

VEGYIPARI MŰVELETEK ÉS IRÁNYÍTÁSUK II.

Vegyipari technikus tanulók részére

Ez a tankönyvpótló jegyzet a Petrik Lajos Két Tanítási Nyelvű Vegyipari, Környezetvédelmi és Informatikai Szakközépiskola nappali és levelező munkarendben tanuló, illetve az iskola által szervezett tanfolyami foglalkozásokon résztvevő, a vegyipari szakmacsoport technikusi szakmáiban képe­­sítést szerzőtanulók részére készült Bertalan Zsolt – Csirmaz Antal – Szabó László – Uhlár Zoltán: Műszaki ismeretek, MK 1999. és Vegyipari műveletek és irányításuk, KIT 1999 tankönyvei, valamint a szerző Digitális tudástár, MK, KIT és más kiadványokban megjelent szövege, ábrái és példái alapján, az új OKJ szerinti aktualitással. A jegyzet kereskedelmi forgalomba nem hozható, más képzésben nem használható fel.

Összeállította: Bertalan Zsolt és Uhlár Zoltán

2012.

2. VEGYIPARI MŰVELETEK ÉS IRÁNYÍTÁSUK

2.1. TARTÁLYOK ÉS KÉSZÜLÉKEK; A NYEBSZ

A vegyiparban különféle halmazállapotú anyagokat dolgozunk fel. A gyártás során az anyagokat speciális feladatokra tervezett készülékekbe vezetik, átalakítják, feldolgozás előtt és után átmenetileg tárolják. A tárolás eszközei a tartályok.

A tárolási cél alapján tehát a tartályok: **Folyadékok, gázok vagy porszerű szemcsés halmazok tárolására szolgáló eszközök**

Szerkezeti kialakításukat tekintve a tartályok forgásfelületű, héjszerkezetű fémkészülékek. A vegyipari tartályok között kiemelt szerepe van a **folyadéktartálynak**, amelyet a vegyipari üzemben belüli anyagok tárolására, adagolásra, a termékek összegyűjtésére alkalmaznak. Az üzemcsarnokban csoportokat alkotva telepítik. Az anyagot szivattyú mozgatja a készülékek között. Elrendezését tekintve álló- és fekvőhengeres tartályokat különböztetünk meg.

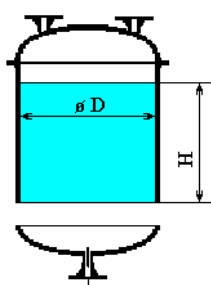
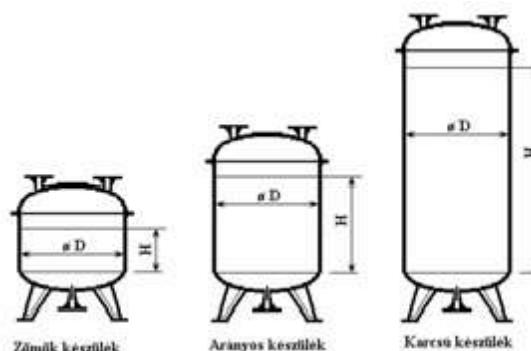


2.1.1. Folyadéktartályok

Az állóhengeres készülékek fő részei:

- Hengeres köpeny: zömök, arányos, karcús vagy toronyszerű kivitelben;
- Domború (kosárgörbe), gömb, kúpos vagy lapos záró elem;
- Csonkok az anyag be és kivezetésére;
- Alátámasztás: láb, szoknya, pata, gyűrű;
- Nyomás és szintmérő műszerek;
- Kezelő és figyelő nyílások.

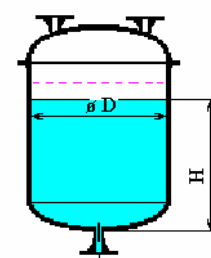
A tartályok alakja a hengeres rész hosszúsága és az átmérő aránya szerint zömök, arányos és karcús kategóriába sorolható. Az arányt a karcúsági tényező fejezi ki: **$f=H/D$** képlettel. A karcúsági tényező segítséget nyújt egy meghatározott térfogatú anyag tárolására szolgáló tartály fő méreteinek kiszámításához.



A térfogatszámítással a H és D értéket határozzuk meg. A térfogatot a hengeres részre számoljuk ki.

A záró elemet utólag illesztik a köpenyhez, és a záró elemnek van saját térfogata.

A folyadék eredeti „H” szintje annyit csökken, amennyi térfogatrész a záró elembe kerül!
(térfogatértékeket lásd a táblázatban!)



Feladat: Határozzuk meg a 3,5 m³ folyadék tárolására alkalmas, f = 1,6-os karcúsági tényezőjű tartály fő méreteit!

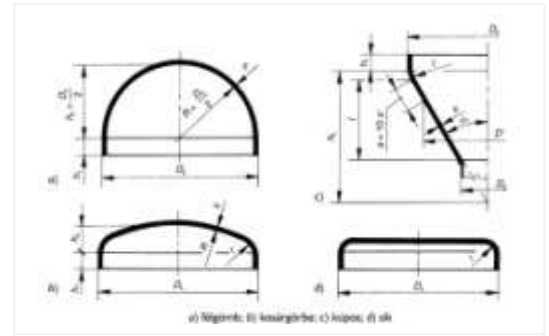
Megoldás: A tartály térfogata: $V = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \cdot H$, a karcúsággal H-t kifejezve:

$$V = \frac{D^3 \cdot \pi \cdot f}{4}, \text{ amiből az átmérő: } D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot f}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 3,5}{\pi \cdot 1,6}} = 1,407. \text{ (azaz } 1400 \text{ mm)}$$

$H = 1,6 \cdot 1400 = 2240$. Az edényfenék térfogata: 316 dm³, magassága 341 mm
(A minta táblázatban szabványos **mély-domború** záró elem adatai láthatók!)

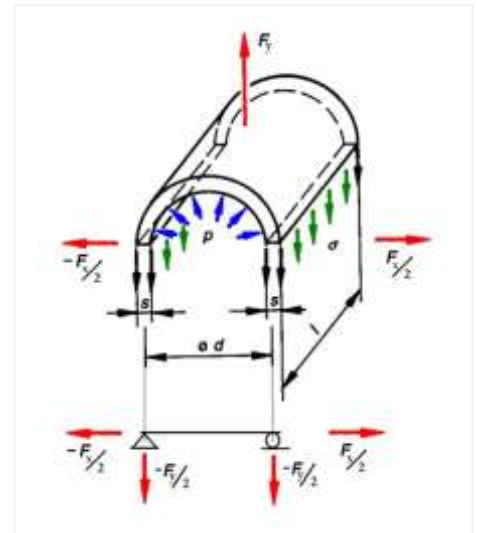
D [mm]	h [mm]	V [dm ³]
800	198	57,5
900	218	81,5
1000	254	112,5
1100	270	152
1250	306	223
1400	341	316

A tartályok olyan fémlemezről készülnek, amelyek a tárolt anyag **korrozíós hatásának** ellenállnak. A hengerelt lemezeket egymáshoz hegesztik, a záró elemeket gépgyárban sajtolják, majd szintén felhegesztik, vagy karimás kötéssel kapcsolják a hengeres testhez. A záró elemhez rövid, hengeres toldalék készül, és ennél fogva hegesztik a tartályhoz, vagy a karimához. Ennek szilárdsági oka van: a toldalék biztosítja, hogy az összetett terhelési állapotú sarkokban ne legyen hegesztés, a hegesztett részben már tisztán húzófeszültség ébredjen!



2.1.2. A tartály falvastagságának meghatározása:

A tartályokban általában túlnyomás van, amely a tartály falát terheli. A tartályban lévő gőzök és gázok okozta túlnyomást a tárolt folyadék sűrűségétől és magasságától függő folyadéknyomás is növeli. A tartály falában fellépő terhelés (igénybevétel) mechanikai feszültséget hoz létre, amelynek nagysága kiszámítható. A terhelés módját leíró összefüggéseket **héjelméletnek** nevezzük! A számításoknál a tartályt, mint **d közepes** átmérőjű és **l** hosszúságú, belül egyenletesen terhelt csövet vizsgáljuk. Ebben az állapotban a tartály falát a tengelytől sugár irányban terheli a belső nyomás. A terhelő erők kiegyenlítik egymást: a tartály statikai szempontból nyugalmi állapotban van.



Ha a tartályt a tengelyére fektetett képzeletbeli síkkal „kettévágjuk”, a belső nyomásból származó nyomóerő függőleges irányú komponensét a **d*l** szorzat határozza meg, míg a vízszintes irányú erők továbbra is kiegyenlítik egymást. A függőleges erőt a kéttámaszú tartóra vonatkozó terhelési szabályok szerint a képzeletbeli vágási pontok egyenlítik ki **-Fy/2, -Fy/2** erőkkel!

$$\sigma = \frac{d \cdot l \cdot p}{2 \cdot s \cdot l}, \text{ azaz:}$$

$$\sigma = \frac{d \cdot p}{2 \cdot s}, [\text{N/m}^2]$$

Ezek az erők az **s** szélességű (falvastagság), **l** hosszúságú lemezben hoznak létre húzófeszültséget. A feszültségre megállapított összefüggéseket a gyakorlatban **kazánformulának (kazánképletnek)** is nevezik. A tartály valódi, gyártási alapot képező falvastagságának kiszámításakor azonban figyelembe kell venni az alkalmazott hegesztési technológia biztonsági tényezőjét (Φ), valamint a szükséges falvastagsági pótlékokat. (c)

A (c) falvastagsági pótlék két részből áll:

- korrozíós pótlék, amely mm/év értékben megadva lényegében a tartály tervezett évi kopását, ezen keresztül az élettartamát határozza meg;
- gyártástechnológiai pótlék a tartály lemezének egyenetlenségéből fakadó szilárdsági bizonytalanságot fejezi ki. A lemez minőségével ez az érték arányosan csökken.



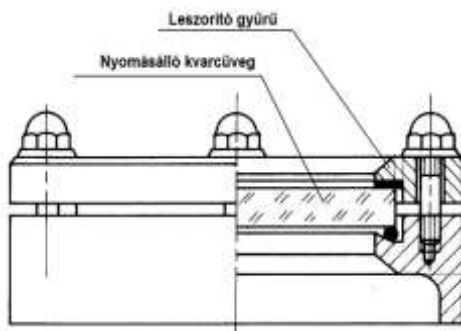
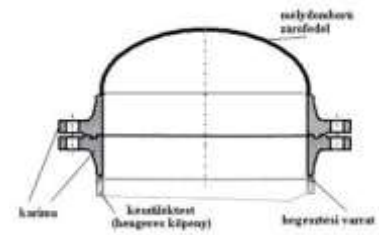
2.1.3. A tartály számításai, fő méreteinek meghatározása, méretezése:

- Térfogat alapján a fő méretek (H és D) kiszámítása;
- Anyagválasztás, megengedett feszültség megállapítása;
- Gyártástechnológiai (hegesztési) jóságfok (Φ), és falvastagság pótlékok (c) meghatározása;
- Valódi falvastagság kiszámítása.

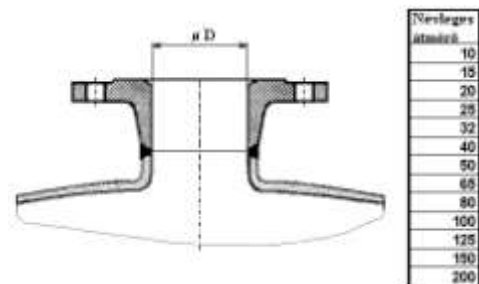
$$s = \frac{d \cdot p}{2 \cdot \sigma \cdot \Phi} + c$$

2.1.4. A tartály szerelvényei:

A tartály felső záró eleme általában karimás kötéssel csatlakozik a hengeres részhez. Ez a megoldás kedvező a tisztítás, javítás, belső szerelés szempontjából. **A karimagyűrűket csavarok szorítják össze. A karimába esztergált horonyban helyezik el a tömítő anyagot.** Nagyobb tartályok tetejére a belső tér megtekintése céljából figyelő ablakot szerelnek. A figyelőablak kerek, nyomás, és hőálló kvarcüvegből készül, amelyet csavaros leszorító gyűrűvel rögzítenek a szintén kerek alaphoz. A figyelő ablak mellett gyakran ugyanolyan kialakítású világító ablakot is elhelyeznek, lámpával.



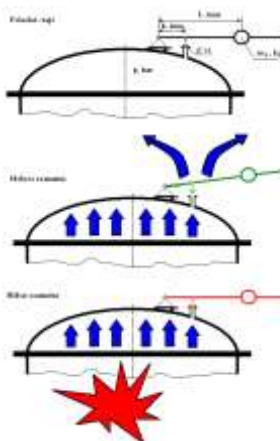
A tartály aljára és tetejére különböző méretű **csonkokat** hegesztenek, amelyen keresztül a tartály feltölthető vagy leüríthető.



A csonkok a csőhálózathoz karimával csatlakoznak, amelyek mérete szabványos sorozatból választható. Ezt **névleges átmérőnek** nevezzük.

2.1.5. A tartály biztonsága:

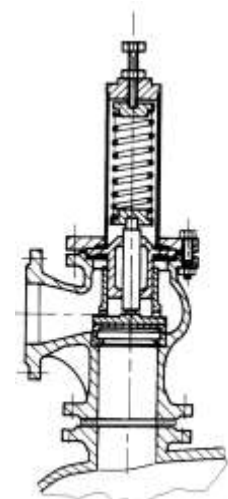
A nyomástartó edények, tartályok használata, üzemeltetése veszélyes tevékenység. A zárt tartályban akár üzemszerű, akár véletlen körülmények hatására túlnyomás keletkezik, amely nem haladhatja meg a tervezéskor megengedett, azaz számított, figyelembe vett nyomást. A tartály és a környezete védelme érdekében a nyomástartó edényeken biztonsági szerelvényeket kell elhelyezni, amelyek a káros többlet nyomást megfelelő leürítő rendszerbe továbbítják.



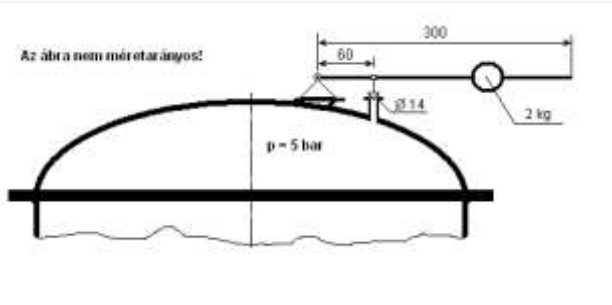
A legegyszerűbb biztosító szerelvény az **ellensúlyos biztonsági szelep**, amely egy csuklóban elforduló rúdra szerelt ellensúlyból, valamint a rudat felemelni képes szelepből áll. A tartályban lévő nyomásból származó nyitó nyomaték, és az ellensúly által kifejtett záró nyomaték egyensúlya határozza meg a nyitó nyomást. Az ellensúly a rúdon elmozdítható, így különböző nyitónyomás értékeket lehet vele beállítani.

A **rugóterhelésű biztonsági szelep** az előzőnél korszerűbb, és nagyobb biztonságot is nyújt. Itt a lefúvató szelep nyitását előfeszített rugó gátolja. Az előfeszítés nagyságától függ a nyitó nyomás.

A legnagyobb biztonságot a különleges szénötövetből készített **hasadó tárcsa** szolgáltatja. Hátránya, hogy csak egyszer lehet felhasználni, és a pontos nyitónyomás is csak statisztikai valószínűséggel határozható meg.

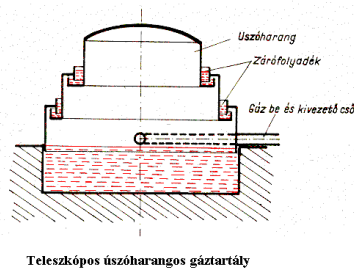
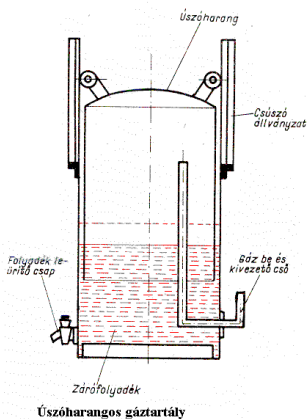


A tartályok biztonsági felszereléséről, nyomáspróbájának lebonyolításáról, üzembe helyezési eljárásáról, és egyáltalán a karbantartási feladatok végrehajtásáról jogszabályi erejű szabályzat, a **NYEBSZ** rendelkezik. (**Nyomástartó Edények Biztonsági Szabályzata**) Ez részletesen tartalmazza a különböző hatósági eljárások, tervezések, telepítési és szállítási előírásokat, és a tartályok biztonságos használatával kapcsolatos műszaki paraméterek gyűjteményét is.

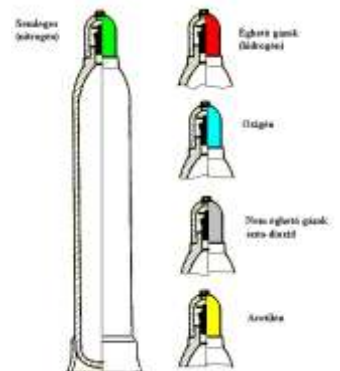
<p>Feladat:</p>  <p>Az ábrán zárt vegyipari tartály ellensúlyos biztonsági szelepének szerkezeti vázlatja látható. A szeleptányér 14 mm átmérőjű furatra fekszik fel. A tartályban 5 bar túlnyomás van. Határozza meg a 2 kg tömegű ellensúly távolságát a csuklóponttól, ha legfeljebb 2%-al szabad az üzemi nyomást túllépni! A kar és a szelelpalkatrészek tömege elhanyagolható!</p>	<p>Megoldás:</p> <ul style="list-style-type: none"> A lefűvőcső keresztmetszete: $\frac{d^2 \cdot \Pi}{4} = \frac{14^2 \cdot \Pi}{4} = 154 \text{ mm}^2 = 1,54 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ A nyitónyomás értéke: $P_{nyitó} = p + 0,02 \cdot p = 5 + 0,02 \cdot 5 = 5,1 \text{ bar} \quad \underline{5,1 \cdot 10^5 \text{ Pa}}$ Nyitóerő a szeleptányéron: $F = p \cdot A = 5,1 \cdot 10^5 \cdot 1,54 \cdot 10^{-4} = 78,5 \text{ N}$ Nyitónyomaték a csuklóban: $M_{nyitó} = F \cdot k_1 = 78,5 \cdot 0,06 = 4,71 \text{ Nm}$ Záró nyomaték a csuklóban: $M_{záró} = m \cdot g \cdot k_2 \text{ Nm}$ A nyomatékok egyensúlyából: $k_2 = \frac{M_{nyitó}}{m \cdot g} = \frac{4,71}{2 \cdot 9,81} = 0,240 \text{ m} \quad \underline{240 \text{ mm}}$
<p>Gyakorló feladat:</p> <p>Határozzuk meg az ellensúly helyét, ha a kar tömege 250 g, és hatása a biztonsági szelepre nem hanyagolható el!</p>	<p>Megoldás:</p> <p>A feladat megoldásánál vegyük figyelembe, hogy a nyomatékok számításánál a 250 gramm tömegű kar, mint megoszló terhelés növeli a záró nyomatékot!</p> <p><u>$(k_2 = 221 \text{ mm})$</u></p>

2.1.6. Gázok tárolásának készülékei

A különböző gázhalmazállapotú anyagok tárolására a folyadéktartályhoz hasonló eszközöket használhatunk, de van néhány lényeges eltérés is. A különbség abból fakad, hogy a gázok **összenyomhatók**, és a gáznyomás általában vagy kisebb, vagy lényegesen nagyobb, mint a folyadéktartályban vagy vegyi reaktorban létrehozott nyomás.



A léghőritől alig eltérő, túlnyomással jellemezhető gázokat nagyméretű fekvőhengeres tartályban, vagy **teleszkópos gáztároló** berendezésben tároljuk. A gömbtartályok nagynyomású gázok tárolására alkalmas, korszerű berendezések. A különböző műszaki feladatokra alkalmazott nagynyomású gázokat, mint például az oxigén, hidrogén, nitrogén vagy acetilén-gáz, palackokban tároljuk.



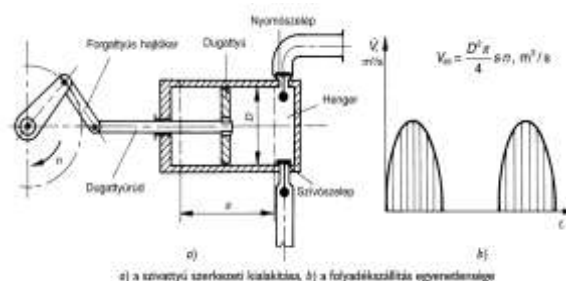
Kisebbs mennyiségű gázok tárolására és szállítására gázpalackokat használnak. A hosszúkás alakú, vastag falú tartályok nyomásálló kivitelben készülnek, alul peremes talpuk van, felső részükre pedig a gáz betöltésére és elvezetésére alkalmas szerelvényeket készítenek. A gáz sűrített folyékony vagy légnemű halmazállapotban van a palackban. A halmazállapot a szobahőmérsékleten való cseppfolyósítástól függ, de folyadékállapotban lényegesen több anyag tárolható a palackban, és a gáznyomás csak a hőmérséklettől függ.

2.2. FOLYADÉKSZÁLLÍTÁS, SZIVATTYÚK MŰKÖDÉSE ÉS SZABÁLYOZÁSA

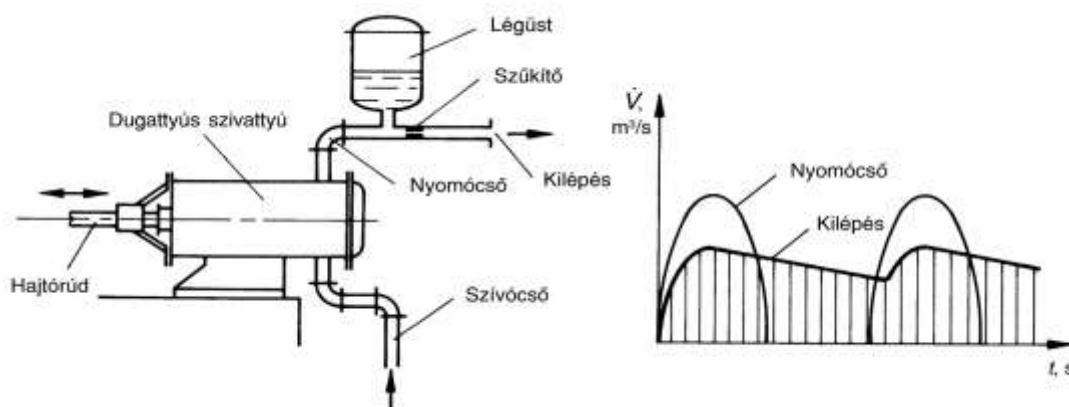
A folyadékszálításhoz szükséges energiát olyan gépek közvetítik, amelyek alkalmasak villanymotor vagy más erőgép működtetése által bevezetett mechanikai munkát a folyadék továbbítására fordítani. Ezeket a gépeket **szivattyúknak** nevezzük. A folyadékszálítás elve szerint megkülönböztetünk térfogat kiszorítás elvén működő, **volumetrikus**, illetve örvénylő, forgó mozgás elvén működő **centrifugál szivattyúkat**.

2.2.1. Dugattyús szivattyúk.

A térfogat kiszorítás elvén működő szivattyúk jellegzetes képviselője a dugattyús szivattyú. A zárt hengerben váltakozva előre és hátra mozgó dugattyú a megfelelően kialakított, egyirányú szelepek segítségével előbb beszívja, majd kinyomja a folyadékot. A szállított folyadék **átlagos** mennyisége a munkahenger térfogatától és a hajtókar fordulatszámától függ. A szállítás jellemzői:



- a szívó ütemben szünetelő szállítás miatt a folyadék a csővezetékben egyenetlenül, lüktetve áramlik;
- a szállított folyadék mennyisége nem függ a csővezeték terhelésétől, ellenállásától, ezért a dugattyús szivattyú szállítását nem lehet (és nem is szabad) szelepekkel szabályozni. Ha a csővezeték ellenállása túl nagy, a szivattyú fordulatszáma lecsökken, vagy a gép, illetve a hálózat tönkremegy!



A dugattyús szivattyúk egyenetlen szállítását **légüst** segítségével vagy **kétoldali** beömléssel kiegyenlíthető. A légüst működése a már korábban megismert RC-taghoz hasonló. A nyomócsőben elhelyezett fojtás miatt a folyadék egy része a zárt légüstbe kerül, megemelve benne a nyomást. Szívó ütemben a légüst nyomása a kilépés irányába továbbítja a „maradék” folyadékot. A kétoldali beömlés esetében a munkahenger mind a két oldalán találunk szelepeket, és amíg az egyik oldalon a dugattyú szívó, addig a másik oldalon nyomó ütemben dolgozik. Ennél a megoldásnál azonban a dugattyúrúd felőli oldalon a henger térfogata a rúd átmérőjének megfelelő térfogatrésszel kisebb, tehát a két oldal szállítását **aszimmetrikus!**

Feladat: $D=100$ mm átmérőjű, 70 mm lökethosszú dugattyús szivattyút $n=1440$ f/min fordulatszámú motorral hajtunk. Mennyi a szállított folyadék óránkénti mennyisége?

Megoldás:

A szállított mennyiség: $\dot{V} = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \cdot s \cdot \frac{n}{60} \cdot 3600$ [m^3/h]

Behelyettesítve: $\dot{V} = \frac{0,1^2 \cdot \pi}{4} \cdot 0,07 \cdot \frac{1440}{60} \cdot 3600 = \underline{47,5}$

Gyakorlás: $D=120$ mm átmérőjű, 100 mm-es lökethosszú szivattyút kétoldalasan működtetünk. A motor fordulatszáma: 1440 f/min, a dugattyúrúd átmérője 35 mm.

Mennyi a szállított folyadék óránkénti mennyisége?

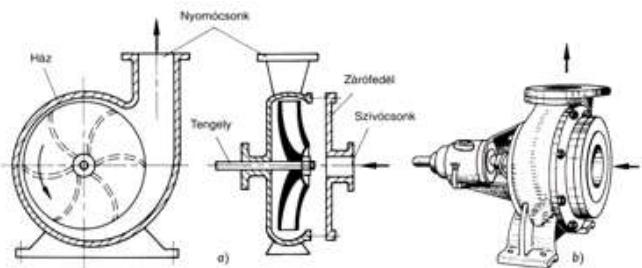
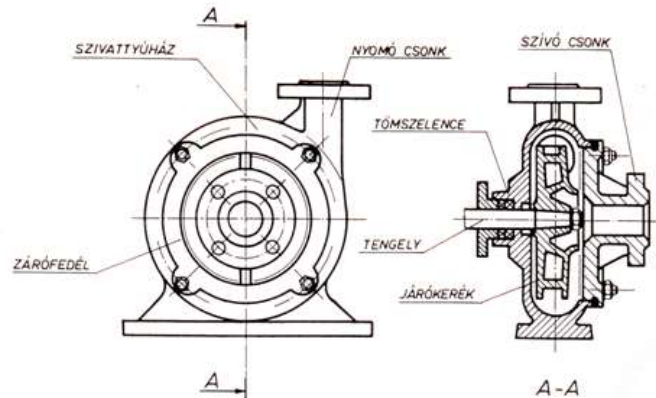
Mekkora az áramlás átlagos sebessége a szivattyúhoz csatlakozó NA 160-as csőben?

$\dot{V} = 187,1$ m^3/h $v = 2,9$ m/s

2.2.2. Centrifugál szivattyúk

A korszerű anyagmozgatási rendszerekben vegyipari és környezetvédelmi, illetve vízügyi iparokban a forgó áramlási teret létrehozó **örvény** vagy más néven **centrifugál szivattyúk** használatosak. Legegyszerűbb szerkezete a képen látható egylépcsős, radiális centrifugál szivattyúnak van.

A szivattyú tengelyére szerelt **járókerék** két tárcsa közé fogott lapátokat tartalmaz, amelyek a **szívócsonk** felől érkező folyadékot **gyorsítják** és a **nyomócsonkba** nyomják. A lapátozás egyenes vagy ívelt lehet a gépre tervezett áramlási jellemzőktől függően.

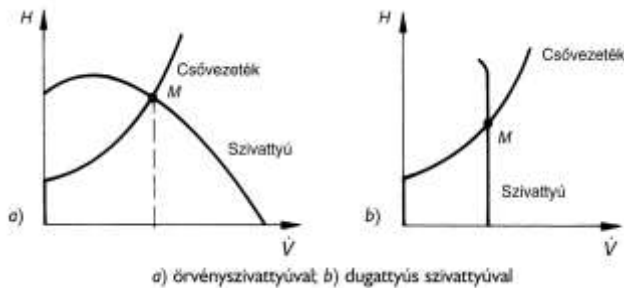


A szivattyú nyomócsonkján mérhető p vagy Δp nyomás egyenértékű a folyadékkal közölt energiával. Ez utóbbit **manometrikus szállítómagasságnak** nevezik: H [J/N] $H = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g}$

A szivattyúk járókereke sugárirányban lapátozott, azaz **radiális**, vagy propeller alakú, azaz **axiális** lehet. A radiális szivattyúval nagyobb szállítómagasságot, az axiálissal nagyobb szállítási mennyiséget lehet elérni.

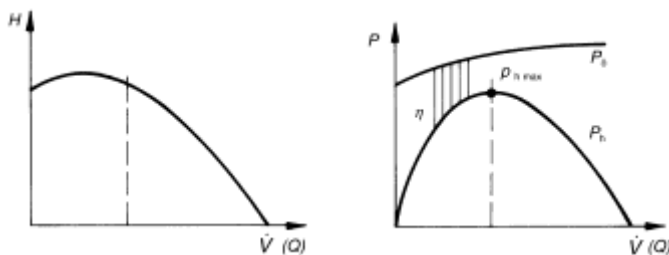
2.2.3. Szivattyúk munkapontja és teljesítménye

A szivattyúk üzemi tulajdonságait a szállított folyadék mennyisége és a folyadékkal közölt energia nagysága közötti függvénykapcsolattal lehet jellemezni. Ennek ábrája a **jelleggörbe**.



A centrifugál szivattyúk és a dugattyús szivattyúk jelleggörbéje alapvetően különbözik! A centrifugál szivattyú szállítási tulajdonsága a terheléssel változik. Kisebb nyomáshoz nagyobb szállítómennyiség tartozik, és fordítva. A dugattyús szivattyú szállítási kapacitása, mint erről már beszéltünk, terhelés független!

A következőkben a centrifugál szivattyúk (örvény szivattyúk) működési tulajdonságait tárgyaljuk.



Figyeljük meg, hogy a diagramok vízszintes tengelyén a térfogatáram jelölésére a régebben használt Q betű is látható!

időegység alatt mennyi munkát végez, mennyi energiát közöl. Ez az adat a ténylegesen hasznosuló energia-befektetésnek felel meg, tehát két esetben is nulla az értéke!

A baloldali ábrán látható két diagram közül az első a $H = f(V)$ függvény, az ún. jelleggörbe, míg a második diagramot **teljesítmény görbének** nevezzük.

A teljesítmény diagramon P_t a gép által felvett összes teljesítmény, és a P_h hasznos teljesítmény vonala is látható. A két érték hányadosa az **η hatásfok**.

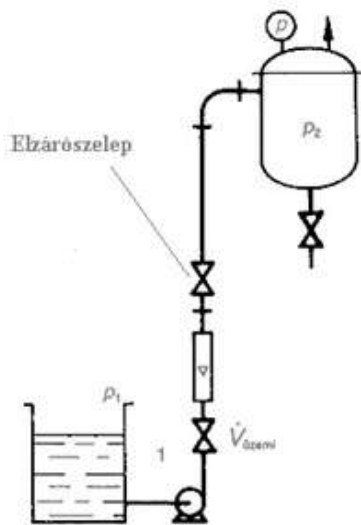
A szivattyú hasznos teljesítménye megmutatja, hogy a gép a folyadékkal

Először, amikor a szivattyú működik ugyan, de, például zárt szelep mellett, nem szállít, másodszer amikor szállít, de ehhez – elvben – nem szükséges energia. Ilyen eset lehet a veszteség nélküli vízszintes anyagmozgatás. Ezeknek a szállításoknak nincs gépi haszna! A hasznos teljesítmény tehát:

$$P = H \cdot \rho \cdot g \cdot \dot{V}, [W], \text{ újabban a szivattyú nyomását használva: } P = p \cdot \dot{V}$$

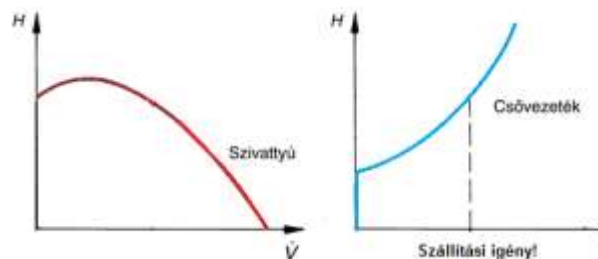
A szivattyú motorja által felvett összes teljesítmény mindig nagyobb, mint a hasznos teljesítmény. Az összes teljesítmény mérhető, a hasznos teljesítmény pedig a jelleggörbe pontjai alapján számítható. A szivattyú jelleggörbét viszont, szintén mérésrel állapítjuk meg.

A szállítási feladatot úgy értelmezzük, hogy a szivattyú a folyadékot az egyik tartályból átszállítja a másikba. A tartályok lehetnek azonos vagy különböző **nyomásúak**, nyitott és zárt kivitelűek. A szállítás során gyakran a **szintkülönbséget** is le kell küzdeni, és előfordulhat, hogy a csővezeték átmérője is változik, aminek **sebességváltozás** a következménye. Végül a csőhálózat **vesztességét** is a szivattyú által közölt energia fedezi.

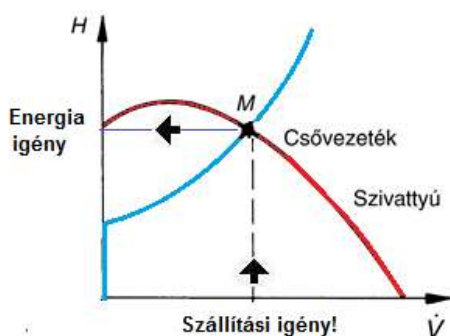


A szállítás teljes energiáigénye (ld. az 1.3.3. fejezetben is):

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



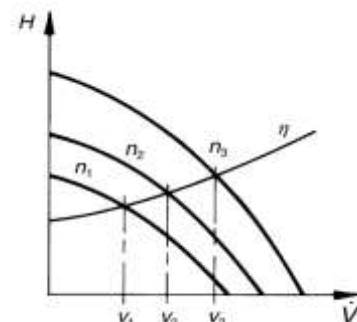
A szivattyú jelleggörbe megmutatja, hogy a gép mennyi energiát tud közölni a folyadékkal, míg a csővezeték jelleggörbe azt mutatja, hogy a szállításhoz mennyi energiára van szükség!



Ha a két diagramot közös koordináta-rendszerben ábrázoljuk megkapjuk a szállítási jelleggörbét! A két görbe metszéspontját **munkapontnak** nevezzük! Ezzel a módszerrel lehet kiválasztani, vagy minősíteni a szivattyúkat.

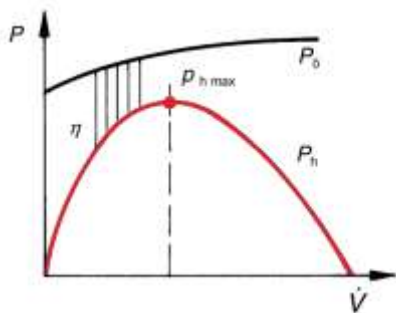
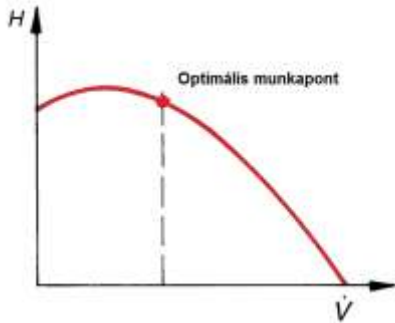
A szivattyú jelleggörbe fontos tulajdonsága, hogy íve, nagysága a gép fordulatszámaival változik. Nagyobb fordulatszámon a jelleggörbe íve is nagyobb, a görbék többé-kevésbé egymással párhuzamosan eltolódnak!

Ez a tulajdonság lehetővé teszi, hogy **változó igényű üzemeltetésnél**, például egy vízműben, a folyadék mennyiségét ne szelepekkel, hanem a szivattyú fordulatszámának változtatásával szabályozzuk. A képen látható, hogy a $V_1, V_2 \dots$ stb. térfogatáramokhoz $n_1, n_2 \dots$ stb. fordulatszámon kell járattani a szivattyút. Ez lényegesen energiatakarékosabb megoldás, mint a szelepes szabályozás. Az ábrán is látható, hogy a kevesebb mennyiséghez kevesebb energia kell. (Kisebb a H értéke)



2.2.4. A szivattyú optimális munkapontja:

A szivattyú teljesítmény diagramján látható (ld. feljebb), hogy a két nulla érték között a hasznos teljesítménynek létezik egy $P_{h,max}$ értéke is. Miután a hatásfok a hasznos és a felvett teljesítmények hányadosa, könnyű belátni, hogy a szivattyút a legjobb hatásfoknak megfelelő, legnagyobb hasznos teljesítményű pontban célszerű működtetni. Ez az optimális munkapont.



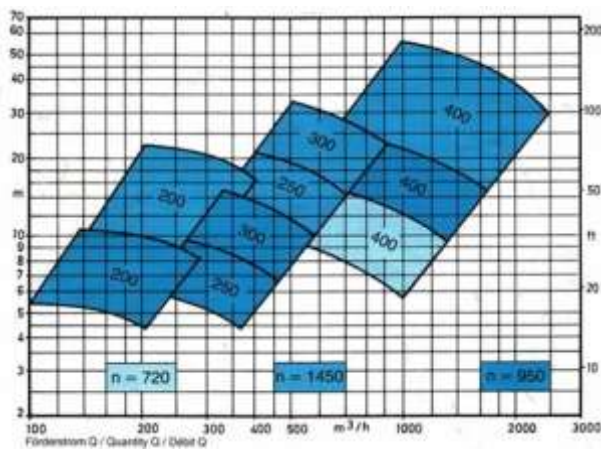
A szivattyúk vizsgálatának célja az optimális munkapont meghatározása. Elvben a szivattyút úgy vásároljuk meg, hogy az optimális üzemeltetési körülmények ismertek, és így az optimális fordulatszám és az optimális munkapont is ismert adat. A gyakorlatban mégis előfordul, hogy a gépet az eredeti gyári adatoktól eltérő körülmények között kell működtetnünk, vagy változik a felhasználási technológia, és ilyen esetben szükség lehet az optimálistól eltérő adatok megállapítására, vagy az **optimális munkapont kiterjesztésére**.

Ez utóbbi alatt azt értjük, hogy a szivattyú valamilyen fordulatszámon ismert munkaponti adataiból kiszámítható egy másik fordulatszám munkapontja. Ezt nevezzük **affinitási szabálynak**:

$$\dot{V}_2 = \frac{n_2}{n_1} \cdot V_1, \quad \text{illetve} \quad H_2 = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \cdot H_1, \quad \text{ahol } n_2/n_1 \text{ a}$$

fordulatszámok aránya.

Az ábráról látható, hogy a szivattyúk csak egy szűkebb tartományban működtethetők jó hatásfokkal.

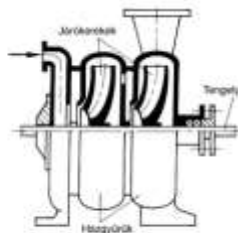
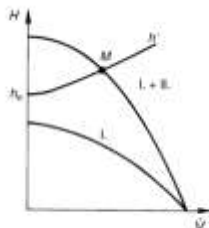


A szivattyúgyártók termékeik katalógus lapjain általában csak azokat a jelleggörbe tartományokat tüntetik fel, amelyen belül a szivattyú jó hatásfokkal működtethető. Erre látunk példát a baloldali ábrán. A színes ábraelemek NA 200, 250, 300 és 400 mm névleges csatlakozó-cső átmérőjű szivattyúk különböző fordulatszámon mért jelleggörbe tartományait mutatják.

Az ábra szerint **például** 1000 m³/h vizet 10 J/N energiaigény esetén az NA 400-as csatlakozó csomaggal felszerelt szivattyú képes szállítani n = 720 f/min, percnkénti fordulatszámon. Ugyanez a szivattyú 1000 m³/h vizet több mint 50 J/N energiával szállít 1450 f/min fordulatszámon.

2.2.5. Szivattyúk sorba kapcsolása, a nyomómagasság növelése:

A centrifugál szivattyúk nyomómagasság két vagy több szivattyú sorba kapcsolásával növelhető. Az ábra szerinti jelleggörbén látható, hogy a szállított mennyiség nem változik, de a nyomómagasság két szivattyú esetében megkétszereződik. Több szivattyúval háromszoros, négyszeres növekedés is elérhető.



Általában a szivattyúk járókerekeit közös tengelyre szerelik, és az áramlási út sorba kapcsolását a szivattyúház öntvényében kialakított csatornákkal biztosítják.

Párhuzamosan kapcsolt szivattyúknál a szállítási mennyiség növelhető, de a gyakorlatban csak axiális járókerekes szivattyúkat szoktak párhuzamosan kapcsolni, és legfeljebb két vagy három gépet.

Feladat: Egy szállítási feladatban óránként 300 m^3 vizet szállítunk az alsó, légköri nyomású tartályból a 8 méterrel magasabb helyen lévő, 0,6 bar túlnyomású felső tartályba. A csővezeték átmérője NA 150, hossza 14 m. Számítsuk ki a szivattyú hasznos teljesítményét!

Megoldás: A feladathoz a 37. oldalon látható kapcsolási rajz, és összefüggések használhatók:

1. A szivattyú statikus nyomómagassága:

$$H_{st} = (h_2 - h_1) + \frac{(p_2 - p_1)}{\rho \cdot g} = (8 - 0) + \frac{0,6 \cdot 10^5 - 0}{1000 \cdot 9,81}$$

$$H_{st} = 14,12 \text{ J/N}$$

2. Az áramlási sebesség:

$$v = \frac{\dot{V}}{\frac{d^2 \cdot \pi}{4}} = \frac{\frac{300}{3600}}{\frac{0,15^2 \cdot \pi}{4}} = 4,72 \text{ m/s}$$

3. Az áramlási Reynold-szám:

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\eta} = \frac{4,72 \cdot 0,15 \cdot 1000}{0,001} = 707 \text{ 000}$$

4. A cső ellenállás-tényezője 0,03 értékre vehető!

5. A szivattyú dinamikus nyomómagassága:

$$h' = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0,03 \cdot \frac{14}{0,15} \cdot \frac{4,72^2}{2 \cdot 9,81} = 1,7 \text{ J/N}$$

6. A manometrikus nyomómagasság:

$$H_{st} + h' = 17,3 \text{ J/N}$$

7. A szivattyú hasznos teljesítménye:

$$P_h = H \cdot V \cdot \rho \cdot g = 17,3 \cdot \frac{300}{3600} \cdot 1000 \cdot 9,81$$

$$P_h = 14134 \text{ [W]}, \text{ azaz } 14,1 \text{ kW}$$

Gyakorló feladat

1. Válasszunk szivattyút a szállítási feladathoz az előző oldalon található katalógus lapról!

Vizsgáljuk meg az áramlási viszonyok és a teljesítményszükséglet változását, ha a katalógus szerinti szivattyút alkalmazzuk!

Hány százalékkal csökken a teljesítmény szükséglet?

Megoldás:

(A katalógusból az NA 200-as szivattyú 1450 f/min fordulatszámú motorral megfelelő.)

$$(H = 14,9 \text{ J/N}, Re = 530 \text{ 000}, P = 12,15 \text{ kW})$$

2. 2 km hosszú NA 300-as csővezetékben azonos szinten álló nyitott tartályok között kőolajat szállítunk. ($\rho = 800 \text{ kg/m}^3$, $\eta = 0,02 \text{ Pa.s}$) Határozzuk meg a szükséges motor teljesítményt, ha az összes gépi hatásfok 86%!

$$(H = 39,35 \text{ J/N}, Re = 23579, P = 49,8 \text{ kW})$$

3. 12 méter magasan elhelyezett nyitott adagoló tartályból óránként 20 m^3 glicerint adagolunk ($\rho = 1260 \text{ kg/m}^3$, $\eta = 0,46 \text{ Pa.s}$) egy 2 bar túlnyomással működő vegyipari készülékbe! Az adagoló cső mérete NA 50, hossza 15 méter! Határozzuk meg a szükséges motor teljesítményt, ha az összes gépi hatásfok 83%!

$$(H = 24,4 \text{ J/N}, Re = 388, P = 2,02 \text{ kW})$$

Feladat: Egy nyitott tartályból 40 méter magasan elhelyezett zárt készülékbe szállítjuk a $\rho = 850 \text{ kg/m}^3$, $\eta = 0,018 \text{ Pa.s}$ viszkozitású folyadékot. (pl. olaj). A tartályban a túlnyomás 3 bar. A csővezeték teljes hossza 60 méter, átmérője NA 40 ($d=40 \text{ mm}$). A csőben az áramlási sebesség a 3 m/s értéket nem haladhatja meg. Határozzuk meg a szállítható folyadék mennyiségét és a szivattyú motor teljesítményét, ha a szállítás teljes hatásfoka 75%, és a szállítási sebességet is figyelembe vesszük!

Megoldás: Az eddigi feladatoknál a szállítás sebességét nem vettük figyelembe, részben azért, mert feltételeztük, hogy a csővezeték mindenhol azonos átmérőjű, másrészt az energiaváltozásnak ez a tagja általában elhanyagolható a helyzeti és nyomási energiaváltozáshoz képest. A pontos számításoknál azonban, azt feltételezve, hogy az adagoló tartályban a folyadék áramlási sebessége a csővezetékhez képest 0 m/s , a sebességváltozás okozta energiaigény is figyelembe vehető, azaz:

$$H = (h_2 - h_1) + \left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot g} \right) + \frac{p_2 - p_1}{\rho \cdot g} + \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \right) \text{ (végezzük el a számításokat!)}$$

$$H = 97,03 \text{ [J/N]};$$

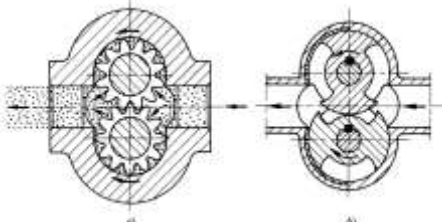
$$V_{max} = 13,55 \text{ [m}^3\text{/h]}$$

$$P_h = 2046 \text{ [W]}$$

$$P_{motor} = 4,06 \text{ [kW]}$$

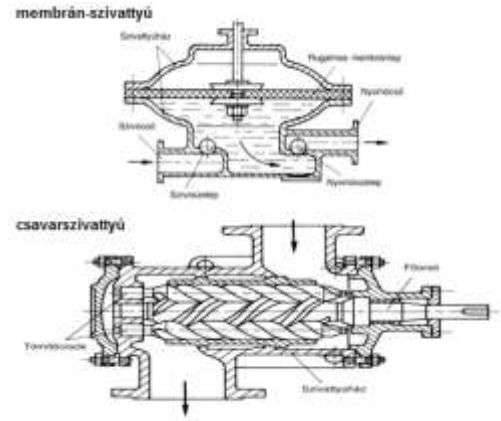
2.2.6. Különleges vegyipari szivattyúk:

Nagy sűrűségű vagy viszkózus folyadékok, masszák továbbítására alkalmazzák a **membrán** és az egy- és kétszaváros **csavarszivattyúkat**. A membránszivattyúk állandó mennyiség továbbítására, adagolásra használhatók, működésük terhelés-független. A csavarszivattyúkat főleg meleg, képlékeny anyagok, például műanyag extruderek, fröccsöntők anyagellátására alkalmazzák.

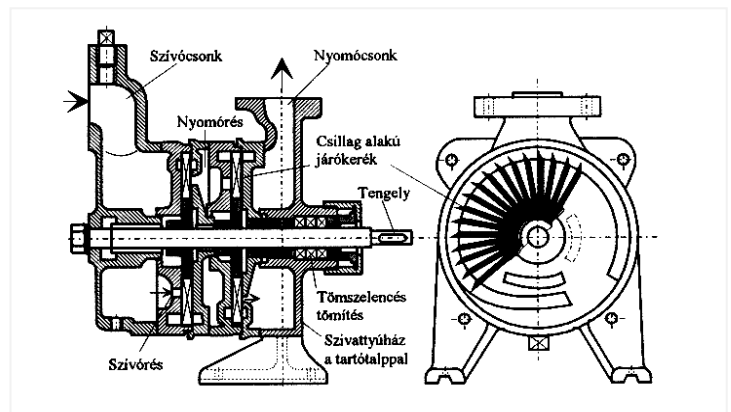


Állandó terhelésű adagolásra használják a **fogaskerék szivattyút**, illetve univerzális célokra az **oldalcsatornás szivattyúkat**.

Ez utóbbiakat a szakzsargon Si-Hi szivattyúnak is nevezi!



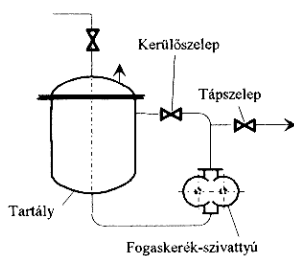
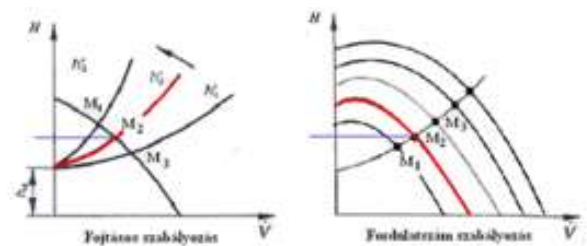
Az oldalcsatornás szivattyú lényegében az örvényszivattyúkhöz hasonló elven működik, de a térfogat kiszorítás elvét is kihasználja. A szivattyú csillag alakú járókereke gyűrű-szerűen kialakított szivattyúházban forog. A szivattyúház oldalán változó keresztmetszetű, ívelt csatornákat készítenek. A folyadék a tengelyhez közelebb eső csatornán lép be, majd a járókerék gyorsító hatására az ellenkező oldali házrészben kialakított csatornán távozik. A járókerékén a centrifugális gyorsítás érvényesül, viszont az oldalcsatornában a sebességi energia a térfogatváltozás miatt alakul át nyomási energiává. Több fokozat alkalmazásával a szivattyú nyomása növelhető. Az oldalcsatornás szivattyú **önfelszívó**, ezért elsősorban vízszállításra, tartályból, medencéből való víz szivattyúzására használják.



2.2.7. A folyadékszállítás szabályozása

A folyadékszállítás szabályozásának célja, hogy a technológia által kívánt mennyiséget a környezet zavaró hatásai ellenére állandó értéken tartsuk. Az ilyen szabályozást **értéktartó szabályozásnak** nevezzük. Szivattyúval megvalósított szállítás esetében a szabályozás technikai megoldásai:

- az áramlás útjába helyezett szelep nyitásával - zárásával, tehát a szelepet mozgató orsó elmozdulásával;
- a szivattyút működtető motor fordulatszámának változtatásával;
- az áramló anyagmennyiség egy részének megkerülő vezetékes visszaáramoltatásával.



A fojtásos szabályozásnál szivattyú nyomócsonkján után elhelyezett szeleppel változtatják a csővezeték ellenállását. A szelep zárásával a csővezeték-jelleggörbe meredeksége emelkedik, és a munkapont a szivattyú-jelleggörbén balra tolódik, azaz a mennyiség csökken. A fordulatszám-változtatás esetében a csővezeték-jelleggörbe nem változik. A fordulatszám növelésével a szivattyú-jelleggörbe jobbra tolódik, a szállított mennyiség az új munkapontban nagyobb lesz. Ez a szabályozási mód drágább, de az üzemeltetése gazdaságosabb. A megkerülő vezetékes szabályozáshoz kiegyenlítő tartályt alkalmaznak. A szivattyú nyomócsonkjáról egy szeleppel vezetik vissza a folyadékot a tartályba.

2.3. KEVERÉS, KEVERŐS KÉSZÜLÉKEK, DUPLIKÁTOROK

A keverés fontos vegyipari alpművelet. Fő **célja** az anyagok valamilyen szempontból való homogenizálása. Ilyen feladattal találkozunk például a különböző fázisokban végbemenő reakciók sebességének növelésénél, az egyenletes eloszlású emulziók készítésénél, a sűrű anyagok melegítését követően a gyors lehűlés megakadályozásánál stb.

A keveréstől elvárjuk, hogy a hőmérséklet vagy a koncentráció a keverési téren belül mindenütt azonos legyen. A keveréssel elérhetjük, hogy például a kémiai reakciók tökéletesen menjenek végbe, Vagyis mindegyik részecske megtalálja a reagálandó párját.

2.3.1. A keverés célja, típusai:

- Különböző eloszlású anyagalmazok elegyítése;
- Szilárd anyag feloldása;
- Hőmérséklet kiegyenlítése;
- Intenzív hőtadás;
- Egyenletes koncentráció eloszlás stb. érdekében

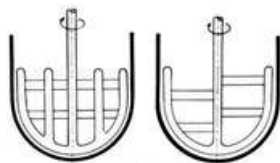
Jellemző típusai:

- Folyadékok keverése: tartályszerű készülékekben
- Gázok keverése: keverőcsőben
- Szilárd halmazok keverése: levegőáramban

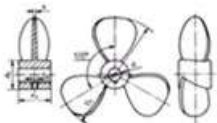
A képen egy fűtőköpennyel ellátott keverős készülék (duplikátor) látható. Az elegyítésen kívül gyakran szakaszos gyártási technológiákban vegyipari reaktorként is alkalmazzák. A készülék fedelére szerelt állványon kapott helyet a motor, és a keverő szükséges fordulatszámát biztosító fogaskerekes hajtómű.



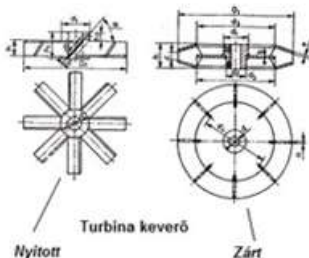
2.3.2. Folyadékok keverése:



Kalodás keverők



Propeller keverő



Turbina keverő

Nyitott

Zárt

A folyadékok keverésére alkalmas készülékek tartályszerű vegyipari berendezések, amelyekre különleges állvány-szerkezettel rögzítik a **keverőt**. A tengelyt megfelelő **tömítéssel** keresztül vezetik a tartály belsejébe. A tengely végére szerelik a **keverőelemet**.

A keverő alakja elsősorban a kevert anyag tulajdonságaihoz igazodik:

- Sűrűség;
- Viskozitás;
- Keverési intenzitás szükségessége (fordulatszám);

A készülék gyakran hűthető vagy fűthető, és fontos a tartály fala melletti intenzív anyagáramlás.

A keverőket fordulatszám szerint kis, közepes és nagy fordulatszámú kategóriákba soroljuk:

- A kis fordulatszámú (5-20 f/min) keverők karos, rudas kialakításúak (pl. kalodás vagy horgonykeverő);
- A közepes fordulatszám (100-1000 f/min) típuskeverője a propellerkeverő;
- A nagy fordulatszámú kategória képviselője a tárcsás (nyitott vagy zárt) turbinakeverő, 1000 f/min felett.

A keverős készülékek üzemeltetésénél két szempontot veszünk figyelembe:

- Mekkora energia kell a működtetéshez (azaz mennyibe kerül az üzemvitel);
- Milyen hatékonyságú a keverő (azaz mennyi idő alatt végzi el a feladatot).

2.3.3. A keverés teljesítménye:

A keverés teljesítményét a keverő átmérője, a keverés fordulatszáma és a kevert folyadék sűrűsége ismeretében lehet meghatározni. A képletben található ξ keverési együttható (görög 'kszi' betű) alapvetően az áramlás jellegétől függ, de a berendezés geometriai aránya is befolyásolja. A teljesítmény szükségletre alkalmazott összefüggést a keverőelemen fellépő erőviszonyok alapján állapították meg. Valójában az ellenállás-tényezőn kívül még egyéb körülmény is befolyásolja, de egyszerű számításokra éppen megfelel.

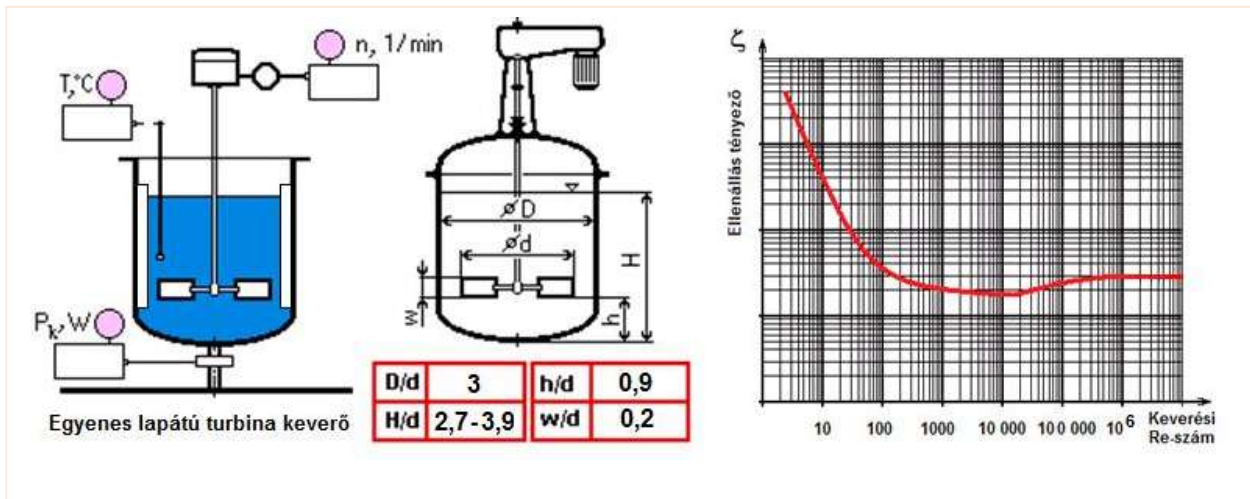
$$P = \xi \cdot d^5 \cdot n^3 \cdot \rho$$

ahol:

- P – teljesítmény [W]
- d – keverőátmérő [m]
- n – fordulatszám [1/min]
- ρ – folyadék sűrűség [kg/m³]

2.3.4. Folyadékkeverők ellenállás-függvényei

A keverés ellenállás-tényezője a keverő által létrehozott áramlási **Reynold-szám** függvénye. Minden készülék összeállításához és keverőtípushoz tartozik egy diagram és egy arányossági táblázat. Minden diagram csak a felvételéhez használt modellkészülék geometriai arányait betartva érvényes. A diagramlapokat szabványban rögzítik.



A geometriai hasonlósági viszonyítás alapja a **keverő átmérője (d)**. A viszonyítási értékek a tartályátmérő (D), a folyadékszint (H), és a keverő egyéb geometriai adatai (h, w). A diagram felvételét, és ezzel például egy keverőelem szabványosítását modell-kísérleti berendezéssel végezhetjük el. A készülékek előre rögzített geometriai arányok mellett alkalmasak a hőmérséklet, a fordulatszám és a keverési teljesítmény mérésére. A teljesítményt egyes készülékeknél a keverő által a folyadékra kifejtett forgatónyomaték közvetlen méréséből is meghatározhatják.

A keverő ellenállás-tényező értékeit a Reynold-szám függvényében ábrázoljuk. Ez általánosabb, mintha csak a fordulatszám változását vennénk figyelembe. A keverési Reynold-szám kiszámításánál a keverő kerületi sebességével számolunk, de a Π értéket nem vesszük figyelembe!

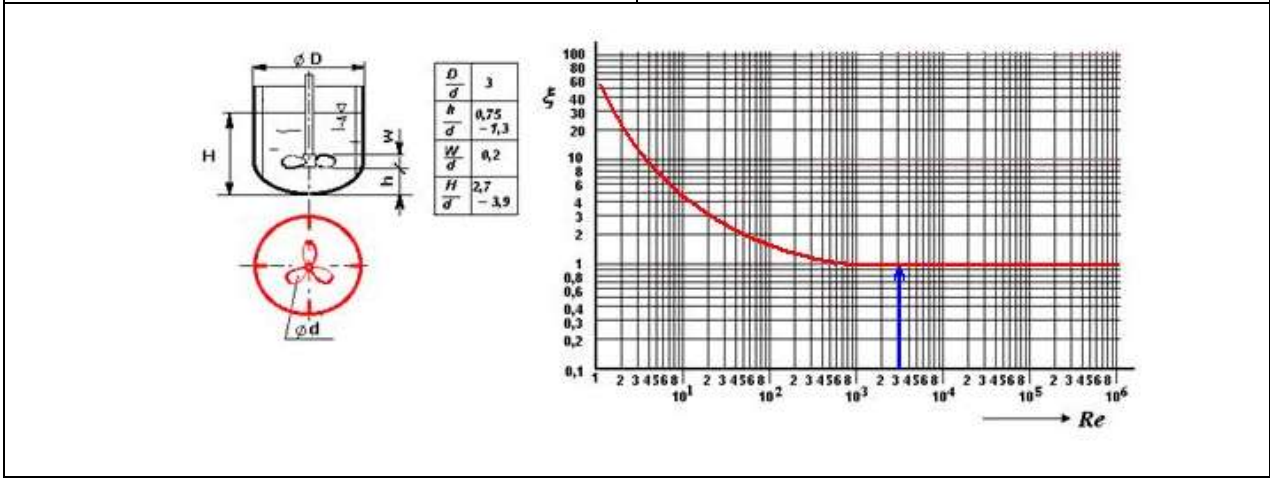
$$Re = \frac{d^2 \cdot n \cdot \rho}{\eta}$$

A fenti ábrán látható keverős készülékben a folyadék áramlását a tartály belső oldalára szerelt áramlási torló-lapokat is alkalmazták. Ez megakadályozza az **tölcsérhatás** kialakulását. Ha nem alkalmaznak torló-lapot, akkor az ellenállás-tényező függvényt további hasonlósági feltételekkel kiegészítve kell megállapítanunk.

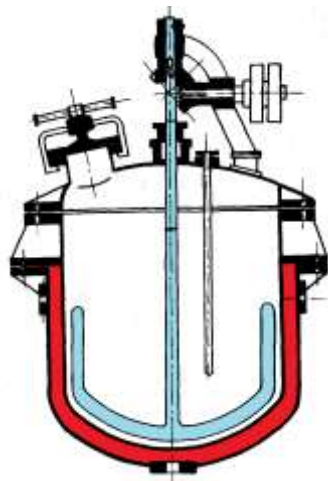
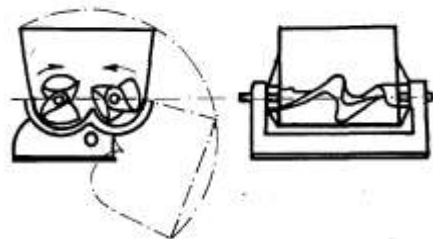
2.3.5. A keverés hatékonysága

A **keverés hatékonysága** alatt lényegében a keverési cél eléréséhez szükséges idők összehasonlítását értjük. Például: milyen alakú keverővel lehet gyorsabban feloldani valamilyen anyagot, vagy hamarabb elérni az üzemi hőmérsékletet stb.

<p>Feladat: 1,5 m³ glicerint propeller keverővel keverünk. Határozzuk meg a keverős készülék fő méreteit és a keverés elméleti teljesítmény szükségletét, ha a keverő percnkénti fordulatszáma 400 f/min! (A glicerín sűrűsége = 1260 kg/m³, dinamikai viszkozitása = 0,462 Pa.s)</p> <p>A lenti ábra alapján a hasonlósági értékek:</p> <p>$D/d = 3$, $H/d =$ választható 2,7-3,9 között, mi a $H/d = 3$ értéket választottuk. Így a készülék karcsúsága: $f = H/D$ alapján: $f = 1$</p>	<p>Megoldás:</p> <p>A tartály mérete a $V = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \cdot f \cdot D$ alapján:</p> $D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot f}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 1,5}{\pi \cdot 1}} = \underline{1,24 [m]}$ <p>A keverő átmérője: $d = D/3 = \underline{0,41 [m]}$</p> <p>A keverési Reynold-szám : $Re = \frac{0,41^2 \cdot \frac{400}{60} \cdot 1260}{0,462}$</p> <p>$Re = 3190$ ζ értéke a diagramból: $1,02$</p> <p>A keverés teljesítménye:</p> $P = 1,02 \cdot 0,41^5 \cdot \left(\frac{400}{60}\right)^3 \cdot 1260 = \underline{4411 [W]}$
--	---



Sűrű, pépes, masszaserű anyagok, tészták keverésére **dagasztó** gépeket használnak. Ennek jellegzetes képviselője a **Z-karú** keverő, amelynek acélöntvényből készült keverőelemei egymással szembe forogva fejtik ki a keverőhatást. A művelet végén a kevert anyag a billentővel üríthető ki a készülékből.



A folyadékkeverőket gyakran kombinálják **fűtő-hűtő rendszerrel**. Az állóhengeres tartály kettős köpenyű, a külső köpeny, (egy termoszedényhez hasonló szerkezeti kialakítás) alkalmas gőzzel való fűtésre, vagy vízzel való hűtésre.

A bal oldali ábrán erre látunk példát. A gőzfűtésű keverős készülékben a folyadékot, például valamilyen szerves reakció anyagait, lassú fordulatszámu, zománczott horgony (anker) keverő keveri. A melegítést a belső és külső köpeny között kialakult fűtőtérbe vezetett gőzzel végezzük. A tartály tetején megfigyelhető a nagyméretű kezelő, vagy másképpen búvó nyílás. A zománczott, vastag falú készülék záró elemeit karimakötéssel csatlakoztatjuk, és az ábrán a karimák lemezes merevítése is látható. A keverő hajtóművét szíjhatás kapcsolja a motorhoz.

2.4. HIDROMECHANIKAI SZÉTVÁLASZTÓ MŰVELETEK

A vegyiparban különféle halmazállapotú anyagokat dolgozunk fel. Gyakori eset, hogy egymással nem elegyedő, folyadékot és szilárd, szemcsés anyagot tartalmazó félkész termékek keletkeznek, amelyek alkotóit mechanikai úton választjuk szét egymástól. Jellemző eset a szilárd-folyadék, heterogén rendszer – szuszpenzió – szétválasztása ülepítéssel, szűréssel vagy centrifugálással, illetve folyadékemulzió szétválasztása elsősorban centrifugálással, ritkábban ülepítéssel.

2.4.1. A művelettípus fogalma, közös és elkülönülő jellemzői

- Hidromechanikai elven működő szétválasztó műveletek;
- Heterogén (szilárd-folyadék, vagy nem elegyedő folyadékpár szétválasztására)
- Fizikai erőterben – a szemcsére ható erők egyensúlya alapján:
 - Gravitációs erőterben – ülepítés
 - Forgó rendszerekben – centrifugálás
- Nyomáskülönbség hatására – szűrés;
- Esetenként kombinált szétválasztás – porleválasztó ciklon;
- A műveleti teljesítmény a kontinuitási elv alapján határozható meg;
- Erősen befolyásolja a műveletet az áramlás jellege.

A műveletek közös jellemzője, hogy **folyadék vagy gáz áramlási térben** hajtjuk végre.

Az áramlási terek jellemző tulajdonsága a folytonosság (kontinuitás), amely az áramlási keresztmetszet és a sebesség ismeretében összefüggésében is meghatározható. **A kontinuitási tétel** egyúttal az áramló anyag mennyiségét is meghatározza, ami a hidromechanikai műveleteknél tulajdonképpen a **műveleti „teljesítményt”**, az alkalmazott berendezés feldolgozó-képességét vagy teljesítőképességét fejezi ki:

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 = \dots = A_n \cdot v_n$$

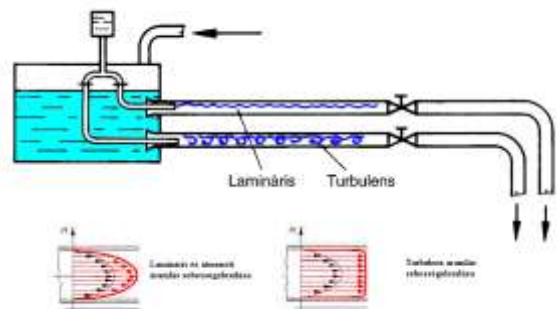
Ebből a **teljesítőképesség** (teljesítmény):
(mértékegysége m^3/s vagy m^3/h)

$$\dot{V} = v \cdot A$$

A műveletek teljesítménye közötti különbséget lényegében a műveleti sebességek különbözősége jelenti. Más módon értelmezzük és határozzuk meg az ülepítés, más a szűrés és megint más a centrifugálás sebességét. Természetesen a berendezések **aktív felületének** értelmezése között is van különbség.

A hidromechanikai műveletekre általában jellemző a **lamináris** áramlási körülmény. Ez különösen az ülepítésnél és a centrifugálásnál lényeges, ahol értelem-szerűen romlik a szétválasztó képesség, ha az ülepítendő zagyot, például felkavarjuk!

Az ábrán látható kísérleti berendezés a lamináris és **turbulens** áramlási kép közötti különbséget, valamint a folyadék csőben való mozgáskor a sebesség eloszlását szemlélteti. Az áramlási Re-szám:



$$Re = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\eta}$$

A Re-szám meghatározásánál ülepítés esetében a „D” átmérőjű, vagy ezzel egyenértékű*, kerekfelületű készülék átmérőjét, míg sebesség esetében a bevezetett folyadék áramlási sebességét értjük. Ez nem azonos a műveleti sebességgel!

* Az egyenértékű felületből számolt átmérő, azaz **egyenértékű átmérő** fogalma azt jelenti, hogy a tetszőleges alakú, például négyzet vagy téglalap alaprajzú készülék felületével azonos felületű kör átmérője!

Feladat:

Egy ülepítő medence 5 méter hosszú, 2 méter széles. A folyadék átlagos mélysége 0,4 méter. Mekkora az áramlási Re-szám, ha az ülepített folyadék mennyisége $1 m^3/h$?

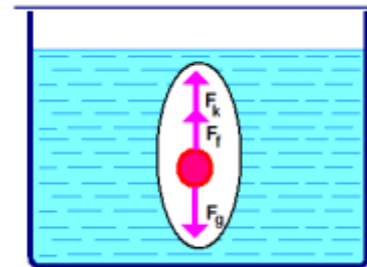
Megoldás:

Nyilvánvaló, hogy az 5 méteres készülékhoossznak nincs jelentősége. Az áramlásra merőleges keresztmetszet: $A = 2 \cdot 0,4 = 0,8 m^2$. Az ennek megfelelő kör átmérője: $D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,8}{\pi}} = \underline{1 m}$ A számítás további része már ismert: **$Re = 350,4$**

2.4.2. Az ülepités

Az ülepités meglehetősen egyszerű szétválasztó művelet. Folyadékterben mozgó, a folyadéknál nagyobb sűrűségű szemcsés anyag lassú mozgással halad az edény alja irányában a gravitációs erőter hatására. Jellemzői:

- Heterogén folyadékrendszer szétválasztása;
- A szemcsére gravitációs, felhajtó és közegellenállási erő hat;
- A szemcsére ható erők egyensúlyban vannak;
- A szemcsé állandó sebességgel ülepszik;
- Az áramlási kép lamináris;
- Az ülepedő anyag:
 - o d - átmérőjű szemcsé;
 - o ρ_{sz} – sűrűségű anyagból;
 - o ρ_f – sűrűségű folyadékban;
 - o η –viszkózitású folyadékban ülepszik.

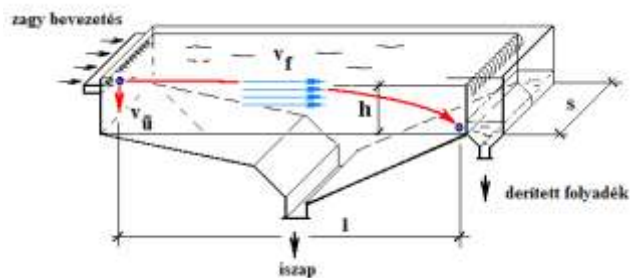


Az ülepedési sebesség:

$$v = \frac{d^2 \cdot (\rho_{sz} - \rho_f) \cdot g}{18 \cdot \eta}$$

Az erőegyensúlyt a gravitációs erő és a felhajtó, valamint közegellenállási erő összege hozza létre. Ebből gömb alakú szemcsére levezethető a baloldalon látható ülepedési sebesség képlet. Fontos megjegyezni, hogy az erőegyensúly az **állandó sebességgel** ülepedő szemcsét, nem a lebegést határozza meg!

Az ülepedés feltétele a lamináris áramlás. A jobb oldali ábrán látható ülepitő medence rajzán lehet megfigyelni a folyamatos üzemű ülepitő működését. Az ülepitendő szemcsé pályáját a v_u ülepedési sebesség és a v_f folyadék áramlási sebesség együtt határozza meg. Az áramlási sebességet úgy kell megválasztani, hogy a szemcsé végighaladva az „ l ” hosszúságú medencén, közben „ h ” utat süllyedjen. A derített folyadék az „ s ” szélességű gát felett bukik át. A függőleges irányú áramlás Reynold száma általában az „ l ” érték alatt van, és a vízszintes irányú sem lehet nagyobb 1000-nél.

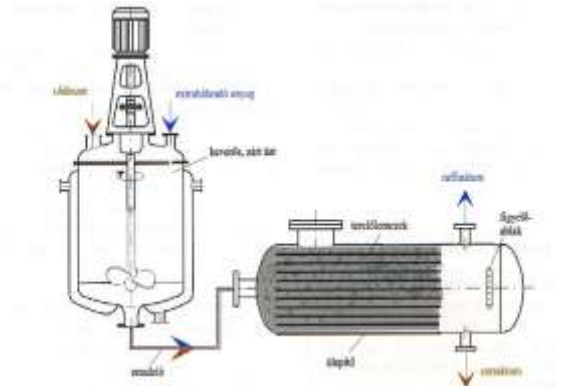


<p>Feladat: Számítsuk ki annak a vizes szuszpenzióknak az ülepedési sebességét, amely 2300 kg/m^3 sűrűségű, $50 \mu\text{m}$ átmérőjű szemcsés anyagot tartalmaz és a viszkozitása $0,0015 \text{ Pa}\cdot\text{s}$!</p> <p>Számítsuk ki az ülepitő teljesítményét, ha a Dorr típusú készülék 14 m átmérőjű!</p> <p>Ellenőrizzük, hogy az ülepités körülményei megfelelnek-e lamináris ülepedési feltételnek!</p>	<p>Megoldás</p> <p>Az ülepedési sebesség: $v = \frac{d^2 \cdot (\rho_{sz} - \rho_f) \cdot g}{18 \cdot \eta} \text{ m/s}$</p> <p>Értelemszerűen a folyadék sűrűsége vizes szuszpenzió esetében a víz sűrűsége, így:</p> $v = \frac{0,000050^2 \cdot (2300 - 1000) \cdot 9,81}{18 \cdot 0,0015} = \underline{0,00118 \text{ m/s}}$ <p>Az ülepitő teljesítmény: $\dot{V} = v \cdot A \text{ [m}^3/\text{s]}$</p> $\dot{V} = 0,00118 \cdot \frac{14^2 \cdot \pi}{4} = 0,182 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ azaz } \underline{654 \text{ m}^3/\text{h}}$ <p>Az áramlási Re-szám: $Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\eta}$</p> $Re = \frac{0,00118 \cdot 0,00005 \cdot 1000}{0,0015} = \underline{0,04} < 1, \text{ tehát az áramlás lamináris, a feltételnek megfelelő!}$
--	--

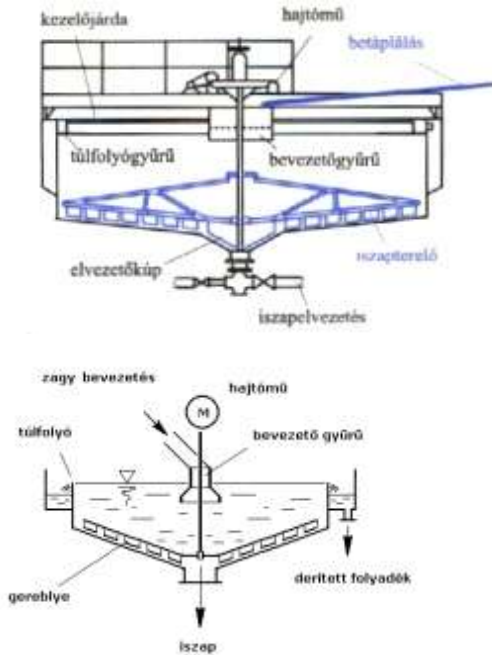
2.4.3. Az ülepítés jellemző készülékei

- Ülepítő kád, csatorna
- Ülepítő tartály
- Folyamatos Dorr-ülepítő

Az ülepítők általában egyszerű tartályok vagy kádak, amelyekben elég hosszú út áll a szemcsék rendelkezésére a lassú ülededéshez. A jobb oldali ábrán az **extrakciónál** használatos ülepítőt látjuk a kioldáshoz használt előkeverővel együtt.



Az ülepítők jellegzetes típuskészüléke a **Dorr ülepítő**.



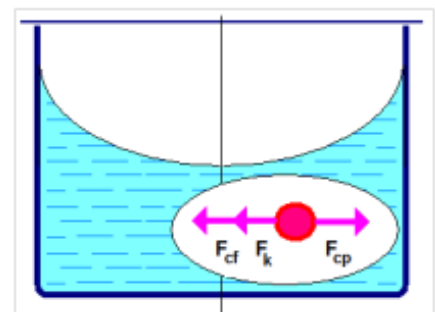
Az ábrákon látható Dorr- ülepítők jellemző készülékeleme a lassan forgó gereblye, amelynek ferde lapátjai a leülepedő iszapot a kúpos tartályfenék irányába terelik. Innen különböző zsilipmegoldásokkal távolítják el az iszapot, míg a derített folyadék a tartály felső pereméhez csatlakozó túlfolyón távozik.

2.4.4. A centrifugálás

A centrifugálás az ülepítéshez hasonló célú és működési elvű hidromechanikai művelet. Az elválasztáshoz szükséges erőteret a centrifugadob forgása hozza létre, a keletkező erők a gravitációnál sokszorta nagyobbak, így az elválasztás is gyorsabb, illetve hatékonyabb.

Jellemzői:

- Heterogén folyadékrendszer szétválasztása
- A szemcsére ható erők egyensúlyban vannak
- A szemcse állandó sebességgel mozog
- A készülék:
 - R – sugarú dob (cső, henger);
 - n – fordulatszám (ω szögsebesség)
- Az üledő anyag:
 - d - átmérőjű szemcse;
 - ρ_{sz} – sűrűségű anyagból;
 - ρ_f – sűrűségű folyadékban;
 - η – viszkozitású folyadékban mozog.



Az erőegyensúlyt a centripetális erő és a centrifugális, valamint közegellenállási erő összege hozza létre. Ebből gömb alakú szemcsére levezethető a centrifugális üledési sebesség:

$$v = \frac{d^2 \cdot (\rho_{sz} - \rho_f) \cdot g \cdot R \cdot \omega^2}{18 \cdot \eta \cdot g}$$

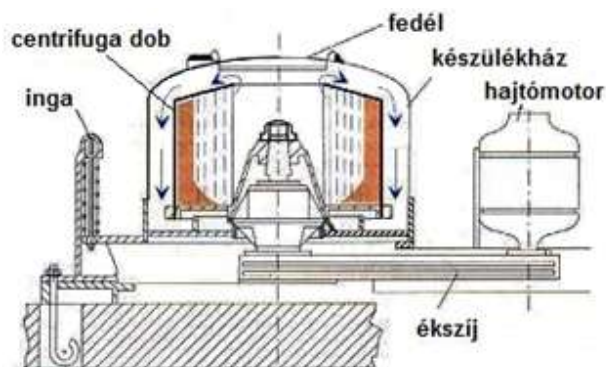
A centrifugális ülepedési sebesség képletében található $\frac{R \cdot \omega^2}{g}$ értéket **jelzőszámnak** nevezzük! A jelzőszám megmutatja, hogy az azonos körülmények között végzett ülepitéshez képest hányszor gyorsabb a centrifugálási művelet.

Ne felejtjük el, ezek az összefüggések a centrifugális ülepitésre érvényesek. Ha a centrifugát szűrésre használják, a műveleti tulajdonságokat is a szűrés összefüggései határozzák meg. A szűrőcentrifugák közös jellemzője, hogy a centrifuga dob palástja lyuggatott, és a készülékbe szűrőzsákot kell helyezni.

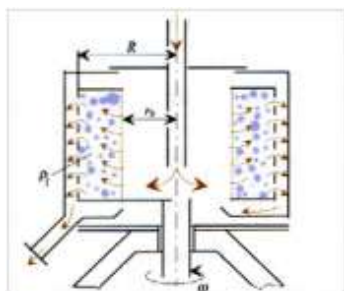
2.4.5. A centrifugálás jellemző készülékei

A centrifugákat jelzőszám és működési mód szerint csoportosítjuk

- Ingacentrifugák
 - Tányéros szeparátorok, pulzációs gépek
 - Szupercentrifugák
- illetve
- Ülepítő centrifugák
 - Szűrő centrifugák



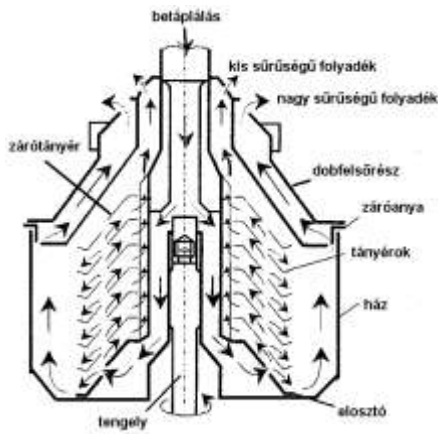
Az **ingacentrifuga** az egyik legrégebbi és legáltalánosabb készülék. A forgó dobot három vagy négy ponton ingamozgásra képes, rugózott csuklós rudakra függesztik.



Az ingamozgás lehetővé teszi, hogy a bekapcsoláskor, illetve üzemindításkor még egyenetlen tömegeloszlású anyag miatti virtuális forgási tengely létrejöjjön, és a centrifuga saját tengelyén kívül, a kialakult virtuális tengely körül is, a bűgőcsigához hasonló pörgést végezzen. Ez megkíméli a forgó alkatrészeket a túlterheléstől.

Szűrésre használt ingacentrifuga vázolata

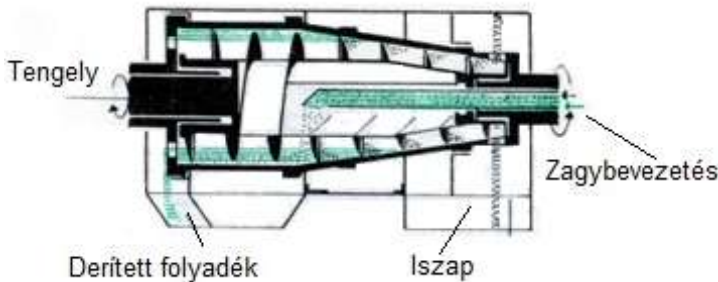
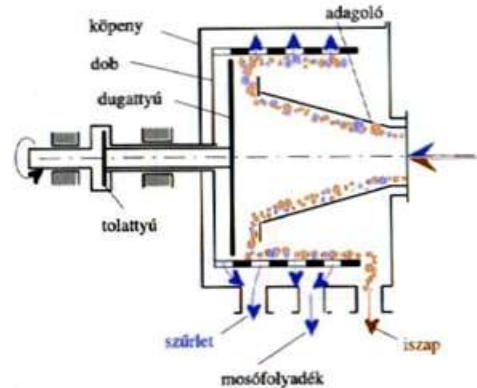
<p>Feladat: 400 mm átmérőjű, 300 mm dobmagasságú ingacentrifugában percnként 900-as fordulatszámmal olyan vizes szuszpenziót ülepitünk, amelynek átlagos szemcsemérete 50 μm, sűrűsége 1300 kg/m³, viszkozitása 0,015 Pa.s. Mennyi anyagot lehet óránként feldolgozni a berendezéssel?</p>	<p>Megoldás: A centrifugális ülepités sebesség összefüggése, a lehetséges egyszerűsítések után:</p> $v = \frac{d^2 \cdot \Delta\rho \cdot R \cdot (n \cdot 2 \cdot \Pi)^2}{18 \cdot \eta}$ $v = \frac{(50 \cdot 10^{-6})^2 \cdot (1300 - 1000) \cdot 0,2 \cdot (\frac{900}{60} \cdot 2 \cdot \pi)^2}{18 \cdot 0,015}$ <p>v = 0,005 m/s</p> <p>A centrifuga aktív felülete:</p> $A_c = D \cdot \pi \cdot H = 0,4 \cdot \pi \cdot 0,3 = \mathbf{0,377 \text{ m}^2}$ <p>A centrifuga teljesítménye:</p> $V = v \cdot A_c = 0,005 \cdot 0,377 \cdot 3600 = \mathbf{6,7 \text{ m}^3/\text{h}}$
<p>Feladat: Mekkora az előző példa szerinti centrifuga jelzőszáma és egyenértékű felülete?</p>	<p>Megoldás: A jelzőszám: $j = \frac{R \cdot (n \cdot 2 \cdot \pi)^2}{g} = \frac{0,2 \cdot (\frac{900}{60} \cdot 2 \cdot \pi)^2}{9,81} = \mathbf{181}$ Az egyenértékű derítőfelület: $A_e = j \cdot A_c = 181 \cdot 0,37 = \mathbf{68,3 \text{ m}^2}$</p>



Közepes és magas fordulatszámú, nagy jelzőszám értékű készülékeket elsősorban emulziók vagy hígabb szuszpenziók szétválasztására használnak. Jellemző készüléke az olaj és víz által alkotott emulzió szétválasztásának a **tányéros szeparátor**.

A készülék kúp alakú tányérokából áll, amelyek gyorsan forognak. A szétválasztás alapja az, hogy a tányérok külső (felső) és belső (alsó) felületén ellenkező irányban áramlik a nagyobb sűrűségű víz és a kisebb sűrűségű olaj. A víz a készülék fala felőli, az olaj a tengely felőli oldalon vezethető el. A berendezést az élelmiszeripar is alkalmazza, főleg tej kezelésére.

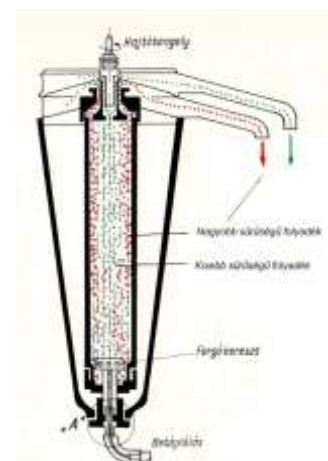
A **pulzációs centrifuga** (jobbra) vízszintes tengely körül forgatott perforált dob. A szuszpenziót a tengely felől vezetik be, forgó, kúpos elosztótányér segítségével, amely egyúttal a tengellyel párhuzamos pulzáló mozgást végez. Ezáltal a centrifuga dobra tapadt iszap folyamatosan eltávolítható, miközben a szűrt folyadék a dohból távozik.



A **csigás centrifugák** főleg az élelmiszeriparban alkalmazott korszerű berendezések. A kúpos kialakítású külső centrifugadob gyorsabban, a belső, csigavonal alakban emelkedő menetű lemezzel szerelt dob pedig lassabban forog.

Ez utóbbi az ürítődob. A készülék vízszintes helyzetű. A szuszpenzió az üreges tengelyen keresztül jut a csigás ürítődobba. Innen a dobon lévő nyílásokon keresztül ömlik át a centrifuga ülepítő terébe. A szilárd anyagot a forgó csigalemez sodorja az ürítőnyílás felé, míg a folyadék ellenkező irányba áramlik.

A $j = 10.000$ jelzőszám értéket meghaladó centrifugák jellegzetes képviselője a folyadékemulzió szétválasztására használható **csöves**, vagy másnéven **supercentrifuga**. A jobb oldali ábrán láthatjuk a típus készüléket. A felülről hajtott hosszú csőbe alul vezetik a szétválasztandó emulziót. A folyadék azonnali csőfalra jutását a forgó kereszt segíti. A nagyobb sűrűségű folyadék a forgó henger falához közelebb, míg a kisebb sűrűségű a faltól távolabb, a tengely mentén áramlik felfelé. A centrifugadob felső részén találjuk az osztófejet, amely egymástól elválasztott kamraelemekből áll, és a szétválasztott folyadék komponenseit külön-külön az ürítőcsőbe továbbítja.



Gyakorló feladat:

5 μm átmérőjű, 4000 kg/m^3 sűrűségű szemcsés szuszpenziót centrifugálunk 3000 f/min fordultatszámú, 300 mm átmérőjű centrifugában. A szuszpenzió sűrűsége 1200 kg/m^3 , dinamikai viszkozitása $1,2 \cdot 10^{-3}$ Pas.

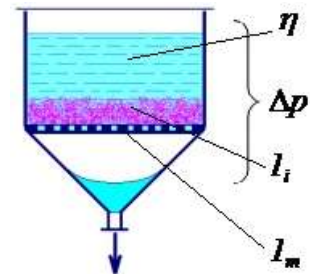
- Határozzuk meg az ülepedési sebességét!
- Hányszor hatékonyabb így az ülepítés, mint gravitációs erőteretében? Számolja ki a jelzőszámot!
- Ellenőrizzük le az áramlás jellegét! Számoljuk ki a Re számot!

$v_{ii} = 0,0479 \text{ m/s}$
 $j = 1509$
 $Re = 0,24 - \text{lamináris!}$

2.4.6. A szűrés

A szűrés nyomáskülönbség hatására keletkező nyomóerő által végrehajtott szétválasztó művelet. A szuszpenziót tartalmazó anyagot porózus rétegre vezetjük, amelyen a szilárd, szemcsés anyag fennmarad, míg a folyadék átáramlik. A szűrőrétegre lerakódó iszap egy idő után olyan vastagságot ér el, hogy maga is szűrőhatást fejt ki. Ezért, állandó nyomáskülönbség esetén a szűrési sebesség folyamatosan csökken. A technológiai igénytől függően alkalmaznak **állandó nyomású**, és **állandó sebességű** (állandó szűrési teljesítményű) szűrést. Jellemzői:

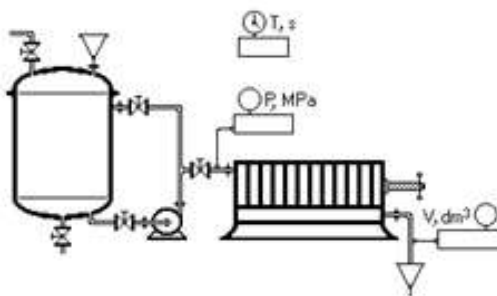
- Heterogén szilárd-folyadék szétválasztás
- Művelet hajtóereje a nyomáskülönbség
- A rétegellenállás folyamatosan nő
- Állandó nyomáson vagy állandó térfogaton
- A szűrt anyag:
 - o Δp - nyomáskülönbséggel;
 - o l_m – rétegvastagság (szűrőlap vagy membrán vastagsága) és;
 - o l_i – időben változó iszapvastagsággal;
 - o η – viszkozitású folyadékból;
 - o K – a szűrőre jellemző állandó vagy szűrési együttható szerint választható el.



$$v = \frac{\Delta p}{K \cdot (l_i + l_m) \cdot \eta}$$

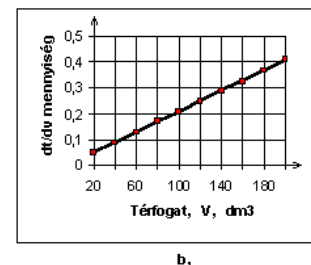
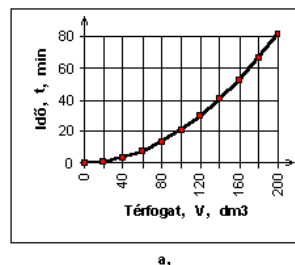
A szűrési sebesség állandó nyomáskülönbség esetén a **Darcy-féle** összefüggéssel határozható meg, azzal a megkötéssel, hogy az R_i iszapellenállás folyamatosan változik, tehát a képlet csak egy adott pillanatban ad valós értéket.

Ennek megfelelően a szűrési teljesítmény (a szűrő teljesítőképessége) a $\frac{1}{A} \cdot \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta p}{K \cdot (l_i + l_m) \cdot \eta}$ összefüggéssel határozható meg.



A szűrés folyamatát a változó paraméterek miatt legtöbbször **kísérleti úton vizsgálják**, például az ábrán látható berendezéssel. A tartályhoz kapcsolt keringető szivattyú segítségével biztosítják az állandó nyomást, miközben mérik a szűrőből távozó szűrlet mennyiségét. A mérési adatokat olyan diagramban ábrázolják, amelynek a függőleges tengelyén van az idő. Állandó nyomás mellett a folyadék leszűréséhez szükséges idő négyzetesen nő, mert az iszap a szűrő felületére rakódik, ellenállása ennek megfelelően a felület dimenziójával arányosan növekszik. A D'Arcy képletből levezethetően, a szűréshez szükséges idő: **$t = a \cdot V^2 + b \cdot V$**

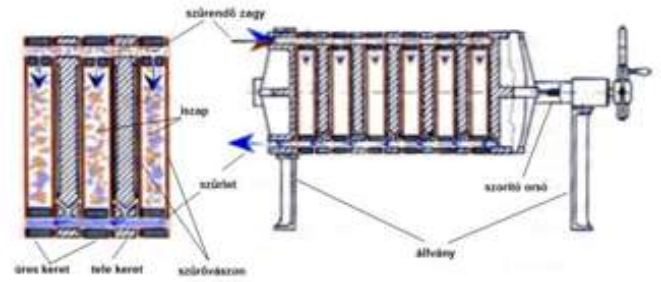
A művelet értékeléséhez a diagram „derivált” függvényét, azaz a $dt/dV = f(V)$ alakot használják, ez ugyanis a pontosan végrehajtott vizsgálat esetén könnyen értékelhető egyenest ad. Ebből számítják ki a szűrő statikus és változó iszap-ellenállású dinamikusan tulajdonságait. A gyakorlatban megelégszünk a $t/V = f(V)$ alakkal is. A vizsgálatok célja mindig a **művelet optimalizálása**, amihez a tisztítási időt (állásidőt) is figyelembe kell venni.



Az optimális szűrletmennyiség a mérési adatokból szerkesztett diagram alapján: $V_{opt} = \sqrt{\frac{t_a}{a}}$, ahol „a” a jobb oldali diagram meredeksége. Általában pedig elmondható, hogy állandó nyomású szűrés esetén az optimális szűrési idő megegyezik az állásidővel.

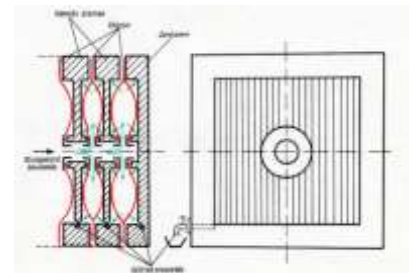
2.4.7. A szűrés jellemző készülékei

- Szűrőtölcsér;
- Szűrőnuccs;
- Vákuumos szívószűrő;
- Szakaszos szűrés, keretes, kamrás vagy táskás szűrőpréssel
- Folyamatos szűrés vákuum-dobszűrővel

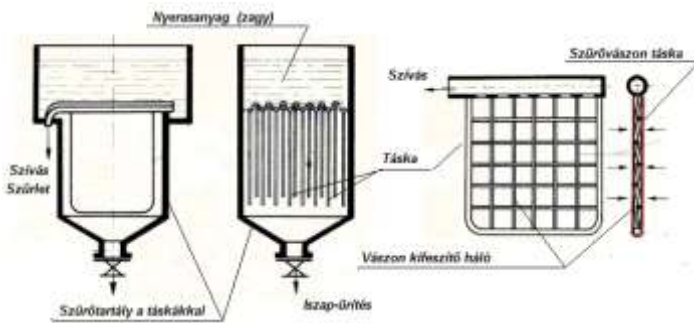


A **keretes szűrőprés** egy állványszerkezetre felváltva elhelyezett „teli” és „üres” keretek sorozata. A teli keret bordázott belső felületű, míg az üres keretre két oldalról ráfeszítik a szűrővásznot. A nyomás alatt érkező folyadék egy megfelelő furaton keresztül az üres keretek üregébe áramlik. A szűrlet a szűrővásznon áthalad, és a teli keret bordái által alkotott csatornákon a gyűjtőbe folyik. Az iszap a vászonra tapadva lassan feltölti az üres keretet.

A szűrőprés keretei, illetve kamrái különböző kialakításúak lehetnek, míg az összeszorító technika is rendkívül változatos, és elsősorban a szét- és összeszerelés gyorsítását célozza. A jobb oldali ábrán a korszerűbb **kamrás szűrőprés** két elemét látjuk. Itt mindegyik elem azonos kialakítású, az elemekben kialakított kamrákban gyűlik össze az iszap. A szűrő tisztításához az elemeket egyszerűen szét kell húzni!

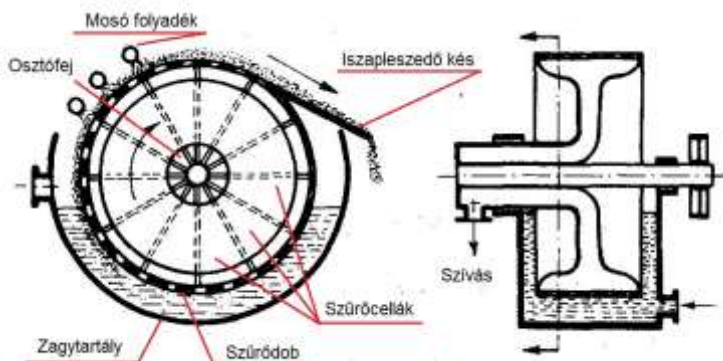


A **szűrőtölcsér** és perforált lapos fenekű változata a szűrőnuccs elsősorban laboratóriumban vagy kisebb üzemi méretekben használatos.



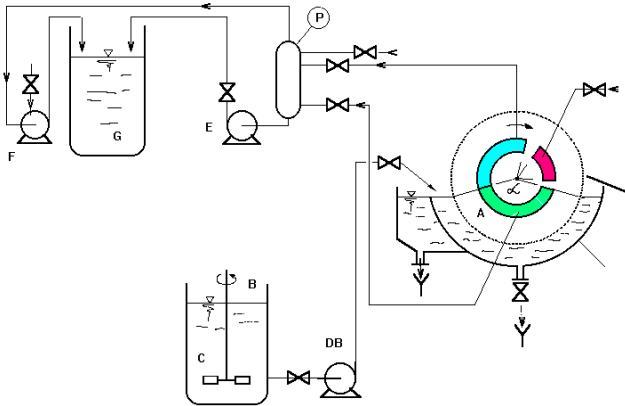
Jelentősen csökkenthető az állásidő a **táskás szűrő** alkalmazásával, amelyre példa a bal oldali ábrán látható. A táská alakú szűrővásznot huzalkeretre feszítik. A szűrlet szívása a táskakeret felső részén található perforált csövön keresztül valósul meg. Az iszapot vagy a táskák egyenkénti kiemelésével, vagy ha csak a szűrlet mosása lényeges, akkor ellenkező irányú mosófolyadékkal távolítják el. Korszerűsített változata a Kelly-szűrő és a gyertyás szűrő.

A szűrés művelet folyamattá tehető, ha az egyes szűrőelemeket citromgerezdhez hasonlóan körben helyezik el, és lassan forgatva az egyes „szelvényekkel” ciklikusan ismétlik a szűrés, mosás, szárítás és tisztítás – iszapeltávolítás – folyamatát. Jellemző készüléke az **vákuumdobszűrő**.



A dobszűrő működésének kritikus része az iszap eltávolítása és a dob alapanyagba merülése közti rövid szakasz, ahol a cellákban sem vákuum, sem túlnyomás nem lehet. Ezt a feladatot az osztófej megfelelő szektorokra osztásával oldják meg.

A berendezés kapcsolási vázlatán megfigyelhető, hogy a forgási ciklusban hogyan biztosítja az **osztófej** a szívás, mosás, fellazítás műveletét.



Az ábrán megfigyelhető, hogy az alsó (A) szívási szakaszban keletkező szűrlet a szűrendő zagyba merülő cellák perforációján keresztül a tengelyen forgó osztófej megfelelő szektorába kerül, ahonnan a vákuum hatására jut a cseppleválasztó edénybe, majd innen egy szivattyú továbbítja a gyűjtőtartályba (felül).

A szivattyúra azért van szükség, hogy a szűrletet a vákuum hatása ellenére is a gyűjtőbe tudjuk továbbítani. Az osztófej forgásirány szerinti következő szektora az iszapréteg szárítását végzi, ami szükség esetén mosással kombinálható.

Az iszapréteg leemelése előtt préslevegővel fellazítható.

A szűrendő zagyot a keverővel ellátott (alsó) tartályból szivattyú továbbítja a szűrődob alatti ívelt aljú medencébe. Jellegzetes ipari alkalmazásával találkozhatunk a **timföldgyártásnál**.

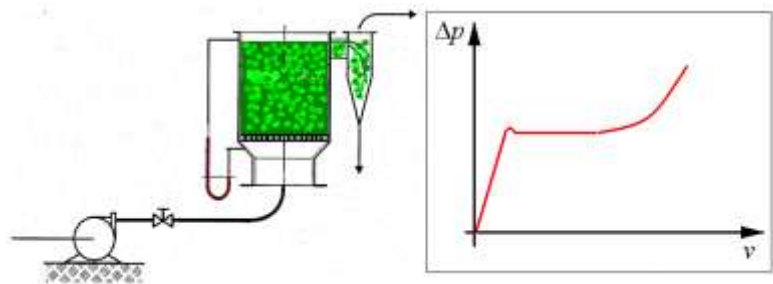
2.4.8. A fluidizáció

A fluidizáció művelete során szilárd szemcsés halmazt áramló folyadékban vagy gázban **lebegtetve** olyan állapotot idézünk elő, mintha a szemcsés halmaz maga is folyadék lenne. A fluidizáció több mint egyszerű lebegtetés, hiszen a szemcsés halmazon áramlási tulajdonságok tapasztalhatók, többek között érvényesek rá az áramlási alaptörvények, és alkalmazhatók a szűrés és a folyadékcszállítás összefüggései is.

A műveletnek különböző **fázisai** vannak, de három fő szakasz a fontos:

- Álló ágy,
- Fluid ágy,
- Pneumatikus szállítás

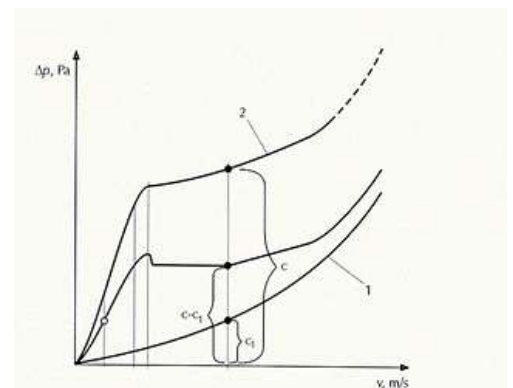
A berendezés egyszerű csőből áll, amelyben alulról felfelé áramlik a lebegtető közeg, általában levegő. A gáz egyenletes eloszlását rács segíti, ez egyúttal nyugalmi állapotban megtartja a szemcsés halmazt. A rács két oldalára szerelt nyomáskülönbség mérő segítségével a jelenség jellemző pontjai mérhetők.



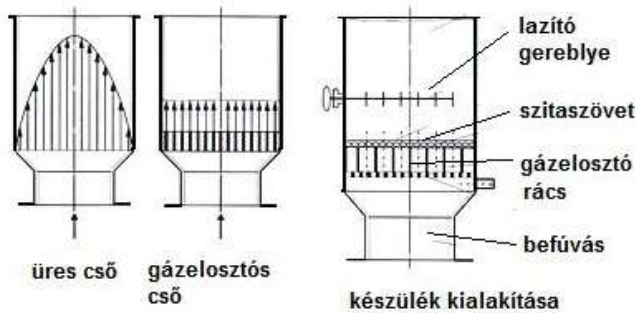
2.4.9. A fluidizáció áramlási viszonyai

- Sebességeloszlás a csőben;
- Gázelosztó rács szerepe;
- A csőellenállás hatása.
- Üzemi anomáliák (gejzír képződés, „üres lyuk” képződés)

Az alapábrán látható fluidizációs diagram felvételét nehezíti, hogy a gázelosztó rácsnak üres állapotban is van ellenállása. Ezt, a jobboldali ábra szerint, „pontról-pontra” le kell vonni a tényleges nyomásesés adatokból.



A gázelosztó rács valójában azt biztosítja, hogy a rétegben lehetőleg lamináris csatornák keletkezzenek, és a cső minden pontján közel azonos legyen az áramlási sebesség. Ellenkező esetben a rétegben átfújások, gejzírek keletkeznének.



A műveletre két jellemző adatot tudunk megállapítani. A lökőhullám létrejöttéhez, azaz a fluidizáció kezdetéhez szükséges nyomáskülönbség:

$$\Delta p = h \cdot (\rho_{sz} - \rho_g) \cdot (1 - \varepsilon) \cdot g$$

Ez az ún. MacLeva képlet, amelyben az ε a szilárd halmaz porozitása (térfogat kitöltési együtthatója)

A fluidizációs szakaszban a nyomáskülönbség állandó, függetlenül attól, hogy a gáz sebességét növeljük. Ez úgy lehetséges, hogy a MacLeva képlet szerinti rétegmagasság (h) és porozitás (ε) egyaránt változik, pontosabban a réteg állandóan kiterjed, porozitása csökken.

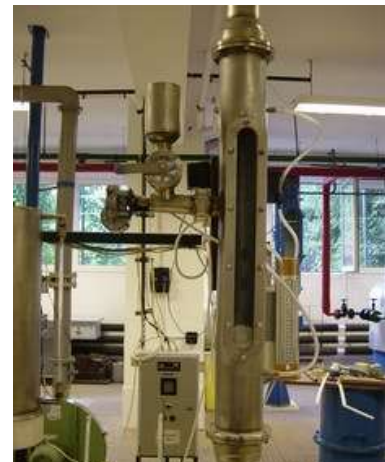
A fluidizációs szakasz pneumatikus szállításba vált át, amire pedig a jól ismert Bernoulli-képlet alkalmazható:

$$\frac{\Delta p}{\rho \cdot g} = \frac{v^2}{2g}$$

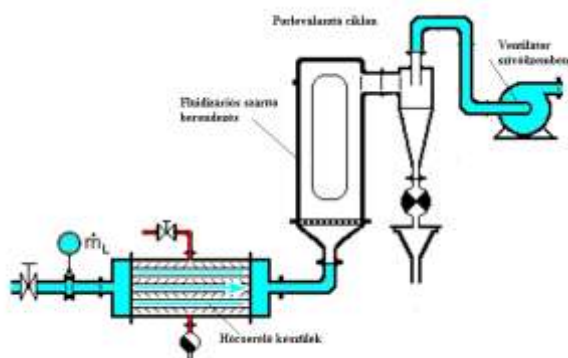
A számításokhoz, szélsőértékként ezt a két egyenletet szokták azonos nyomáskülönbséget feltételezve egyberendezni, és ezzel a fluidizációhoz szükséges átlagos gázsebességet megállapítani.

A fluidizáció alkalmazási területe

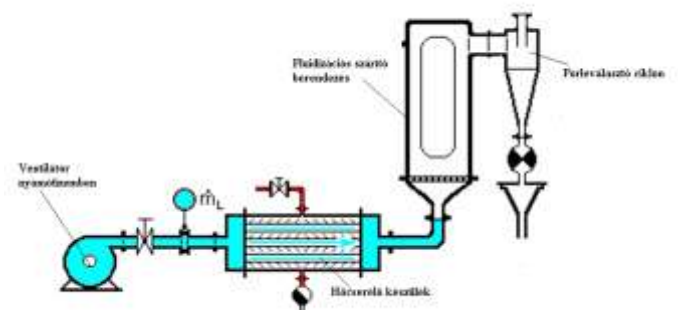
- Porszerű anyagok keverése
- Szemcsés anyag szárítása
- Kontakt katalitikus eljárások
- Élelmiszeriparban, liofilizált termékek porlasztása



A fluidizáló szívó és nyomó üzemben egyaránt használható. A készülékhez szárítás esetén előmelegítő kalorifer, és **porleválasztó ciklon** kapcsolódik. Az anyagok be- és kivételét **cellás** vagy **csigás** adagolóval lehet megoldani.



Szívó üzemű fluidizációs szárító



Nyomó üzemű fluidizációs szárító

Különleges alkalmazási terület a **lio-filizálás**. A főleg élelmiszeriparban alkalmazott eljárásnál a szilárd anyagot tartalmazó folyadékot mély hűtik, majd szublimálva a vizet elpárologtatják. A szilárd anyagot a fluidizáló berendezésben alakítják később vízben oldható morzsás, granulált anyaghoz hasonló szemcsés terméké.

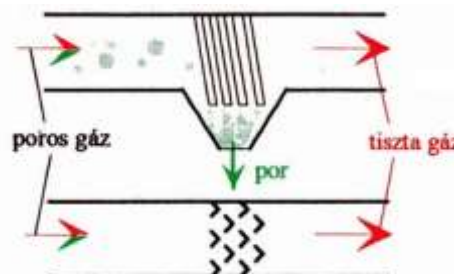
2.4.10. Por- és cseppleválasztás

A por- és cseppleválasztás művelete nem sokban különbözik az eddig megismert ülepitő, szűrő vagy centrifugáló műveletektől, lényegében ezek **speciális alkalmazása**, amelynek során gázban található port, vagy folyadékcseppeket választunk le. A por vagy folyadék cseppek a gázban általában szennyező anyagként vannak jelen, valamilyen technológia melléktermékeként. A művelet különlegességét az adja, hogy a szilárd vagy folyadék cseppek fajlagos tömege lényegesen nagyobb a gáznál, tehát a gravitációs, centrifugális, vagy akár az ütköztetésből származó impulzus erők hatása is lényegesen nagyobb a folyadéktérben végrehajtott szétválasztó műveletekhez képest.

Ütköztetési porkamrák

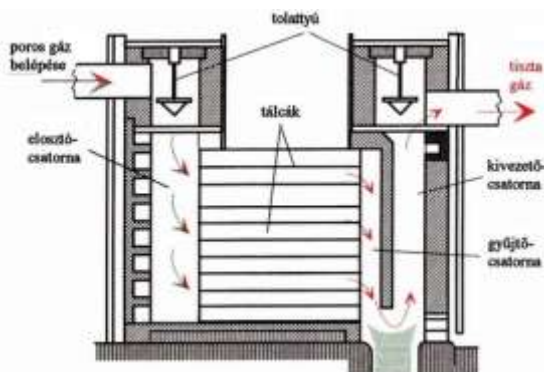
A jobboldali ábrán metszeti elől nézetben, illetve felülnézetben látható ütköztetési porleválasztó aktív eleme a ferde ütköző lap, amelynek ütközve a porszemcse elveszíti mozgási energiáját, és az alsó gyűjtő részbe hullik, miközben a gáz akadálytalanul halad tovább.

Az ütköző elemek különböző alakúak és elrendezésük lehetnek, sőt a berendezés szemcsenagyság szerinti válogatásra is alkalmas.



Porülepitők és szűrők

A porszennyeződés leválasztására ülepitő tálcákat vagy porszűrőket használhatunk. Az ülepitő tálcák párhuzamosan helyezkednek el a berendezésben. Működési feltételük, hogy az ülepedési sebesség és a gáz haladási sebessége együtt biztosítsa az ún. legkedvezőtlenebb helyen lévő porszemcse leülepedését is.



Ez azt jelenti, hogy ha a tálcák közötti távolság s és a tálcák hossza l , akkor a $v_{\text{ü}}$ ülepedési sebességű szemcse ugyanannyi t idő alatt teszi meg az s utat, mint a v_g sebességgel áramló gáz az l utat. Ebből a feltételből egy ismert méretű és tálcaszámú porülepitő kapacitása kiszámítható.

Az ábrán látható tálcás porülepitő áteresztőképességét, azaz a kapacitását a belépő és kilépő csomagtólattal tudjuk szabályozni. A tálcák között párhuzamosan áramlik a gáz. A leülepedett por a gyűjtőbe csúszik.

Feladat:

A fenti ábrán látható porülepitő kamra tálcái 5 méter hosszúak. A kamra 2 méter széles és 3 méter magas. A bevezetett gáz mennyisége 4500 m³/h és 10 μm szemcsenagyságú részecskéket tartalmaz. A szemcsék sűrűsége 3000 kg/m³, míg a gázsűrűség 0,5 kg/m³. A gáz viszkozitása 1,5·10⁻⁵ Pa·s!

Hány darab tálcát kell az ülepitő kamrában elhelyezni? A számításoknál a tálcák vastagsága elhanyagolható!

A számításokhoz gondoljuk meg, hogy a kamra 2x3 méteres keresztmetszetében, 5 méter hosszán úgy halad a szemcse, hogy bármelyik tálcá alsó élén belépő, legkedvezőtlenebb helyen lévő szemcsének is le kell ülepednie, azaz ugyanannyi idő alatt teszi meg a két tálcá közötti távolságot, mint amennyi idő a hosszirányú haladásához kell!

Megoldás:

A kamra áramlási keresztmetszete: $A_k = 2 \cdot 3 = 6 \text{ m}^2$

A gázsebesség: $v = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{4500/3600}{6} = 0,203 \text{ m/s}$

A szemcse haladási ideje: $t = \frac{L_{\text{kamra}}}{v} = \frac{5}{0,203} = 24 \text{ s}$

A szemcse ülepedési sebessége (a tanult képlettel):

$$v_{\text{ü}} = \frac{d^2 \cdot (\rho_{\text{sz}} - \rho_g) \cdot g}{18 \cdot \eta} = \frac{(10 \cdot 10^{-6})^2 \cdot (3000 - 0,5) \cdot 9,81}{18 \cdot 1,5 \cdot 10^{-5}}$$

$v_{\text{ü}} = 0,0109 \text{ m/s}$

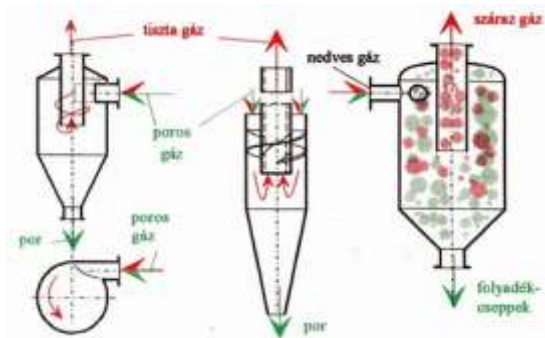
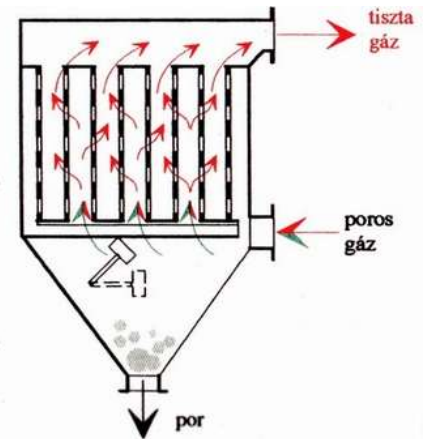
A legkedvezőtlenebb helyen lévő szemcse ülepedési útja 24 másodperc alatt: $h = v_{\text{ü}} \cdot t \text{ [m]}$, azaz:

$h = 0,0109 \cdot 24 = 0,262 \text{ [m]}$ Ez a távolság a H magasságú kamrában $n = H/h$ tálcával biztosítható, azaz $n = 3/0,262 = 11,46$, lefelé kerekítve **n = 11**

Az **ipari porszűrők** működése a háztartási porszívóhoz hasonló, azzal a különbséggel, hogy a szűrés a szűrőzsák külső felületén valósul meg.. A készülékben párhuzamosan helyezik el a zsákokat, amelyekről a szűrt por folyamatos, mechanikus rázással távolítható el. A levegő szívását nagyteljesítményű ventilátor végzi.

Porleválasztó ciklonok

A porral terhelt gázok tisztításának gyakran használt eszköze a ciklon. Működése a centrifugákhoz hasonló. A henger alakú cikloncsőbe érintő irányból vezetik a gázt, ami forgó, örvénylő mozgásba kezd. Innen ered az elnevezése is. A ciklonba benyúló kémény szívó hatása a gázt felfelé kényszeríti, míg a körpályán keringő porszemcsé a kúpos alsó részhez ütközve elveszíti mozgási energiáját, és az alsó ürítő nyíláson át lecsúszik.

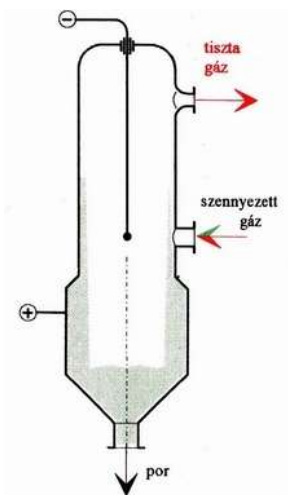


Az ábrán különböző anyag hozzáférési módszereket láthatunk, illetve a három ábra közül a jobboldali a folyadékcseppekkel terhelt gáz tisztítására alkalmas berendezést mutatja.

elektromos teret hoznak létre a benyúló elektródák, illetve a készülékre kapcsolt egyenáram segítségével. A szennyezett gáz porszemcséi belépéskor erős töltést kapnak, aminek hatására a gázból kiválva a készülék falához csapodnak. Az érintkezéskor töltését veszített por a készülék falán lecsúszik, és az alsó gyűjtőből eltávolítható. Ezzel az eljárással egészen finom, kisméretű szemcsék is leválaszthatók a gázból.

Elektrosztatikus porleválasztók

A porleválasztás különleges eszközei az elektrosztatikus porleválasztók. A henger alakú készülékben erős



2.5. SZILÁRD ANYAGOK SZÁLLÍTÁSA

Szilárd anyagokat a legkülönböző célból szállítanak. A szállítás szempontjából **szemcsés, ömlesztett** halmaz szállításáról, vagy **darabáru szállításról** beszélhetünk. A szemcsés halmazokat a vegyiparban, feloldás, olvasztás vagy égetés, illetve más vegyi átalakítás céljából szállítják a gyártó berendezésekhez. A darabáru szállítás inkább a végtermékek, a kereskedelmi forgalomba kerülő anyagok ládába, zsákba, konténerbe csomagolt, és járművekkel továbbított eljárását jelenti.

2.5.1. A szállítás típusai

A szállítás szerint lehet távolsági (közlekedés) vagy helyi (üzemen belüli) gépi szállítás. Ez utóbbi esetben jellegzetes típusai:

- folyamatos, végtelenített szalagon;
- kvázi folyamatos, elevátorral;
- folyadékjellegű, pneumatikus vagy fluidizációs

Szállítási szempontból a szemcsés halmazt az alábbiak jellemzik:

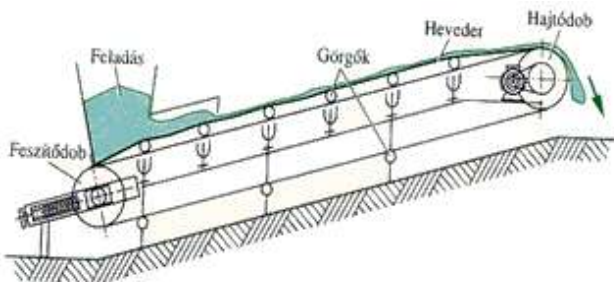
- ömlesztett térfogat;
- szemcseméret;
- porozitás;
- rézsű-szög

Szállítási teljesítmény vagy szállítási kapacitás alatt a szállítóberendezéssel továbbítható anyagmennyiséget értjük m^3/s vagy kg/s , illetve az ipari gyakorlatban m^3/h vagy t/h értékben. A szállított halmaz tömegárama:

$$\dot{m} = A \cdot v \cdot \rho$$

A gyakorlatban a szállítási kapacitás megállapítása a szállítóberendezéssel meghatározott idő alatt végzett anyagtovábbítás alapján történik, azaz, például megmérjük, hogy egy szállítójárművet (vagont) mennyi idő alatt lehet a berendezéssel megtölteni, és ebből következtetnek az átlagos szállítási teljesítményre.

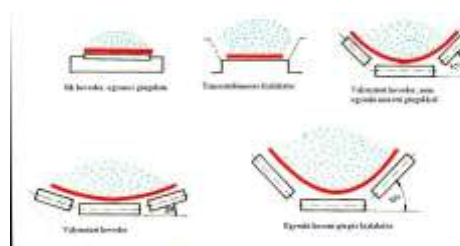
2.5.2. A szállítószalag



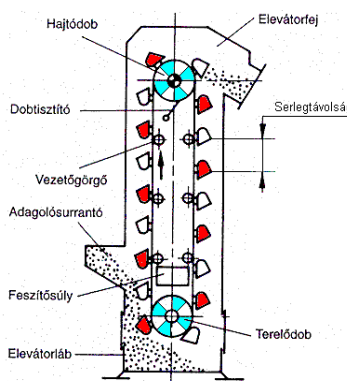
A szállítószalagon vízszintes és emelkedő irányú szállítást végeznek. Ez utóbbi emelési szöge az anyag és a szállítószalag közötti súrlódási együtthatótól függ. A szállítási távolság néhány métertől két-háromszáz méterig terjedhet. A szállítás sebessége 0,2 – 0,8 m/s között változhat. Szemcsés, ömlesztett anyag szállításánál a szalagról lehulló anyag ömlesztett halmazt képez, ennek a kúpszerű alakzatnak a talajjal bezárt szöge a **rézsűszög**. Minél nagyobb az anyag rézsűszöge, annál

több anyag fér el az adott tárolási területen, de annál magasabbra kell a szállítószalagot állítani.

A szállítószalag végtelenített lapját **hevedernek** nevezzük. Anyaga textil vagy acélhuzal kötegre vulkanizált gumi. A heveder alátámasztását **görgők** biztosítják. Az ábrán látható módon a görgők elrendezése gyakran olyan, hogy az egymással szöget bezáró görgők a hevedert ívben meghajlítják. Ezzel megakadályozható az anyag oldalirányú leszóródása szállítás közben.



2.5.3. Serleges elevátor



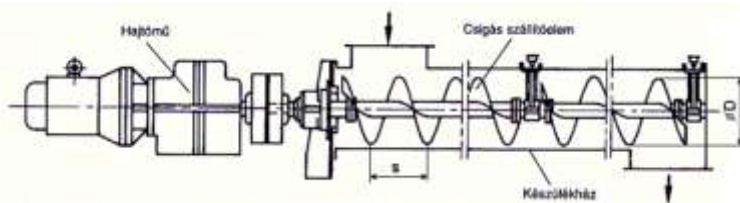
Függőleges irányú, illetve 60°-nál meredekebb anyagszállításhoz serleges elevátort alkalmaznak. A végtelenített láncos vonóelemre egyenlő távolságra különleges alakú edényeket, ún. serlegeket helyeznek el. A serleg az elevátor alsó részén az ömlesztett halmazba merül, amely adagolócsúszdából csúszik az érkező serleg felé. A serleg által kimert anyag felemelkedik, és a felső dob körül elforduló serlegből az elevátorfej ürítőnyílásába hullik. Az elevátorok emelési magassága 10–100 m, szokásos szállítási sebessége 0,3 – 3 m/s között változik az alkalmazott vonóelemtől függően.

$$\dot{m} = \frac{V_1 \cdot \rho \cdot v}{s}$$

A serleges elevátor szállítási kapacitásának meghatározásakor az egyes serlegek térfogatát, valamint a serleg közötti „s” távolságot kell figyelembe venni.

2.5.4. Pneumatikus és csigás szállítás

A vegyipari gyakorlatban elterjedt a pneumatikus, gázáramban való szállítás és a csigás anyagszállítás is. A pneumatikus szállítást a **fluidizáció** kapcsán már megismertük. A jobb oldalon látható **csigás adagoló** műanyag extruder, vagy élelmiszeripari gép (pl. húsdaráló) jellegzetes készüléke, amely egyenletes szállítást, keveredést és megfelelő nyomást biztosít.



2.6. APRÍTÁS, SZITAELEMZÉS

Az aprítás célja a szemcseméret csökkentése. Ezzel együtt az aprított halmaz fajlagos felülete növekszik, ami azzal az előnnyel jár, hogy az anyagot könnyebb különböző vegyipari eljárásoknak, például oldásnak, hevítésnek, szárításnak stb. alávetni.

Jellemzői:

- Szilárd, szemcsés halmazokat aprítunk
- Cél a szemcseméret csökkentése és a fajlagos felület növelése. A fajlagos felület az egységnyi tömegű halmaz szemcséinek összes felülete. Mértékegysége m^2/kg . Minél kisebb a halmaz szemcséinek mérete, annál nagyobb a fajlagos felülete!
- Jellemző fokozatok:
 - Durva aprítás – 500 mm vagy nagyobb darabok
 - Közepes aprítás – 100 – 20 mm között
 - Finom aprítás – 1 – 10 mm szemcseméret, illetve
 - 1 mm alatti szemcseméret esetében igen finom aprítás

A technológiai szempontból szükséges szemcseméretet általában több lépésben, különböző készülékekben végrehajtott aprítással lehet elérni. Ha a bányászat során kapott nyers tömbök méretét, mint kiinduló méretet vesszük, akkor a gyakorlatban durva, közepes, finom, igen finom és különleges aprításokat különböztetünk meg.

Az aprítási fok a kiindulási és a kapott szemcsék méretének hányadosa:

$$i = \frac{d_0}{d_1}$$

2.6.1. Aprító berendezések

Az aprítóberendezések az aprítási fokozat szerint különböztethetők meg.

- A durva aprítás jellemző berendezése a pofás törő;
- A közepes aprításé a kalapácsos malom;
- A finom aprítás leggyakoribb eszköze a golyós malom.

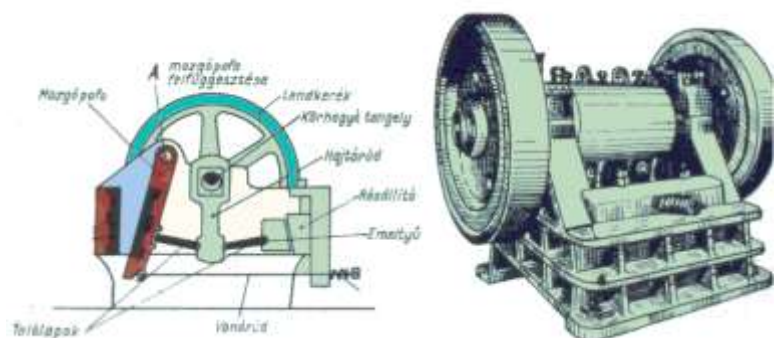
A **pofás törő** robusztus berendezés. A nyersanyag lelőhelyről, ásványbányából, kőbányából kikerülő anyagok első aprítási fokozata. Általában a lelőhely vagy bánya közelében telepítik.

A durva aprítás fő célja a nyersanyag előkészítése a további aprítási műveletekhez, illetve a gazdaságos szállításhoz szükséges, ömleszthető szemcseméret elérése.

Az álló törőlappal szöget bezáró mozgó lap, vagy más néven mozgó pofa, ingaszerű, rágó mozgással aprítja az anyagot. Az egyre kisebb méretű szemcsék lassan csúsznak lefelé.

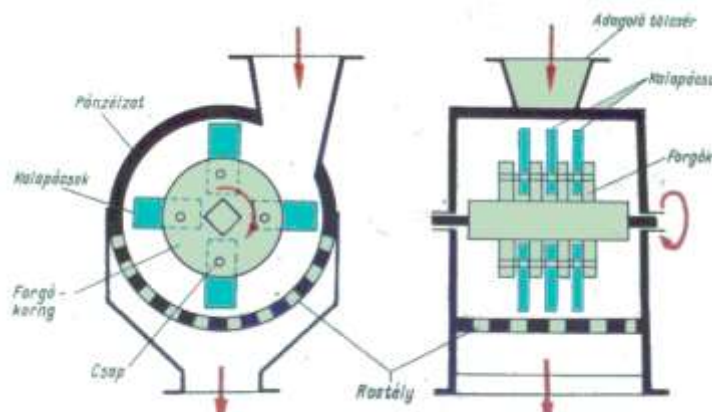
A mozgó pofát forgattyús hajtómű, illetve excenter mozgatja. A berendezés felső részén található a garat, amelynek szélessége a feladható legnagyobb szemcseméretet is meghatározza. Az alsó részen van a rés, amelynek távolsága változó, illetve a szélső értékei változtathatók. Az aprítóból kikerülő szemcsék méretét a beállított résméret határozza meg.

A törőlapok által bezárt szög $15 - 18^\circ$ között változik. Nagyobb nyílásszög esetén a pofák nem képesek az anyagot behúzni, míg a kisebb nyílásszög rontja az aprítási fokot.

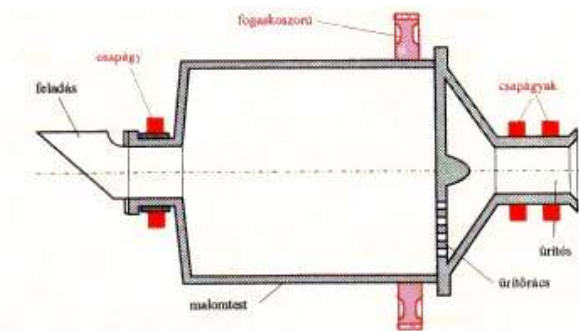


A **kalapácsos malom** 5-10 mm méretű szemcsék aprítására alkalmas. Jellegzetes készüléke a kukoricadaráló!

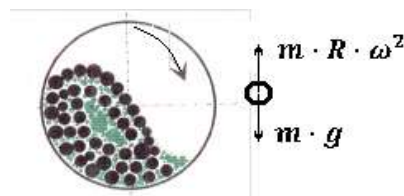
A forgó tengelyre csuklósan rögzítik a kalapácsokat. A centrifugális erő hatására a kalapácsok a tengelyre merőlegesen kifeszülnek, majd a behulló szemcsének ütközve fejtik ki a törőhatást. A szemcsék a kalapácsok között pattogva addig aprítódnak, míg méretük a rostély lyukméreténél kisebb nem lesz.



A laboratóriumban és ipari területen is az egyik legfontosabb aprító eszköz a **golyósmalom**. A golyósmalmot a vegyipar minden területén elterjedten alkalmazzák a finom aprítás eszközeként. Anyagminőség vizsgáló laboratóriumban éppúgy megtaláljuk - néhány literes töltési térfogattal -, mint a termelő üzemekben, néhány tucat köbméteres méretben.



A golyósmalom vízszintes tengely körül forgó zárt henger, amelyben az aprítandó anyag és az aprító test szerepét betöltő golyók állandóan összeverődnek, így érve el az aprító hatást



A készülékbe töltött aprítandó anyag és a golyók együttes térfogata a malom térfogatának 30-40%-a lehet.

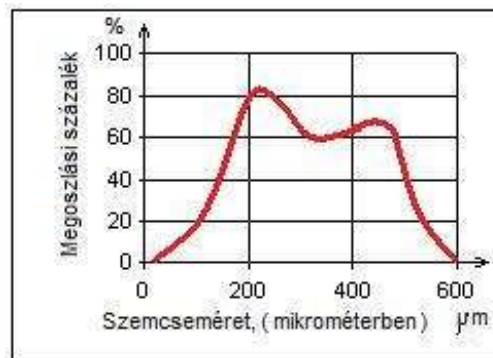
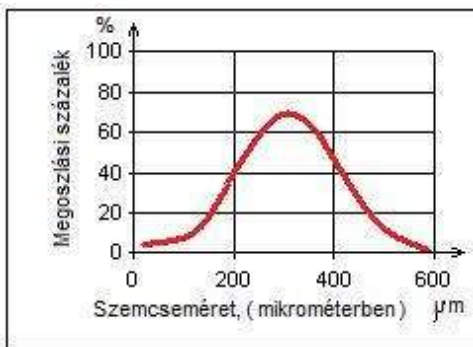
A golyósmalom fordulatszámának meghatározásánál abból kell kiindulni, hogy forgás közben a töltet a malom belső falához tapad, és a centrifugális erő hatására azzal együtt emelkedik. A felső pont közelében a gravitációs erő hatására az anyag elválk a malom falától és visszahullik. Az esés közben egymáshoz verődő golyók közé került anyag töréssel aprítódik. Minél magasabb pontról zuhan le a halmaz, annál nagyobb lesz a törőhatás. A malom falától való elszakadás akkor következik be, amikor a gravitációs erő nagyobbá válik a centrifugális erőnél. Ha nagyon gyorsan forgatjuk a malmot, a halmaz sohasem esik le, míg ha nagyon lassan forogna a gép, a golyók mindig visszagurulnának. Ebből következik, hogy a golyósmalomnak van egy **optimális fordulatszáma**, amelynek értékét számítással meg lehet határozni.

<p>Feladat: Ipari golyósmalomban közepes finomságú szilárd halmazt őrlünk acél golyókkal. A golyók és az egy töltettel feldolgozandó anyag összes mennyisége $3,2 \text{ m}^3$. Határozzuk meg a golyósmalom fő méreteit és percnkénti üzemi fordulatszámát, ha a cső alakú készülék hossz/átmérő aránya (L/D) = 1,3</p> <p>A számításoknál feltételezzük, hogy a malom töltöttsége eléri a 40%-ot!</p>	<p>Megoldás: Az ábrán is látható erőegyensúlyból: $m \cdot R \cdot \omega^2 = m \cdot g$ Az ω szögsebesség: $\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$, és így: $n = \sqrt{\frac{g}{R \cdot 4 \cdot \pi^2}}$ A malom átmérője az adott L/D viszonyú hengerre tanult összefüggésből: $D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot f}}$ Az anyagmennyiség az összterfogat 40%-a. Ennek alapján. $V_{\text{malom}} = \frac{3,2}{0,4} = 8 \text{ m}^3$, és $D = 1,99 \text{ m}$ A kritikus fordulatszám: $n = \sqrt{\frac{9,81}{0,995 \cdot 4 \cdot \pi^2}} = 0,5 \text{ 1/s}$ Az üzemi fordulatszám ennek a 75%-a, azaz: <u>22,5 1/min</u></p>
---	--

2.6.2. Szitaelemzés

Az aprításban résztvevő szemcsés anyagok elemeinek, a szemcséknek mérete nem azonos, hanem bizonyos **eloszlással** kisebb és nagyobb mérethatárok között változik. Az aprítással a szemcsék **átlagos szemcseméretét** csökkentjük, de figyelembe kell venni azt is, hogy az átlag körül milyen a méret szerinti eloszlás. Az aprításnak mindig szoros velejárója a szitaelemzés, amelynek jellemzői:

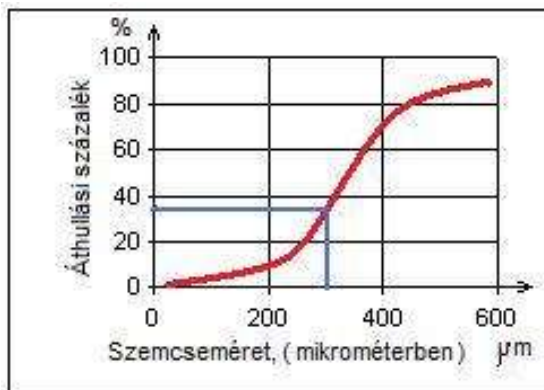
- A vizsgálatot szabványos szitasoron végezzük.
- A szitán fennmaradó anyagot megmérjük és viszonyítjuk az összes vizsgálati anyaghoz.
- Az értékelés lehetséges módszerei:
 - Szitamaradék megoszlási diagram, amely mutathat:
 - Normális eloszlást. Az átlagos szemcseméret a Gauss-jellegű megoszlási diagram szélsőértéke;
 - Anomális – torz, vagy kiegyenlítetlen eloszlás. Nincs igazi szélsőértéke a megoszlási diagramnak.
 - Áthullási diagram



A szemcsés halmazok **általában normális eloszlást** mutatnak. A baloldali példán a halmaz átlagos szemcsemérete 300 μm körül van. A jobboldalon viszont olyan halmazt látunk, amelyben aránytalanul sok az apró és a nagyszemcséjű anyag, viszont a közepes méret hiányzik. Az ilyen halmazok **anomális** eloszlást mutatnak.

A megoszlási diagramnál pontosabb értékelést tesz lehetővé az **áthullási diagram**.

- A szitán fennmaradó anyagok összegét viszonyítjuk az összes mintához
- Gyakran logaritmikus alakot használunk, így a diagram „kiegyenesíthető”



Az áthullási diagram logaritmikus jelleget mutat, és valószínűség-számítási módszerekkel lehet értékelni. A vizsgálatot egymásra helyezett csökkenő lyukméretű szitákkal végzik.

Az átlagos szemcseméretet nem az 50%-os értéknél, hanem 36,8%-nál kell leolvasni!

