

Enkelt kompressibelt system =

system med försumbar påverkan av gravitation, rörelse, ytspänning, elektriska och magnetiska krafter.

Tillståndspostulatet (*The State Postulate*)

Tillståndet (jämviktstillståndet) för ett enkelt kompressibelt system är fullständigt beskrivet av två oberoende intensiva tillståndsstorheter.

- Postulatet är ett specialfall av *Gibbs fasregel* gällande flerkomponentsystem.
- För ett enkelt kompressibelt system är alltid temperatur T och volymitet v oberoende av varandra, d.v.s. varje kombination av T och v representerar ett unikt jämviktstillstånd.
- Om systemet endast har en närvarande fas (fast fas, vätska eller gas) är också temperatur T och tryck P oberoende. Om jämviktssystemet har två faser närvarande, t.ex. vätska och gas, så är tryck och temperatur beroende storheter d.v.s. knutna till varandra, $T = f(P)$ eller omvänt.

Endast en fas $\Rightarrow v = v(P, T)$ men inte $v = v(\rho, T)$ ty $v = 1/\rho$.

- För gaser vid tillräckligt låga tryck gäller

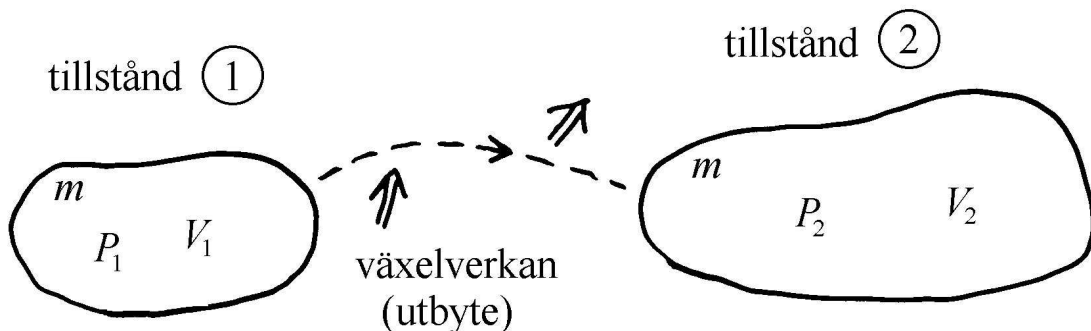
$$\text{Ideala gaslagen: } \boxed{v = RT/P}$$

R = gaskonstant = R_u/M , där M är gasens medelmolvikt (molmassa), $R_u = 8314.47 \text{ J kmol}^{-1}\text{K}^{-1}$ (universell gaskonstant).

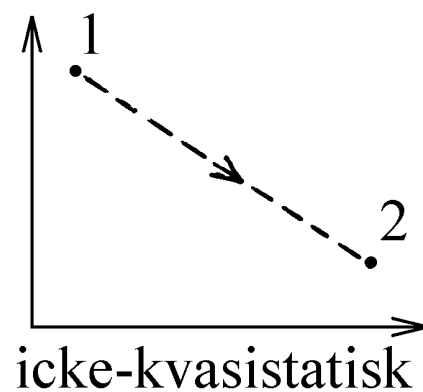
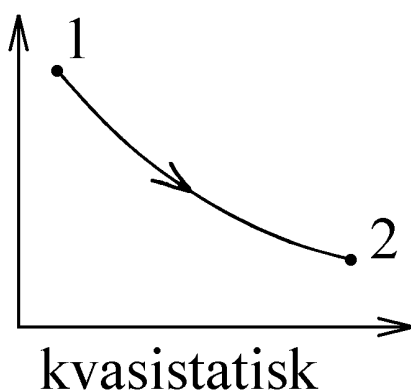
Ex. torr luft: $M = 28.97 \text{ kg/kmol} \Rightarrow R = 287.0 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$.

TILLSTÅNDSFÖRÄNDRINGAR = PROCESSER

- Betrakta ett slutet system i jämvikt med sin omgivning (tillstånd 1). Genom påverkan från omgivningen bibringas systemet ur denna jämvikt. Efter någon viss tid har systemet på nytt kommit i jämvikt (tillstånd 2). Systemet har genomgått en **tillståndsförändring** — en **process**.



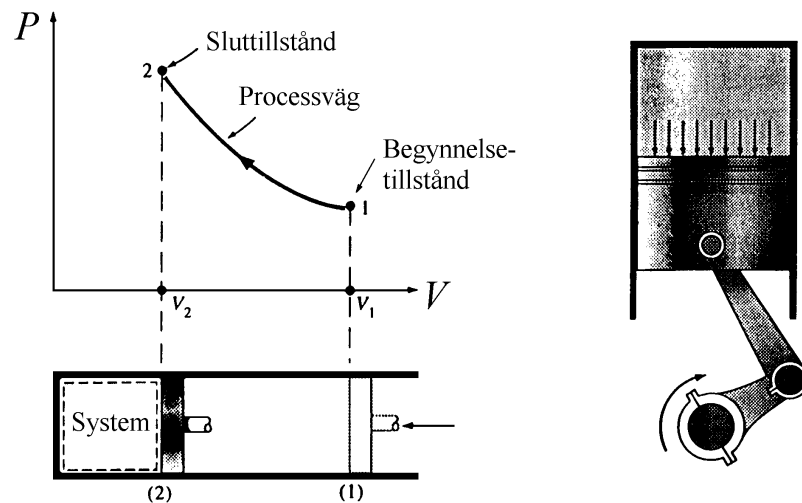
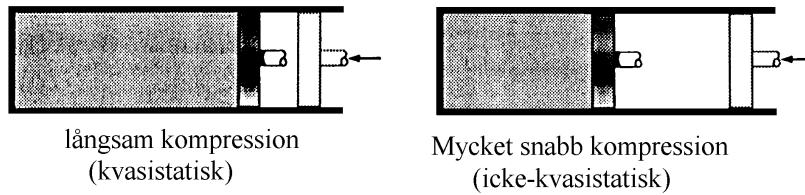
- Systemet har under processen växelverkat, d.v.s. haft ett **utbyte**, med omgivningen. Beskrivningen av hur processen gått till kallas **processvägen** (eng. *process path*).



- **Kvasistatisk process:** tillståndsförändringen sker så långsamt att avvikelser från jämvikt hela tiden är försumbara. Processen kan anses bestå av *en serie jämviktslägen*. Processens väg kan beskrivas exakt i ett s.k. *tillståndsdigram*.
- **Icke-kvasistatisk process:** en exakt beskrivning av processvägen är inte möjlig (avvikelser från jämvikt inte försumbara).

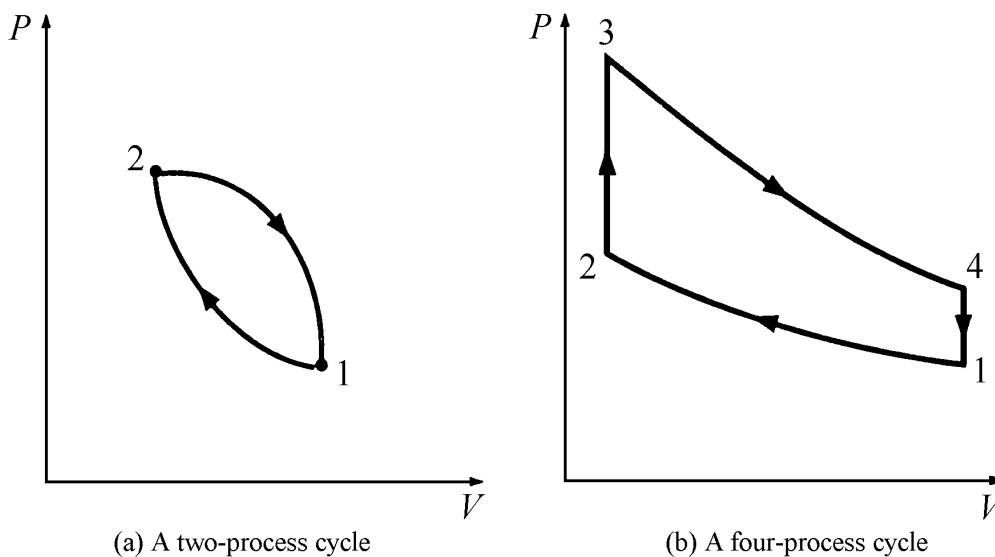
PROCESSER...

Kolvkompression av gas i en cylinder:



Kvasistatisk kompression kräver mindre arbete.

KRETSPROCESSER



Kretsprocess = Cyklisk process
(sluttillstånd = begynnelse-tillstånd)

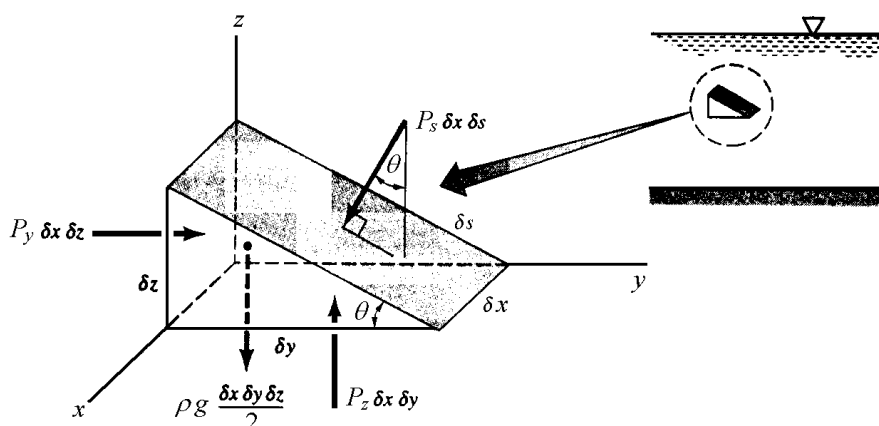
TRYCK

Normalspänning = ytkraft per areaenhet i ytnormalens riktning.

Skjuvspänning = ytkraft per areaenhet verkande i ytans plan.

Fluid i vila $\Rightarrow$ inga skjuvspänningar; de enda normalspänningarna är de p.g.a. tryckverkan.

Betrakta ett kilformat infinitesimalt fludelement, se figur. Fluiden är stillastående, i vila; tyngdacceleration nedåt (z -riktning uppåt). Elementets volym: $\delta x \delta y \delta z / 2 = dV$; massa: $\delta m = \rho dV$.



Kraftjämvikt för ett kilformat fludelement.

Inga nettokrafter på elementet och i gränsen då $\delta x, \delta y, \delta z \rightarrow 0$ med bibehållen vinkel θ :

$$\sum F_y = P_y \delta x \delta z - P_s \delta x \delta s \sin \theta = 0$$

$$\delta z = \delta s \sin \theta \Rightarrow \boxed{P_y = P_s}$$

$$\sum F_z = P_z \delta x \delta y - P_s \delta x \delta s \cos \theta - \delta m g = 0$$

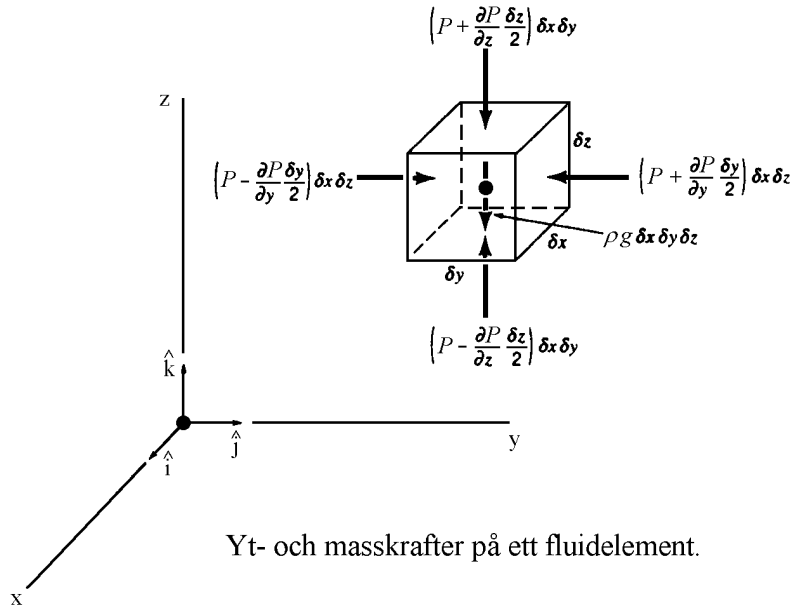
$$\delta y = \delta s \cos \theta \Rightarrow P_z - P_s = \rho g \delta z / 2 = 0, \text{ d.v.s. } \boxed{P_z = P_s}$$

$$P_s = P_y = P_z \Rightarrow$$

Trycket oberoende av riktning — Pascals lag

HYDROSTATIK

Betrakta ett infinitesimalt fludelement format som en parallelepiped, se figur. Tryck i centrum av elementet: $P = P(x, y, z)$, tyngdacceleration nedåt, i negativ z -riktning. Per definition verkar trycket mot elementets ytor in mot elementets centrum.



I övre ytan, på nivån $z + \delta z/2$, är trycket vid tillräckligt litet δz lika med $P + (\partial P / \partial z)(\delta z/2)$, i undre ytan på nivån $z - \delta z/2$ gäller $P + (\partial P / \partial z)(-\delta z/2)$; ytornas resp. area: $\delta x \delta y$.

Nettotryckkraft i z -led: $(\partial P / \partial z)(\delta z \delta x \delta y) = (\partial P / \partial z) d\mathcal{V}$. Denna kraft måste balanseras av masskraften i z -riktningen, $-\rho g d\mathcal{V}$, d.v.s.

$$\frac{\partial P}{\partial z} + \rho g = 0$$

I de övriga två riktningarna finns ingen masskraft, d.v.s.

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\partial P}{\partial y} = 0 \Rightarrow P = P(z)$$

Ur första likheten följer: $\boxed{\frac{dP}{dz} = -\rho g = -\gamma}$

Konstant $\gamma = \rho g \Rightarrow$ trycket ökar linjärt med djupet.

ARKIMEDES PRINCIP — FLYTKRAFT

En kropp helt nedsänkt i en stillastående (homogen) fluid påverkas av en uppåtriktad flytkraft (eng. buoyancy) som är lika med den undanträngda fluidens tyngd.

$$F_B = \rho g \mathcal{V}$$

ρ = fluidens densitet (konstant); $\mathcal{V}$ = undanträngd volym.



Bevis: Nettotryckkraften på en nedsänkt kropp är lika med integralen av trycket över kroppens yta,

$$\mathbf{F}_P = - \int_A P \hat{\mathbf{n}} = \{ \text{Gauss' sats} \} = - \int_V (\nabla P) d\mathcal{V}$$

Stillastående fluid: $\nabla P = -\rho g \hat{\mathbf{k}}$, där $\hat{\mathbf{k}}$ är uppåt. Insättning ger

$$F_B = F_{P,z} = \int_V \rho g d\mathcal{V} = \rho g \mathcal{V}$$

Flytande kroppar:

En flytande kropp undantränger en fluidmängd motsvarande dess egen tyngd i den fluid i vilken den flyter.