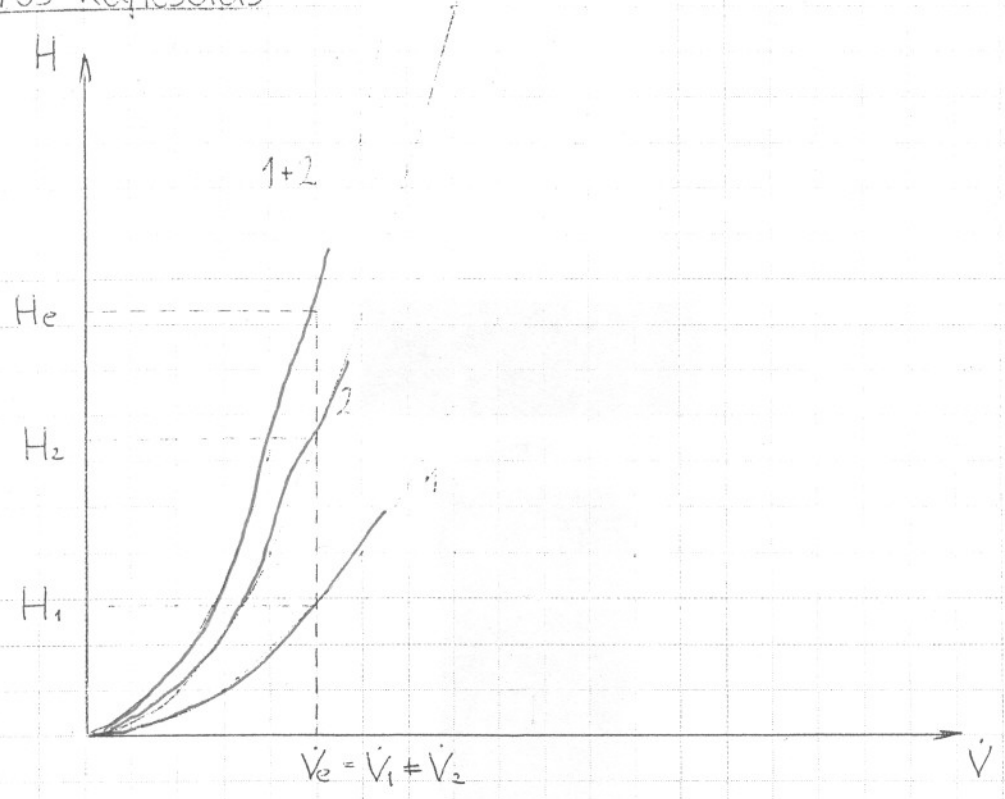


# Csővezeték soros és párhuzamos kapcsolása

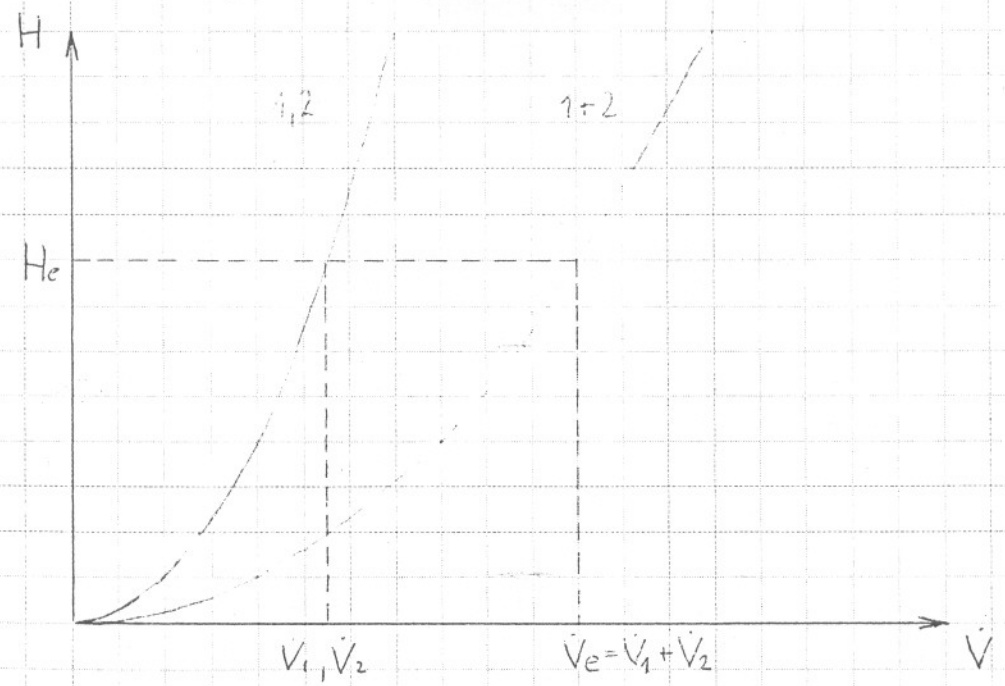
## Soros kapcsolás



$$H_e = H_1 + H_2$$

- a jelleggörbét H irányba összegezve kapjuk az eredő jelleggörbét.

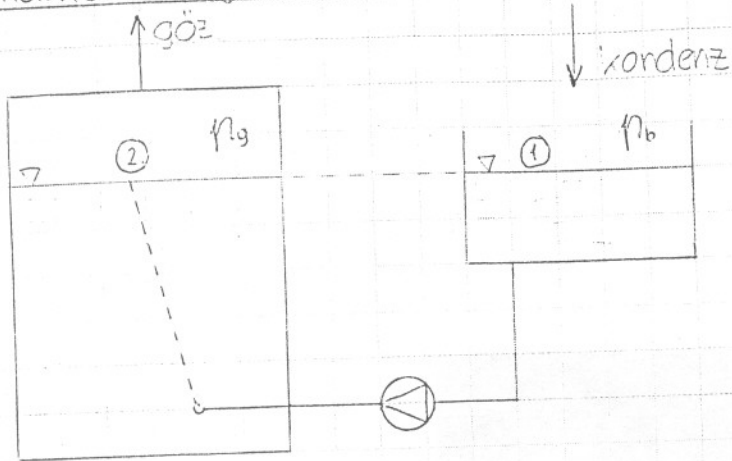
## Párhuzamos kapcsolás



- a jelleggörbét V irányba összegezve kapjuk az eredő jelleggörbét.

85

Nyomáskülönbség mellett üzemelő berendezések:



- Ha  $p_g > p_b \Rightarrow$  szivattyú kell
- A veszteséges Bernoulli egyenlet

$$h_1 + \frac{p_b}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_g}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2g} + h' - H$$

- Viszont:

$$h_1 = h_2 \\ v_1 = v_2 \approx 0$$

- Tehát:

$$\frac{p_b}{\rho \cdot g} = \frac{p_g}{\rho \cdot g} + h' - H$$

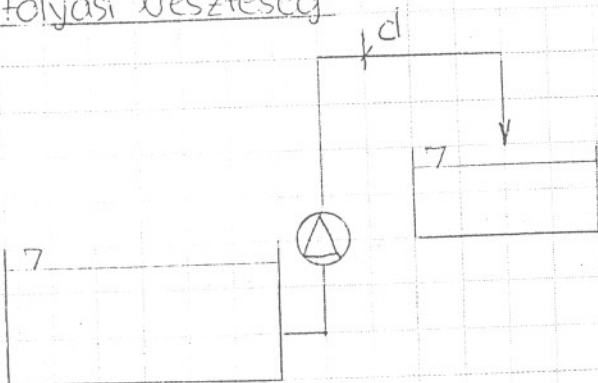
- Vagyis:

$$H = \frac{p_g - p_b}{\rho \cdot g} + h' = H_p + h'$$

- Ha nagyobb nyomású helyről szállítunk folyadékot kisebb nyomású helyre

$H_e = H = h' - H_p$ , ha  $h' = H_p$  akkor nem kell szivattyú

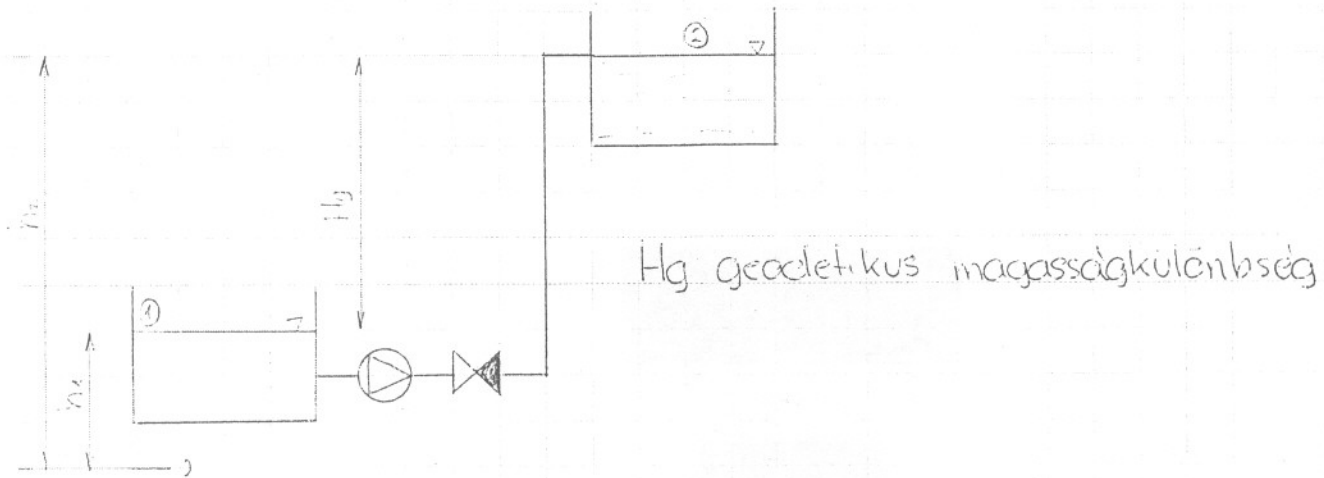
Kifolyási veszteség:



$\frac{v^2}{2g}$  sebességmagasság veszendőbe megy

$d, v$  megfelelő választása

Szintkülönbség mellett üzemelő berendezések:



- A veszteséges Bernoulli egyenlet:

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h' - H$$

- Azonban:

$$\begin{aligned} p_1 &= p_2 = p_0 \\ v_1 &= v_2 \approx 0 \\ h_2 &= h_1 + H_g \end{aligned}$$

- Így:

$$h_1 + \frac{p_0}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = h_1 + H_g + \frac{p_0}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + h' - H$$

- Vagyis:

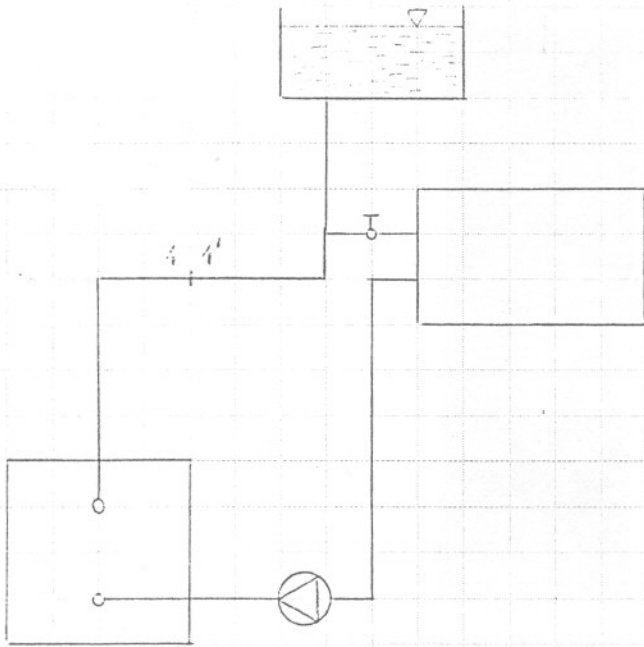
$$\boxed{H = H_g + h'}$$

Folyadékcszállítási feladatok fajtái:

- Keringtető berendezések
- Szintkülönbség mellett üzemelő berendezések
- Nyomáskülönbség mellett üzemelő berendezések
- Összetett feladatokat megoldó berendezések

Terhelőmagasság:  $H_t$ : az az energiámennyiség amelyet a berendezésben áramló folyadék súlyegységével közölni kell a folyadékcszállítás biztosításához.

$$[H_t] = \text{Nm/m}$$

Keringtető berendezések:

- érvényes a súrlódásos folyadékokra levezetett Bernoulli-egyenlet.
- tetszőlegesen felvesszünk két pontot (1,1') úgy, hogy ezek egybeessenek. Ennek következtében:

$$h_1 = h_{1'}$$

$$p_1 = p_{1'}$$

$$v_1 = v_{1'}$$

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = h_{1'} + \frac{p_{1'}}{\rho g} + \frac{v_{1'}^2}{2g} + h' - H$$

$$\boxed{H = h'}$$

86  
B-tetelsor

- B/1 ✓ A szabadsugar, a falsugar es a zart sugar fogalma, elfordulasa a muszaki gyakorlatban. A sugarfajtak csoportositasa termikus, terbeli es geometriai viszonyok alajan. A szabadsugar reszei.
- B/2 ✓ Az oxidszimmetrikus es sik szabadsugar fontosabb szamitasi osszefuggesei. A sebességprofil egyenlete, a sugartengely alakulasa anizotermikus legsugarnd. Az Archimedes-szam definicioja, szamitasi egyenlete.
- B/3 ✓ Vezesse le a tengelysebesség csökkenéseinek egyenletet nagy  $l/h$  viszonyu kifutó legracs eseteire. Adja meg a  $K$  konstrukciós tényező gyakorlatban alkalmazott szokasos értékeit. *szabot levezetés*
- B/4 ✓ Ábrázolja egy szabad elszívónyílás környezetében kialakuló áramvonalakat es sebességmezőt. A tengelysebesség szamitasának egyenletei. Elszívóernyők es elszívóresék alapvető szamitasi osszefuggesei.
- B/5 ✓ Kétdimenziós matematikai modellek tárgyalásakor mely egyenletekből indulunk ki, es milyen egyszerűsítő feltételekkel jutunk el a Laplace típusú parabolis differenciálegyenletig.
- B/6 ✓ A relaxáció módszere, szamitasi osszefuggése, peremérték problémák. Áramlás elsőfajú es másodfajú peremen.
- B/7 ✓ Teremlégaramlások numerikus szamitasának kiinduló egyenletei. A peremfeltételek fajtái, megadási módja. A turbulenciafok fogalma, definíció egyenlete. A numerikus szamítás alkalmazása klimatechnikai feladatok megoldásánál.
- B/8 ✓ Az áramlástechnikai gép fogalma, rendszerezése, a használat célja es a működési elv alajan. Volometrikus es örvénygépek működésének alapjai.
- B/9 ✓ Rajzolja fel egy örvényszivattyú elvi vázlatát, es ábrázolja a sebességi háromszögeket. A Hex szamitasi módja, a kinetikai es nyomási energia növekedésének szamítása a sebességek alajan.



88  
B/10 A lapátszög, mint típusjellemző. A perdületmentes belépés feltétele. Az emelőmagasság változása az átíteli szám függvényében.

B/11 A különféle lapátalakok,  $H_{\infty}-V$  jelleggörbei, összefüggése a kilépési sebességi háromszögekkel. A különböző lapátalakok összehasonlító értékelése.

B/12 Valóságos örvényszivattyúk veszteségei, azok fajtái, megjelenési módja. Valóságos örvényszivattyú jelleggörbéjének szerkesztése. A hasznos és a tengelyteljesítmény számítása.

B/13 Örvényszivattyúk jelleggörbei, a fojtásgörbe. Szivattyúk stabilis és labilis működése. A kavitáció fogalma, lényege, hatása a szivattyú járdkerekeire.

B/14 A fordulatszám, a sűrűség, és a viszkozitás változásának hatása az örvényszivattyú jelleggörbéjére. Az arányossági törvények. Örvényszivattyúk kagylódiagramjának szerkesztése

B/15 Örvényszivattyúk fojtásos és megcsapolásos szabályozásának bemutatása a jelleggörbék segítségével. A szivattyú-csővezetek összehatásfokának alakulása mindkét esetben. Fenti szabályozási módok alkalmazási területei

B/16 Örvényszivattyúk lépcsős szabályozása és fokozatmentes fordulatszám szabályozása, ezek épületgépészeti alkalmazási területei.

B/17 A száraz és nedves tengelyű szivattyúk felépítése, fő szerkezeti részei, jellemzői. Örvényszivattyúk konstrukciós kérdései (járdkerék, csigaház, tengelytömítés, csapágyazás, az axiális terhelés csökkentése).

B/18 A keringtető szivattyús fűtés tervezési követelményei, a szivattyú helyes kiválasztása. Szivattyú és fűtési rendszer részterhelésű üzeme, zajprobleémák.

B/19 A ventilátorok csoportosítása kialakításuk szerint. A ventilátorok felhasználási területei. A statikus, a dinamikus és az össznyomás számítása végtelen lapátszám esetén.

B/20 Radialis ventilátorok jelleggörbei, veszteségei, arányossági törvényei. Radialis ventilátor kagylódiagramja

- B/21 Légszűrő-hálózat nyomásdiagramja. Ventilátorok hajtása és szabályozása. A nedvületszabályozás.
- B/22 Az egyszeres és kétszeres működésű dugattyús szivattyú elvi vázlata. A szállított folyadékmennyiség számítása. Dugattyús szivattyú szabályozása és jelleggörbéi. A folyadék szállítás lüktetésének csökkentése.
- B/23 A dugattyús kompresszor felelítése, szabályozása, indikátor diagramja, hatásfoka. A csavaros kompresszorok felelítése, szállítóteljesítménye.
- B/24 Áramlástechnikai mérések, és mérőműszerek, nyomásmérés, sebességmérés, térfogatszámolás, térfogatáram mérés.
- B/25. Centrifugalventilátor jelleggörbéinek méréssel történő felvétele. A berendezés vázlata. A mérés lefolytatása, számítási összefüggések.

- A három egyenlet három ismeretlen függvény meghatározására alkalmas

$$u_x(x, y, t)$$

$$u_y(x, y, t)$$

$$p(x, y, t)$$

- Ehhez azonban ismernünk kell a  $\rho, \nu, \bar{q}$  függvényeket is
- Így azonban az egyenletrendszer megoldása még kétdimenziós esetben is igen nagy nehézségekkel járna.
- Arra kell törekednünk, hogy  $\rho, \nu, \bar{q}$  értéket lehetőleg állandó, esetleg zérus értékűnek vehessük.
- Az alkalmazott áramlástan feladata tulajdonképpen az, hogy az egyenletrendszerben szereplő mennyiségek egyikének - másikkal elhanyagolása vagy megközelítése révén keletkező matematikai - fizikai modellek alkalmazási lehetőségeit, érvényességi tartományát vizsgálva azokat a műszaki problémák megfelelő csoportjaira alkalmazza a megoldás munkaigényét, gazdaságosságát is szem előtt tartva.
- A részletesen tárgyalt modellekre egységesen jellemző, hogy  $\bar{q}$  hatását figyelmen kívül hagyjuk, így  $\bar{q} = 0$
- Legyen a vizsgált közeg ideális:  $\rho = \text{állandó}$ ;  $\nu = 0$ 
  - A  $\rho = \text{állandó}$  feltétel jó közelítéssel teljesül, ha a hőmérséklet is közel állandó
  - Számos, gyakorlatilag fontos esetben a sűrűdés hatása csak egy viszonylag vékony rétegre, az ún. határretegre terjed ki, a határretegen kívül azonban az ideális közeg feltételezésével kapott számítás eredménye igen jól megközelíti a valóságos sebesség- és nyomás-értékeket.
- Foglalkozzunk csak stationárius esettel:  $\frac{\partial u_x}{\partial t} = 0$ ;  $\frac{\partial u_y}{\partial t} = 0$
- Így a 3 egyenlet leegyszerűsödik:

$$1. \quad \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} = 0$$

$$2. \quad u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}$$

$$3. \quad u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y}$$



- 110 13/5-1.
- Folyadékok és gázok áramlásának törvényszerűségeit - ha a vákuumtechnika és az űrhajózás szakterületétől eltekintünk - a tapasztalat szerint a folytonossági tétel és a Navier-Stokes egyenlet helyesen írja le, ha  $\rho, \vec{v}, p, \nu, \vec{g}$  mind a hely és idő függvényei.

Folytonossági tétel:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{v}) = 0$$

Navier-Stokes egyenlet:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \text{grad} \frac{v^2}{2} - \vec{v} \times \text{rot} \vec{v} = -\frac{1}{\rho} \text{grad} p + \vec{g} + \nu \Delta \vec{v}$$

Kétdimenziós esetben:

$$\text{div}(\rho \vec{v}) = \nabla \cdot \vec{v} = \frac{\partial}{\partial x}(\rho v_x) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v_y)$$

$$\text{grad} \frac{v^2}{2} = \text{grad} \frac{v_x^2 + v_y^2}{2} = \left( v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial x} \right) \vec{i} + \left( v_x \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} \right) \vec{j}$$

$$\text{rot} \vec{v} = \nabla \times \vec{v} = \frac{\partial v_y}{\partial x} - \frac{\partial v_x}{\partial y} \vec{k}$$

$$\vec{v} \times \text{rot} \vec{v} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ v_x & v_y & 0 \\ 0 & 0 & \left( \frac{\partial v_y}{\partial x} - \frac{\partial v_x}{\partial y} \right) \end{vmatrix} = v_y \left( \frac{\partial v_y}{\partial x} - \frac{\partial v_x}{\partial y} \right) \vec{i} - v_x \left( \frac{\partial v_y}{\partial x} - \frac{\partial v_x}{\partial y} \right) \vec{j}$$

- Tehát:

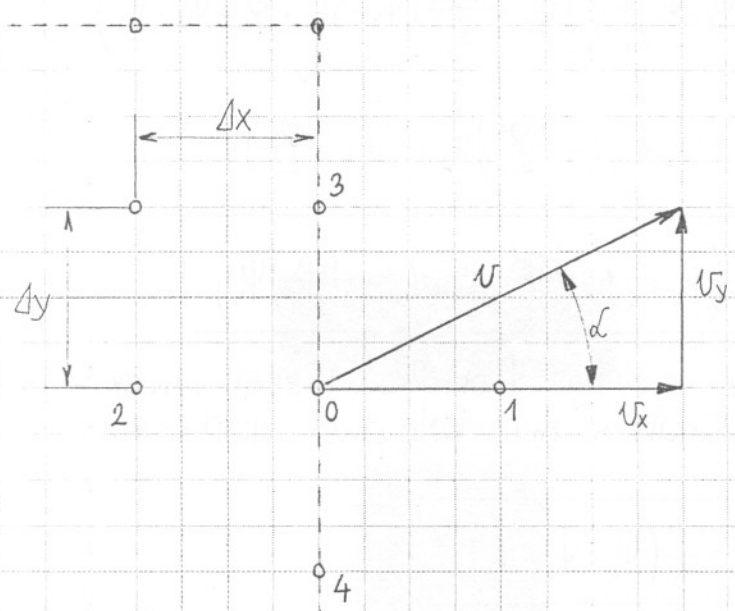
$$1. \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho v_x) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v_y) = 0$$

$$2. \quad \frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + g_x + \nu \left( \frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} \right)$$

$$3. \quad \frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + g_y + \nu \left( \frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} \right)$$

M<sup>o</sup>

Átáramlás másodfajú peremen:



- Az ábrán egy másodfajú perem látható, melyen a fizikai feltétel az, hogy a közeg  $\alpha$  szöggel áramlik ki.
- A peremen kívül ilyenkor még egy pontot képzelünk el, ez az 1. jelű pont, s  $\Psi_1$  értéket  $\Psi_0$ -val és  $\alpha$ -val próbáljuk meg kifejezni.
- Mivel:

$$u_y = - \frac{\partial \Psi}{\partial x}$$

- közelítőleg:  $\Psi_1 - \Psi_0 \approx -u_y \cdot \Delta x$

- $\Delta x$  helyébe  $u_x$ -et kívánunk beírni, hogy  $\operatorname{tg} \alpha$  megjelenjen.

- Mivel

$$u_x = \frac{\partial \Psi}{\partial y} \approx \frac{\Psi_3 - \Psi_4}{2\Delta y} = \frac{\Psi_3 - \Psi_4}{2\Delta x} \quad \text{ha } \Delta x = \Delta y$$

$$\Delta x = \frac{\Psi_3 - \Psi_4}{2u_x}$$

- Így:

$$\Psi_1 - \Psi_0 = -u_y \cdot \frac{\Psi_3 - \Psi_4}{2u_x} = -\frac{\operatorname{tg} \alpha}{2} (\Psi_3 - \Psi_4)$$

$$\Psi_1 = \Psi_0 - \frac{\operatorname{tg} \alpha}{2} (\Psi_3 - \Psi_4)$$

- Tehát:

$$\psi_0 = \frac{1}{4}(\psi_1 + \psi_2 + \psi_3 + \psi_4) = \frac{1}{4}\left(\psi_0 - \frac{\operatorname{tg} \alpha}{2}(\psi_3 - \psi_4) + \psi_2 + \psi_3 + \psi_4\right)$$

$$4\psi_0 = \psi_0 + \psi_2 + \left(1 - \frac{\operatorname{tg} \alpha}{2}\right)\psi_3 + \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha}{2}\right)\psi_4$$

$$\psi_0 = \frac{1}{3}\left(\psi_2 + \left(1 - \frac{\operatorname{tg} \alpha}{2}\right)\psi_3 + \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha}{2}\right)\psi_4\right)$$

- Így a peremhez tartozó  $\psi$  értékek ezzel maguk is számíthatók a relaxáció során s nem kell őket előírniuk.
- $\alpha = 0^\circ$  esetén:

$$\psi_0 = \frac{1}{3}(\psi_2 + \psi_3 + \psi_4)$$

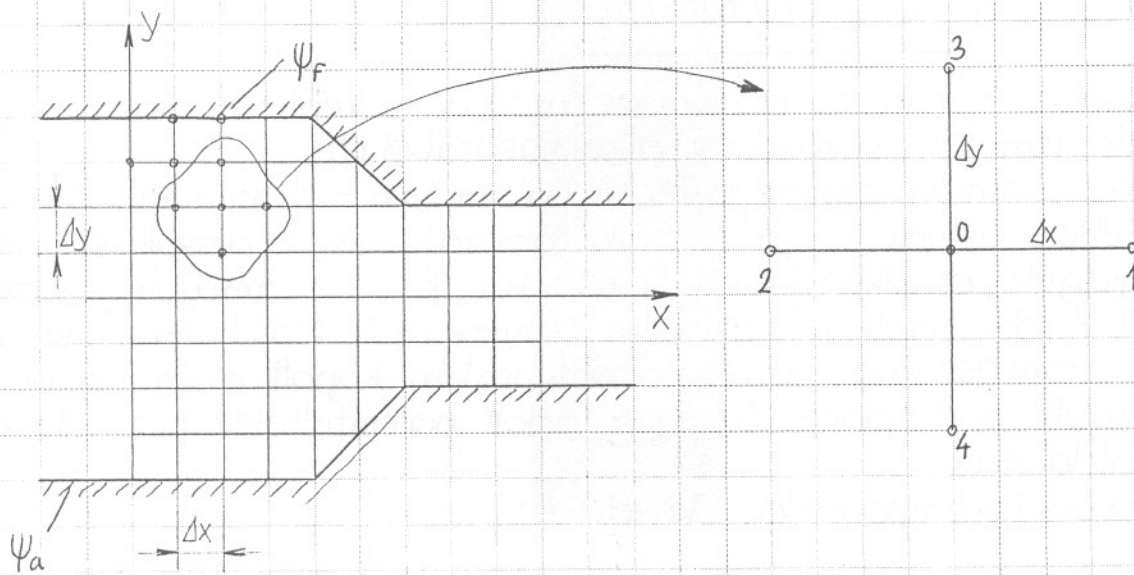
- az áramfüggvény  $\text{rot } \vec{v} \neq 0$  esetekben is alkalmazható ideális közeg síkáramlásának leírására, ellentétben a sebességi potenciállal. Ez az oka annak, hogy a numerikus számításmodot a  $\psi$ -re alapozzuk.

$$\boxed{\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = -(\text{rot } \vec{v})_z} \quad \text{Poisson-féle differenciálegyenlet}$$

- Ha  $\text{rot } \vec{v} = 0$ :

$$\boxed{\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0} \quad \text{Laplace-féle differenciálegyenlet}$$

- Vegyünk például egy konfúzort:



- A határoló falakat áramvonalaknak tekinthetjük, így ezek mentén az áramfüggvény értéke állandó. Az alsó fal mentén pl.  $\psi = \psi_a$ , a felső fal mentén pedig  $\psi = \psi_f$ . A többi áramvonal és a sebességmező meghatározása érdekében a  $\psi(x,y)$  függvényt kell számítani. Ehelyett csak az ábrán berajzolt  $\Delta x$  ill.  $\Delta y$  osztású hálózat metszéspontjaiban, a csomópontokban fogjuk meghatározni  $\psi$  értékét.
- $\Delta x$  és  $\Delta y$  nagyságot és így a csomópontok számát a kívánt pontosság határozza meg.
- Legyen  $\Delta x = \Delta y$
- A csomópontokat megszámozzuk valamilyen rendszer szerint, például az ábrán látható módon.
- A Laplace-féle differenciálegyenletben szereplő deriváltakat ezután véges különbségek hányadosával közelítjük meg:



B/6-2.

$$\left(\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2}\right)_0 \approx \frac{1}{\Delta x} \left( \frac{\Psi_1 - \Psi_0}{\Delta x} - \frac{\Psi_0 - \Psi_2}{\Delta x} \right) = \frac{\Psi_1 - 2\Psi_0 + \Psi_2}{(\Delta x)^2}$$

$$\left(\frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2}\right)_0 \approx \frac{1}{\Delta y} \left( \frac{\Psi_3 - \Psi_0}{\Delta y} - \frac{\Psi_0 - \Psi_4}{\Delta y} \right) = \frac{\Psi_3 - 2\Psi_0 + \Psi_4}{(\Delta y)^2}$$

- Ha a  $\Delta x = \Delta y$  esetet feltételezve a fentieket a Laplace-egyenletbe helyettesítjük:

$$\frac{1}{(\Delta x)^2} \cdot (\Psi_1 - 4\Psi_0 + \Psi_2 + \Psi_3 + \Psi_4) = 0$$

- Ebből:

$$\Psi_0 = \frac{1}{4} (\Psi_1 + \Psi_2 + \Psi_3 + \Psi_4)$$

- Relaxáció során a megoldás módja e képleten alapszik, és ennek ismételt, sorozatos alkalmazásából áll.

- Először minden csomópontnak valamilyen - elvben tetszőleges -  $\Psi$  értéket adunk, majd a csomópontokat meghatározott sorrendben végigjárjuk, és őket 0 pontnak tekintve  $\Psi_0$ -t kiszámítjuk. Az ott talált  $\Psi$  régi értékeket az újjal helyettesítjük. Majd iterálunk a kívánt pontosságig. A legutolsó lépésben kapott áramfüggvényt tekintjük a Laplace-egyenlet adott peremfeltételeihez illeszkedő megoldásnak.

- A sebességkomponensek közelítőleg:

$$u_x = \frac{\partial \Psi}{\partial y} \approx \frac{\Psi_3 - \Psi_4}{2\Delta y}$$

$$-u_y = \frac{\partial \Psi}{\partial x} \approx \frac{\Psi_1 - \Psi_2}{2\Delta x}$$

Peremérték-problémák:

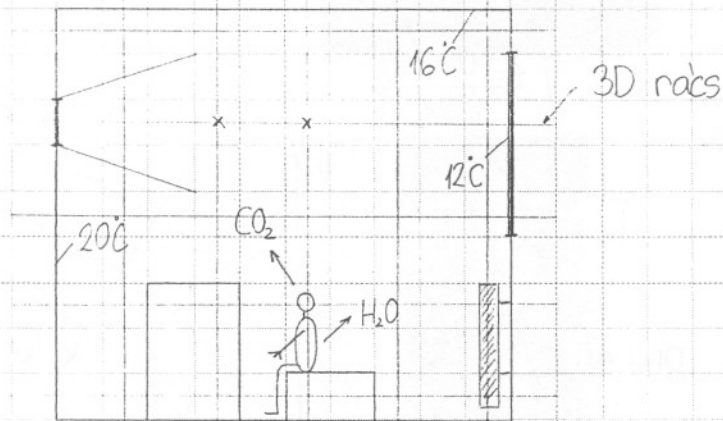
Elsőfajú perem: A határfelületeken a  $\Psi$  áramfüggvényértékek adottak ill. rögzíteni tudjuk őket.

Másodfajú perem:  $\Psi$ -nek a peremre merőleges deriváltja adott.

$$\frac{\partial \Psi}{\partial y} \text{ ismert}$$

## Teremlégtáramlások numerikus számításának kiinduló egyenletei:

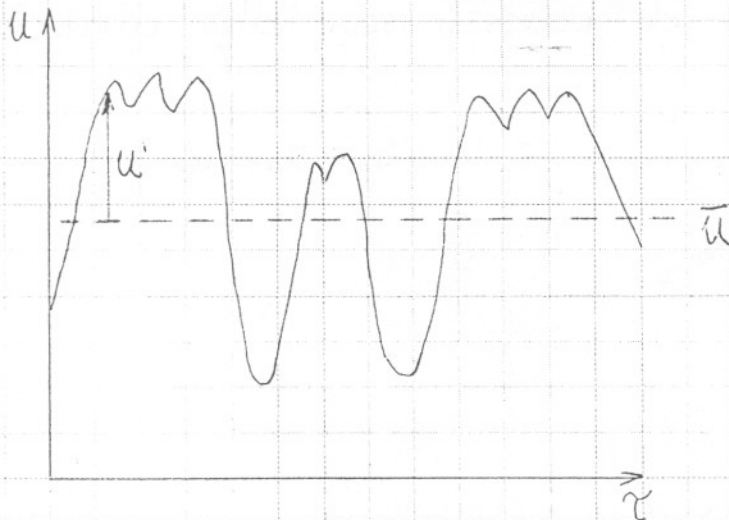
- 1) örvénytranszportegyenlet
- 2) az áramfuggvény differenciálegyenlete
- 3) kinetikus turbulensenergia transzportegyenlete
- 4) kinetikus turbulensenergia disszipációjának transzportegyenlete
- 5) entalpia transzportegyenlete
- 6) turbulens viszkozitás
- 7) anyagtranszport egyenlete



- különböző pontokban akarjuk meghatározni az alábbi értékeket:

$$\bar{v}, T_u, t, c_1, c_2, c_n, \dots$$

### Turbulencia:



$$T_u = \frac{\sqrt{u'^2 + v'^2 + w'^2}}{\sqrt{3} \cdot \bar{u}}$$

Turbulens légmozgások kiértékelése:

$$L_k = L_{sk} + 2,7 \sqrt{s \cdot 100}$$

$$s = T_u \cdot \bar{u}$$

Szűrőpróba eljárás (Stichprobenverfahren)

- kiszámítjuk az átlagsebességet:

$$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^n u_i}{n}$$

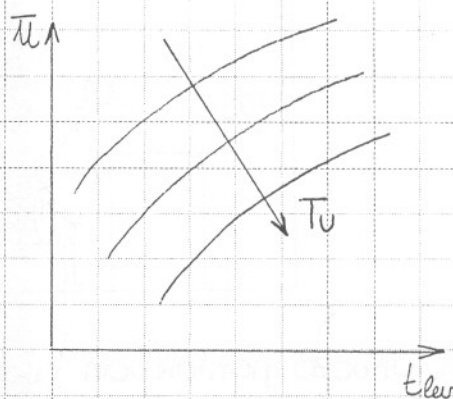
- majd a szórást:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{u} - u_i)^2}{n-1}}$$

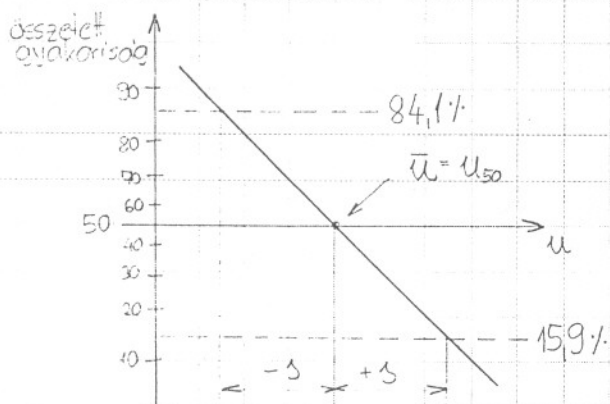
- a turbulencia fok:

$$T_u = \frac{s}{\bar{u}}$$

DIN 1846/2 →

Tartózkodási idő vizsgálat:

- húzzunk be pl. 4 vízszintest a sebesség-idő diagramba, és nézzük meg, hogy az egyes vízszinteseknél nagyobb sebesség a vizsgált időszak hány százalékában fordul elő.
- Az értékeket Gauss-féle valószínűségi haldn ábrázoljuk



$$s = u_{50} - u_{84} = u_{16} - u_{50}$$

$$T_u = \frac{s}{\bar{u}}$$

- A teremlégáramlások numerikus számításánál nem lesz szükségünk már azokra az empirikus összefüggésekre amelyekkel a szabadsugar mozgását írjuk le. Ehelyett a befúrdószervezetek fiktív belépési keresztmetszetében (befúrdónyílás keresztmetszetétől 1-2cm távolságban van) kell ismernem a:

- sebességeloszlást
- hőmérsékleteloszlást
- turbulenciafok eloszlást