

VEGYIPARI MŰVELETEK ÉS IRÁNYÍTÁSUK I.

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 szakmaiban képezést 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

2012.

A MODUL CÉLJA

A modul célja megismertetni és elsajátítani a tanulókkal a vegyipari munkaterületen leggyakrabban előforduló anyagmozgatási, hőcserélési, mechanikus, kalorikus vagy diffúziós szétválasztási elven működő vegyipari műveletek rendszerek tulajdonságait, jellemző készülékeit, vizsgálatát, az ipari mérések kivitelezését és értékelését, valamint az automatizált folyamatirányító berendezések működtetésének és beállításának gyakorlatát.

A tananyag és a hozzátartozó gyakorlatok a 2047/6. számú modul szakmai vizsgájához nyújt felkészítő segítséget.

A MODUL ISMERETANYAGA

A modul összetett elméleti és gyakorlati feladatokat tartalmaz. Az elméleti ismeretek elmélyítését számítási feladatok és mérési gyakorlatok segítik. A mérések egyúttal arra is alkalmasak, hogy a tanulók elsajátítsák a mérési módszereket, az adatok papíralapú és számítógéppel való feldolgozását, értékelését, valamint a mérési adatok alapján a folyamatokba való beavatkozás lehetőségét és gyakorlatát.

A jegyzet két fő részre tagolódik. Az első rész az ismeretek megértéséhez szükséges alapfogalmakat, anyagi jellemzőket, szilárdsági és más műszaki tulajdonságokat, az anyag- és energiaátadás általános vegyipari gyakorlatát tárgyalja. Kitér a hasonlóságelmélet alkalmazásának bemutatására, a táblázatok, diagramok használatának mindennapi gyakorlatára, a mérés- és irányítástechnika alapfogalmaira.

A második rész többé-kevésbé a szakmai és vizsgakövetelmények tárgykörhöz tartozó szóbeli vizsgatételek sorrendjének megfelelő fejezetekkel követve tárgyalja a vegyipari műveleteket, fontosabb jellemzőik mérését, vizsgálatát, a jellemző készülékek szerkezeti tulajdonságait, és a művelet gépi szabályozásának technikai megoldásait. Az egyes fejezetekben előforduló számítási feladatok megértését mintapéldák segítik.

KÖVETELMÉNYEK:

Az elméleti órákat és a gyakorlati foglalkozásokat követően a tanulók:

- Ismerjék fel és azonosítsák a legfontosabb vegyipari alapkészülékek, tartályok, csővezetékek, szivattyúk és hőcserélők jellemző típusait, valamint ezek kezelő és szabályozó eszközeit. Ismerjék, értelmezzék és egyszerű számítási feladatokkal igazolják az alapkészülékek működését vagy tulajdonságait leíró fizikai törvényszerűségeket;
- Ismerjék fel és azonosítsák az ipari mérőműszereket (nyomásmérők, áramló folyadékok mennyiségének megállapítására alkalmas műszerek, univerzális elektronikus műszerek, mérési adatgyűjtő és pneumatikus vezérlő eszközök). Tudják ezeket szakszerűen használni;
- Legyenek képesek az alapkészülékek gyártmánykatalógusból, vagy egyéb műszaki adatforrásból való azonosítására vagy kiválasztására egyszerű műszaki mérések elvégzése, vagy a tárgykörhöz kapcsolódó diagramok, számítási táblázatok, műszaki adatok elemzése alapján;
- Ismerjék fel és azonosítsák az aprítás, keverés, ülepítés, szűrés, centrifugálás, gáztisztítás, bepárlás, kristályosítás, szárítás, hűtés, adszorpció, desztilláció és extrakció jellemző típusait, valamint ezek kezelő és szabályozó eszközeit. Értelmezzék és egyszerű számítási feladatokkal igazolják a vegyipari műveletek működését vagy tulajdonságait leíró fizikai törvényszerűségeket;
- Tudjanak elvégezni az üzemvitel optimalizálását célzó számításokat, és legyenek képesek a számított paraméterek műszerekkel ellenőrzött beállítására, a műveleti berendezések komplex kezelésére az indítástól, a folyamatos üzem fenntartásán keresztül a leállításig;
- Tudatosan tartásuk be és alkalmazzák a munkavédelmi szabályokat;
- Szakszerűen dokumentálják az elvégzett vizsgálatokat;
- A mintafeladatok alapján legyenek képesek önállóan, hasonló ismeretekre épülő feladatokat megoldani, folyamatábrákat rajzolni, mérési utasításokat készíteni és végrehajtásukat ellenőrizni. ipari mérőműszereket (nyomásmérők, áramló folyadékok mennyiségének megállapítására alkalmas műszerek, univerzális elektronikus műszerek, mérési adatgyűjtő és pneumatikus vezérlő eszközök);
- Tudják szakszerűen és biztonságosan használni a feladatok megoldásához szükséges nyomás-, hőmérséklet és mennyiségmérő eszközöket, tudjanak az eszközökkel mérési feladatokat megoldani;

A FOGLALKOZÁSOK TARTALMA

| N ^o | Téma | Foglalkozás tartalma (elméleti ismeretek) | Gyakorlati feladat | Elvárt eredmény* |
|----------------|---|---|---|---|
| 1 | Vegyipari műveleti alapfogalmak: műszaki ábrázolás, anyagismeret, gépek, gépelemek jellemzői. Dokumentáció készítése, diagramok használata. | Bevezetés, munkavédelem. Műveleti alapok. Adatok feldolgozása, jegyzőkönyvek, táblázatok. Mérési adatok ábrázolása a hibaszámítás. | | Rajzok, diagramok értelmezése. Szakszerűen elkészített jegyzőkönyv, dokumentáció. |
| 2. | Tartályok és készülékek. Vegyipari gépelemek és biztonságtechnikájuk. | Tartályok és szerelvényeik. Tartály fő méretei, szilárdsága. Biztonsági szelepek típusai. | Tartály térfogata, biztonsági szelep beállítása. | Házi feladat a számításokról és a mérés értékeléséről. |
| 3 | Folyadékok és gázok szállítása. A folyadékáramlás jellemzői, számításuk és mérések. Csővezetékek és szerelvények. | Csővek, csőszerelvények és kapcsolások Szivattyúk szerkezete, főbb típusaik és kiválasztásuk | Áramlási alaplérések, csövek, hálózatok és szivattyúk vizsgálata. | Házi feladat és jegyzőkönyvek beadása. |
| 4 | Hőtan, hőcserélők, szerkezet és tulajdonság. Keverős készülékek | Hőcserélők számításai, szerkezetük, vizsgálatuk. Keverés művelete, készülékei. | Hőcserélők vizsgálata, keverési ellenállás mérése. | Jegyzőkönyvek és komplex feladat elkészítése |
| 5 | Hidromechanikai műveletek. Ülepítés, szűrés, gáztisztítás, centrifugálás | A műveletek jellemzői és főbb berendezéseik. Műveleti számítások elvégzése diagramok (szűrőgörbe, h-t-x diagram, vízgőz táblázat) segítségével. | Hatásfok mérések, szűrőgörbe felvétele optimalizálás. | Házi feladat és jegyzőkönyvek beadása. |
| 6 | Bepárlás, kristályosítás és szárítás. Atmoszférikus és vákuum bepárlás, a levegő állapotváltozása | | Termikus hatásfok és szárítási művelet vizsgálata | |
| 7 | Anyagátadási műveletek, desztilláció, ab- és adszorpció, extrakció. | A diffúziós műveletek jellemzői és főbb készülékeik, felhasználási területük. Művelet és folyamatleírás munkadiagramokkal. | Desztillálók és extrakciós berendezések vizsgálata. Értékelés egyensúlyi görbékkel. | Házi feladat, jegyzőkönyvek és komplex feladat elkészítése |
| 8 | Irányítástechnikai ismeretek, vezérlők és szabályozók működése, beállításuk, műveleti alkalmazásuk. | Szabályozók és vezérlők főbb jellemzői, matematikai leírásuk, kapcsolási logikájuk, műszereik. | Pneumatikus vezérlő kapcsolások, út-idő diagramok. Hatáslánc | Jegyzőkönyv: Kapcsolási rajz, út-idő diagram. |

* Az elvárt eredmény alatt a foglalkozásokon megadott határidőre beadandó, illetve email formájában beküldendő házi feladatot, rajzot és/vagy komplex jegyzőkönyvet értjük!

JAVASOLT TANULÁSI MÓDSZEREK

A foglalkozásokon való részvétel kötelező. Célszerű a tematika alapján a jegyzet segítségével a gyakorlatokra előzetesen felkészülni. Az elméleti órák mellett minden gyakorlathoz tartozik tanári magyarázat, bemutató, ezek alatt érdemes a jegyzet megfelelő helyén saját bejegyzéseket tenni.

A mérések értékelését és a számítások megértését mintapéldák segítik. Ezeket minden esetben nézzük át, és szükség esetén tanulmányozzuk a témához tartozó internetes információs lapokat is.

A foglalkozási jegyzőkönyveket gondval készítve, a számítások ellenőrzése után küldjük be!

1. A VEGYIPARI MŰVELETEK ALAPISMERETEI

A vegyipari műveletek az anyaggyártási technológiákban előforduló, általánosan megfogalmazható, fizikai változásokat eredményező tevékenységek összefoglaló tudománya. Lényegében a technológiai folyamatok építőkövei. A vegyipari technológia valamilyen konkrét anyag előállítását jelenti, míg, például a folyadék és szilárd anyag szétválasztására szolgáló **szűrés**, vagy az anyagok felmelegítését célzó **hőcsere**, vagy éppen a folyadékelegyek szétválasztására alkalmazott **desztillálás** bármelyik technológiában előfordulhat. A műveletek sora, a készülékek egymással való kapcsolata **folyamatábrával** szemléltethető.

A vegyipari műveleteket különböző alakú és működési tulajdonságú speciális gépekben hajtják végre. A gépek működését, a művelet tulajdonságait matematikai eszközökkel írhatjuk le, illetve a működési paramétereket a műveletre jellemző összefüggésekkel számíthatjuk ki. A művelet tulajdonságainak változását, vagy akár a jellemző tulajdonságok meghatározását sok esetben **diagramok** segítségével határozhatjuk meg.

1.1. SZERKEZETI ANYAGOK ÉS SZILÁRDSÁGI TULAJDONSÁGAIK

1.1.1. Szerkezeti anyagok fajtái és tulajdonságuk

A vegyiparban, és általában a műszaki élet különböző területein használt gépek, berendezések fémről, fából, műanyagból, üvegből, lényegében bármiből, még akár papírból is készülhetnek. Az anyagokkal szemben az elvárás csak az, hogy a műszaki feladatnak eleget tegyenek és a használat során fellépő fizikai terhelést elviseljék. A gépek, készülékek alkotó anyagát **szerkezeti anyagnak** nevezzük!

A szerkezeti anyagokat nagyon sokféleképpen lehet csoportosítani, de a gyakorlatban elterjedt főbb kategóriák:

- fémes szerkezeti anyagok, és ezen belül:
 - vas- és acélfajták;
 - alumínium és ötvözetek;
 - színes fémek (réz, bronz és egyéb ötvözetek);
- nem fémes szerkezeti anyagok, és ezen belül:
 - hőre keményedő és hőre lágyuló műanyagok;
 - fából készült szerkezetek;
 - üveg és kerámia anyagok;
 - építőipari szerkezeti anyagok (beton, téglák);
 - textíliák, papír anyagok;

Vegyipari szempontból kiemelt fontosságú szerkezeti anyagok a **vas- és acélfajták**. Az iparban felhasznált vas nem kémiai tisztaságú, hanem mindig tartalmaz valamennyi szenet, amelyet a vasgyártás során szándékosan "oldanak fel" az olvadt, folyékony fémbe. A megszilárdult vas és a benne oldott szén **különböző kristályszerkezetű ötvözetet** alkotnak. A szén vashoz viszonyított aránya határozza meg, hogy nyersvasról vagy acélról beszélhetünk. Az acélban a szén lényegesen kevesebb, viszont előállításához a vasgyártást követő második kohászati eljárásra, az acélgyártásra van szükség.

A kristályrácsban lapközepesen elhelyezkedő szén **alfa vas szerkezetet alkot**. Ez lágyabb, kevésbé rugalmas, de könnyű megmunkálni. Az acél a vörös izzásnál magasabb hőmérsékleten térközepes **gamma szerkezetű**. Ha az acélt olyan gyorsan hűtik le, hogy nem képes az alfa szerkezetre való átalakulásra, akkor "szobahőmérsékleten" is gamma szerkezetű marad. Az ilyen acél keményebb, de rugalmasabb, viszont nehezebb megmunkálni. A nagyon vázlatosan leírt technikai eljárások elsősorban a metallográfia tudományához tartoznak, a gyakorlatban sokszor előforduló gyorshűtésű **hőkezelést** edzés néven ismerjük. Az edzést gyakran követi a megeresztésnek nevezett, 200-300 °C hőmérsékleten végezett utólagos hőkezelés, amely az edzett acélt különösen rugalmassá, és a lengő igénybevételnek ellenállóvá teszi. Ilyen hőkezelésnek vetik alá például a rugókat, amelyek jellegzetes kék színe a megeresztéskeletkezik.

A vas- és acélfajták sokoldalúságát **polimorfizmusnak** nevezzük:

- a fémekben oldott szén aránya befolyásolja a szilárdságot: kevesebb szén szilárdabb és rugalmasabb, "acélosabb" szerkezetet eredményez;
- a szén helyzete a vas kristályrácsban szintén a szilárdsági és megmunkálhatósági tulajdonságokat befolyásolja;
- a vasban oldott további fémek által létrejövő **ötvetetek** megváltoztatják a vas eredeti tulajdonságait:
 - o a króm a savállóságot, korrózióval való ellenállást növeli;
 - o a nikkel és a titán a hőállóságot fokozza;
 - o a mangán különösen ütészállóvá teszi az acélt;
 - o a szilícium az elektromos tulajdonságokat javítja.
- az acél felületén viszonylag könnyű bevonatot képezni. Ilyenek például:
 - o zománcozás vagy kerámia bevonat, amely védi a korróziótól;
 - o plattírozás, vékony fémlemez gyártáskori ráhengerrése az acélra;
 - o galvanizálás, elektrokémiai úton készített fémes bevonat kialakítása;
 - o kémiai passziválás, például foszforsavval, ami növeli a korrózió-állóságot.
 - o különösen jól festhetők olajos alapú vagy zománc festékekkel;

Természetesen a felsorolt tulajdonságok és jellemzők, vagy ezek egy része más szerkezeti anyagokra is érvényes, de itt az általános kép kialakításához elegendőnek tartjuk a vas- és acélfajták részletezését.

1.1.2. A szerkezeti anyagok szilárdsága

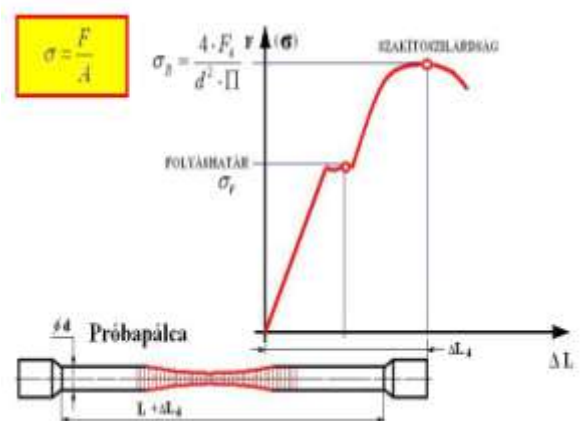
A szerkezeti anyagokat használat közben fizikai terhelés éri. A terhelés erő vagy nyomaték formájában jelentkezik. A terhelés hatására az anyagban feszültség ébred, ami a terhelő erő és a terhelt anyagkeresztmetszet hányadosa. A szerkezeti anyagok szilárdsága azt fejezi ki, hogy az anyag mekkora feszültségnek képes törés vagy elszakadás nélkül ellenállni!

A szerkezeti anyagok szilárdsági jellemzőit a **szakító diagram** mutatja meg. A vizsgált anyagból készített próbapálcát különleges terhelő berendezéssel húzzák. A készülék méri és diagramban ábrázolja a próbapálcát alakváltozását és a húzóerőt, illetve az ezzel arányos feszültséget.

A próbapálcát szabványos méretű henger, vagy ritkábban téglalap keresztmetszetű rúd, amelyen párhuzamos rovátkák közötti távolság mérésével ellenőrzik a nyúlást. A folyáshatár elérésekor, de még az elszakadás előtt a rúd közepe láthatóan "behorpad".

A diagramon néhány jellegzetes ábrarész figyelhető meg:

- A húzóerő növekedésével a próbapálcát arányosan megnyúlik, illetve az erőt megszüntetve rugalmasan eredeti méretére ugrik vissza. Ez az anyag **rugalmas alakváltozásának tartománya**. A szerkezeti anyagokat csak akkora erővel lehet terhelni, hogy a rugalmas alakváltozási tartományt a keletkező feszültség ne lépje túl!
- A rugalmas alakváltozás határfeszültségét **folyáshatárnak** nevezzük. Ebben az állapotban az anyag maradékalakváltozást szenved, szerkezete részben elveszti rugalmasságát.
- A szerkezeti anyag terhelését növelve elérünk egy olyan feszültségi állapotot, amelynél az anyag elszakad. Ezt a feszültséget **szakítószilárdságnak** nevezzük.



Néhány különleges esettől eltekintve a szerkezeti anyagot még a folyáshatár feszültségét okozó terhelésnek sem szabad kitenni. A **megengedett feszültség** a folyáshatár 60-70%-a!

A szerkezeti anyagok szakítódiagramja különböző alakú lehet. Rideg, törekeny anyagoknál a rugalmas alakváltozási szakasz rövidebb és meredekebb. Lágyabb anyagoknál pedig a folyáshatár és a szakítószilárdság közötti tartomány az elnyúltabb.

A szerkezeti anyagoknál értelmezzük a megengedett, vagy más néven **méretezési feszültséget**. Ez az érték általában a folyáshatár 70-80%-a, és azt a feszültségértéket tartalmazza, amelyet a terheléskor legfeljebb megengedünk a szerkezeti anyagban. A terhelés nagysága, az alakváltozás és a megengedett feszültség ismeretében elvégezhetjük az **igénybevételi** számításokat, és meghatározhatjuk a szerkezet főbb méreteit!

1.1.3. Szerkezeti anyagok igénybevétele

A szerkezeti anyagok igénybevétele lehet:

- húzás vagy nyomás, amikor a terhelő erő az anyag valamilyen keresztmetszetére merőlegesen hat;
- nyírás, amikor a nyíró-erő a keresztmetszettel párhuzamosan, mint az olló, terheli az anyagot;
- hajlítás, amikor a szerkezeti anyagot az egyik, vagy mindkét végén megtámasztjuk, és a támasztékok között terhelő erő a szerkezeti anyagban hajlító nyomatékot hoz létre;
- csavarás vagy összetett igénybevétel, a fentiek kombinációja.

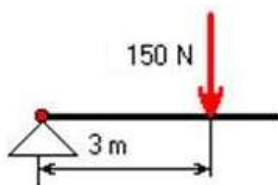
A szerkezeti anyagokra az erők és nyomatékok különböző módon hatnak. Ennek megfelelően a terhelések vizsgálata is különböző lehet:

- Nyugalomban lévő szerkezetek, mint például tartók, tartályok, kötő gépelemek vizsgálata a **statika** tárgykörébe tartozik, amely:
 - o az erők egyensúlyával, a szerkezetek igénybevételével;
 - o a szerkezetek szilárdságával és feszültségviszonyaival foglalkozik. Ebben körben kiemelt fontosságú a vékony lemezből készült vegyipari készülékek, **tartályok héjelméleti** alapú szilárdsági vizsgálata.
- Mozdó, általában forgó rendszerek teljesítmény-átvitele, kinematikai viszonyainak vizsgálata a **dinamika** tárgykörébe tartozik;
- A statika és a dinamika kapcsolatát írják le:
 - o A tartók és más statikus rendszerek rezgései és lengései, rugók dinamikája;
 - o Forgó rendszerek statikus terhelése: **tengelyek, csapágyak és fogaskerekek** terhelési viszonyai.

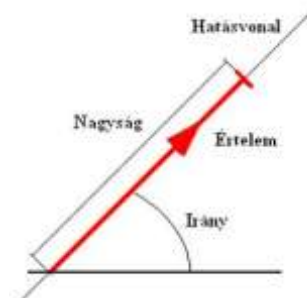
1.1.4. A szerkezetre ható erők és nyomatékok

Az erő a testeknek egymásra gyakorolt **hatása**. Eredményeképpen mozgásállapot- vagy alakváltozás következhet be. Ha a testre ható erők nem egyenlítik ki egymást, a test gyorsuló mozgással az erő hatásvonalára szerinti pályán, az erő irányába mozog. Erőegyensúly esetében a test nyugalomban van, vagy állandó sebességgel mozog, illetve, ha az erők a szerkezet határain belül kerülnek egyensúlyba, a test alakváltozást szenved és benne feszültség ébred. Az erőt:

- nagyság;
- irány;
- értelem;
- támadáspont (vonalon, felületen) jellemzi.



Nyomatékról akkor beszélünk, amikor az erő támadáspontja, és hatásának kifejtési pontja között mérhető távolság van. A nyomatékot az **erő és az erőkar szorzata** határozza meg.

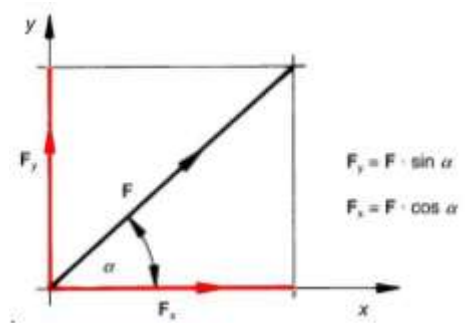


A baloldali ábra szerint: $M = F \cdot k = 150 \cdot 3$, azaz 450 Nm

Nyomaték keletkezik akkor is, amikor egy gép tengelyét meghatározott teljesítménnyel forgatjuk. Ilyenkor a nyomaték, illetve az ebből számított erő a tengely átmérőjétől és a fordulatszámától függ.

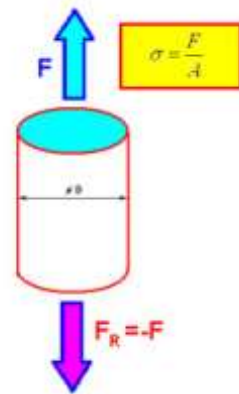
A mechanikai, vagy statikai egyensúly azt jelenti, hogy a testre (gépelemre, szerkezetre) ható erők egymást kiegyenlítik, **hatásvonaluk közös metszéspontjában az összegük nulla!** A mechanikai egyensúly megállapításának első lépése a testre ható erők csoportosítása, összevonása, az erők **eredőjének** meghatározása! Az erők eredőjének meghatározását az alábbi szabályok segítik:

- Két erő eredőjével helyettesíthető;
- Az erők hatásvonalukon eltolhatók;
- A közös pontba tolt erők erőparallelogrammát alkotnak;
- A parallelogramma átlója kijelöli az eredő erő irányát és nagyságát.;
- Az erő koordináta-rendszerben ábrázolható;
- A koordináta tengelyek irányába felbontható vízszintes és függőleges komponensekre;
- A komponensek nagysága szögfüggvénnyel kiszámítható;



1.1.5. A húzás. Szerkezeti elemek húzó vagy nyomó igénybevétele.

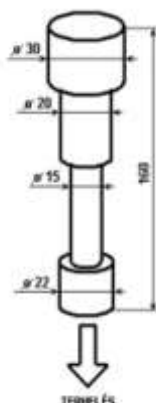
A szerkezeti anyagok húzó terhelése az egyik leggyakoribb igénybevételi mód. Az **erő** a húzott szerkezet húzási tengelyében hat. A tengelyre merőleges képzeletbeli sík által meghatározott **felület** lesz a húzásnak kitett szerkezet húzott felülete, amelyet a műszaki gyakorlatban **keresztmetszetnek** nevezünk. A húzófeszültség az erő és a keresztmetszet hányadosa, amit a görög **σ** (**szigma betűvel**) jelölünk. A méretezési számítás alapja az, hogy a terhelés hatására ébredő feszültség legfeljebb a megengedett feszültség értékét érje el!



A húzó-nyomó igénybevétel jellemzői:

- Az erő a húzott keresztmetszetre merőleges;
- A test nyugalomban van;
- A test statikai egyensúlyban van;
- Az erővel szemben reakcióerő ébred;
- A nyomó igénybevétel hatása a húzással azonos;

Változó átmérőjű szerkezet esetében a legnagyobb feszültség mindig a legkisebb átmérőjű részben ébred, tehát a szerkezetet erre kell méretezni, vagy a szerkezeti anyagot ennek megfelelően kell kiválasztani.



Az ábrán látható függesztő rúd 15 milliméteres átmérőjű részében ébred a legnagyobb húzófeszültség. Számítsuk ki ennek nagyságát, ha a rudat 15000 N erővel húzzuk!

- kiszámítjuk a rúd keresztmetszetét a legkisebb átmérőben: $A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$;

- behelyettesítés után $A = \frac{0,015^2 \cdot \pi}{4} = 1,77 \cdot 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$

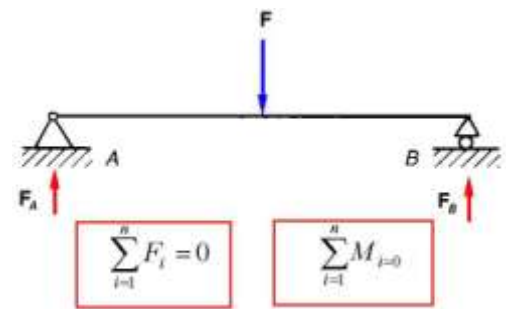
- kiszámítjuk a feszültséget: $\sigma = \frac{F}{A} = \frac{15000}{0,000177} = 8,48 \cdot 10^6 \text{ [Pa] (N/m}^2\text{)}$

Gyakorlásképpen számítsa ki a többi keresztmetszetben ébredő feszültségeket is!

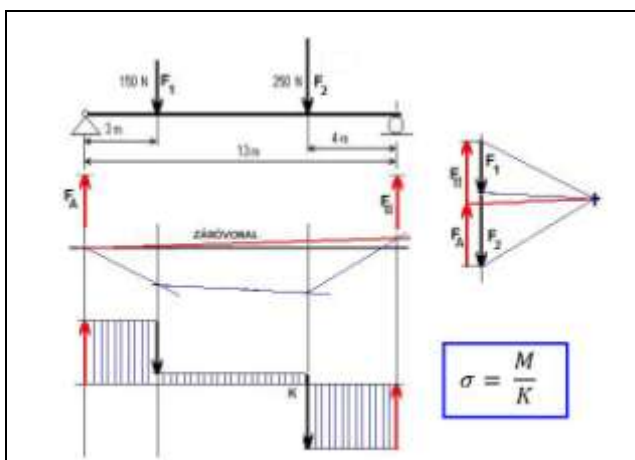
Számítsa ki, mekkora tömegű gépet lehet a függesztővel felemelni, ha az anyag megengedett feszültsége 140 MPa ? (2,52 t)

1.1.6. A hajlítás. Tartó szerkezetek terhelése és igénybevétele

A tartószerkezetek mechanikai modellje a **kéttámaszú tartó**. Olyan rudat (vagy például egy hidat) modellez, amelyet az egyik végén **csuklóval**, a másikon pedig **görgővel** támasztunk alá. A terhelés a rudat a két végpontja között éri, egy vagy több erővel. A terhelő erőt a rúd két végén lévő alátámasztás veszi fel, méghozzá úgy, hogy a csuklós alátámasztási pontban a **reakcióerő** bármilyen irányú lehet, de hatásvonala átmegy a csukló középpontján, míg a görgővel alátámasztott oldalon csak függőleges irányú reakcióerő ébredhet. A kéttámaszú tartó ezáltal válik **statikailag határozott** szerkezetté!



Kéttámaszú tartók erő- és terhelési viszonyait akár számítással, akár szerkesztéssel meghatározhatjuk. A szerkesztő eljárásnál az ún. **kötélsokszöget** használjuk úgy, hogy a vektorábrára kiegészül a **záróvonallal**, amely a reakcióerők nagyságát jelöli ki.



Ellenőrizzük a szerkesztést számítással:

- erőegyensúly: $F_A + -F_1 + -F_2 + F_B = 0$
- nyomatéki egyensúly az „A” (csukló) pontban:
 $M_A = 0 = -F_1 \cdot 3 + -F_2 \cdot (13 - 4) + F_B \cdot 13$
- behelyettesítés után: $F_B = 207,7$ és $F_A = 192,3$ [N]
- hajlító nyomaték a „K” keresztmetszetben:
 $M_h = F_A \cdot (13 - 4) + -F_1 \cdot ((13 - 4) - 3) !$
- behelyettesítés után: $M_h = 830,7$ [Nm]

A szerkesztés lépései:

- Megrajzoljuk a tartó terhelési ábráját, kijelöljük a hossz- és erőléptékeket;
- Megrajzoljuk az erők vektorábráját, kijelöljük az "O" pontot;
- A kötélábrát vissza szerkesztjük a terhelési ábrára, behúzzuk a záróvonalat;
- Meghatározzuk a reakció erők nagyságát és bejelöljük a terhelési ábrán;
- Végül megrajzoljuk a **nyíróerő ábrát** az erők előjelének megfelelő szerkesztési irányval. Ahol az erő vonala metszi a tartót jelképező vízszintes vonalat, ott van a tartót terhelő legveszélyesebb keresztmetszet!

Esetünkben a veszélyes keresztmetszet az F_2 erő vonalában van, ahol a nyomaték értéke: 830 [Nm]

A tartót terhelő nyomatékot a K pontra felírt nyomatéki egyenlettel határozhatjuk meg. Példánkban erre a pontra az F_A és F_1 erők fejtenek ki nyomatékot. Az F_2 "átmegy" a K ponton, az F_B pedig már a nyomatéki egyensúlyt tartja! Ezt a számítási módot, miután a K ponttól balra eső erőkből számítjuk **baloldali erők nyomatékának** is nevezzük!

A kéttámaszú tartó veszélyes keresztmetszetében keletkező nyomaték és a **keresztmetszeti tényező** hányadosa határozza meg a hajlító feszültséget. A keresztmetszeti tényező a tartó alakjától függ.

A jobboldali ábrán látható összefüggések a kör és a téglalap keresztmetszetű rudak K tényezőjét írják le, de különböző geometriai megfontolásból más alakzatokra is kiszámíthatók.

- hajlító feszültség a veszélyes keresztmetszetben:

$$\sigma_h = \frac{M_h}{K} = \frac{830,7}{1,227 \cdot 10^{-5}} = 67,7 \text{ [Mpa]}$$

$$\sigma = \frac{M}{K}$$

$$K = \frac{a \cdot b^2}{6}$$

Téglalap

Például:
 D = 50 mm átmérőjű, körkeresztmetszetű tartó $K = 1,227 \cdot 10^{-5}$

$$K = \frac{D^3 \cdot \Pi}{32}$$

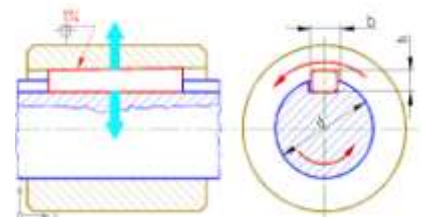
Kör

1.2. GÉPEK, GÉPELEMÉK ÉS ÁBRÁZOLÁSUK

A vegyipari műveletek gépei általában számos alkatrészből, elemből, szerkezeti egységből állnak. Az alkatrész általános fogalma mellett a műszaki életben használjuk a **gépelem** fogalmát, amely nem azonos, az alkatrésszel, inkább több, és elsősorban a szerkezet feladatára, funkciójára utaló megnevezéseket tartalmaz. A gépelemeket különböző szempont szerint csoportosítjuk:

- Gépek, szerkezetek önálló tulajdonságú részei;
- Erőt, nyomatékot, teljesítményt közvetítenek;
- Jellemző csoportok:
 - o Kötőgépelemek (csavar, szegecs, ék, retesz);
 - o Támasztó gépelemek (csapágy, tartó, rugó);
 - o Forgó gépelemek (tengely, tengelykapcsoló);
 - o Hajtóművek (dörzshajtás, fogaskerék-hajtás);
 - o Egyéb (például vegyipari) gépelemek (tartályok, szelepek, csőhálózatok, keverők stb.)

A felsorolás gyakran önkényes, és az egyes típusok között átfedések is lehetnek. Például az **ék** és a **retesz** egyszerre kötő gépelem is és forgó gépelem is. Ezt úgy kell érteni, hogy egy tengely és a rá szerelt tárcsa együttfutását, mint kötőgépelem, a retesz biztosítja, de a retesz egyúttal forgómozgással átadott teljesítmény továbbítására szolgál. (Erőt ad át!)



1.2.1. Gépelemek ábrázolása

A gépelemek ábrázolása nem igényel különösebb rajzi tehetséget, hanem az ábrázolási szabályok pontos ismeretét, elsajátítását. Ábrázolási módok:

- szabadkézi vázlat, elvi ábrák;
- perspektivikus térbeli ábrák;
- axonometrikus (torzított perspektíva) ábrák
- vetületi ábrázolás

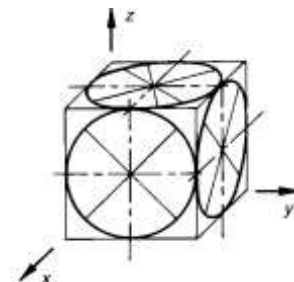
A műszaki rajzokat **szabványos előírások** szerint készítjük. A legfontosabb szabványok:

- rajzlap-méreték és méretarányok (nagyítás, kicsinyítés);
- vonalvastagságok;
- vonaltípusok (kontúr, szerkesztő, méretező, szimmetria stb.);
- különleges jelölések (metszet, kitörés, menet, egyszerűsítés);
- méretezés és méretmegadás (méretek, jelölések, tűrések).

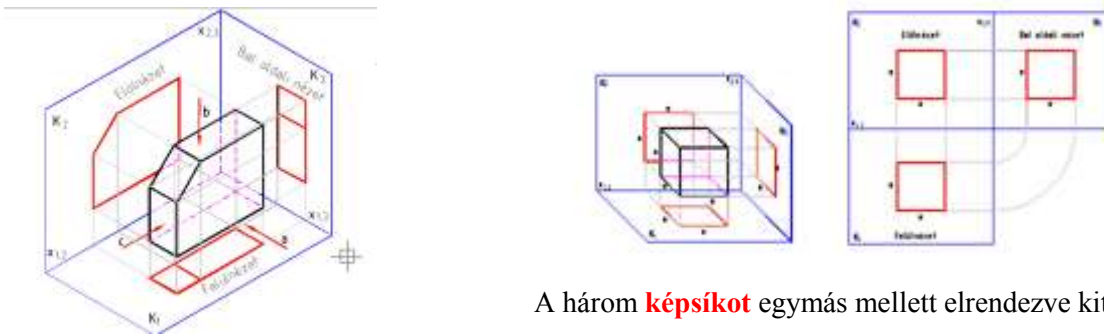
Az ábrázolási ismereteket legtöbbször torzított térbeli ábrák, **axonometrikus rajzok** segítségével tanulmányozzuk. Az axonometria szó görög eredetű, és kissé pontatlan, értelmező fordításban „tengelyre szerkesztést” jelent. Különböző szerkesztési módok léteznek, ebből a műszaki gyakorlatban a **frontális axonometria** használatos. Jellemzői:

- 45°-os tengelyek
- 1:1 / 1:2 méretezés
- könnyen szerkeszthető, viszont:
- fontos a nézősík kiválasztása

Az ábrán látható kocka előlnézeti képe az eredeti alaknak és méreteknak megfelelő, viszont a rajzlap síkjára „merőleges” ábraelemeket az eredeti nagyságuk felében ábrázoljuk, így a kocka lapjára rajzolt szabályos kör ferde ellipszissé torzul.



A műszaki életben a **vetületi ábrákat** használjuk. Ezek a térbeli tárgy oldalainak szabályos „kivetítése” az oldalakkal párhuzamos síkokra. A síkra (képsík) kivetített ábrákat nézeteknek nevezzük.

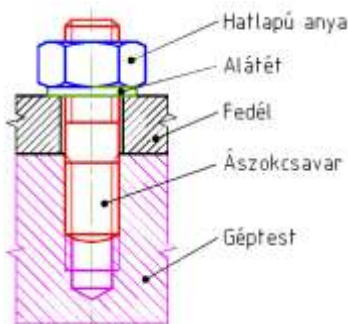


A három **képsíkot** egymás mellett elrendezve kiterítjük!

Megállapodás szerint a tárgy előlnézetéhez képest a felülnézet alulra, a baloldali oldalnézet jobbra kerül. A képsíkok egymáshoz képest elmozdíthatók. Az összetartozó pontokat a vetítővonalak jelölik ki. A gyakorlatban, ha jól választunk, elég egy képsík

A **metszet** célja, hogy a valóságban nem látható részeket megmutassa! Ilyenek lehetnek:

- Üreges belső kialakítású gépelemek
- Egymásba illesztett alkatrészek, gépcsoportok!



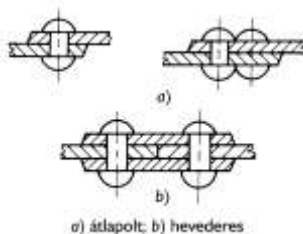
A példán látható metszet azt mutatja meg, ahogyan egy készülék fedelét a géptestben kialakított menetes furatba csavart **ászokcsavar** segítségével rögzítünk, úgy, hogy az ászokcsavarra **hatlapú anyacsavart** tekerünk.

Az egyes metszett darabokat a különböző irányú ferde vonalak jelölik. A csavart és az anyát ugyanakkor nem metszjük el!

Az ábrán a menetet a csavarorsóra rajzolt vékony vonallal (jelkép) ábrázoljuk!

1.2.2. Kötőgépelemek

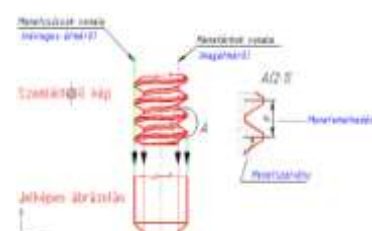
A legismertebb és leggyakrabban alkalmazott gépelemcsoportot alkotják. **Oldható** kötőgépelem a csavar és **nem oldható** kötőgépelem a szegecs. Az „oldhatóság” azt jelenti, hogy a csavarkötés szétszereléssel megszüntethető, míg a nem oldható szegecskötést csak a szegecs vagy az összekapcsolt alkatrészek szétroncsolásával lehet megszüntetni.



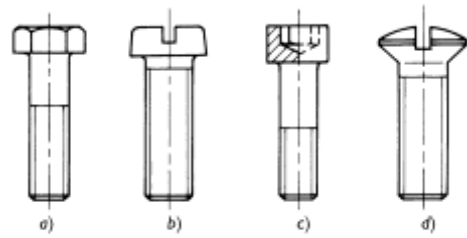
A **szegecskötés** meglehetősen „régimódi” műszaki megoldás. Általában lemezből készült szerkezeteket kapcsolnak vele össze. Ilyenek például a lemezből készült hidak, illetve egyes tartályok, például a gőzkazán víztartálya. A szegecs egy vagy több sorban helyezkednek el. A lemezeken egymástól azonos távolságra furatokat készítenek, majd a lemezeket egymásra lapolják. A szegecsket a furaton átdugva, megfelelő szegecshúzó, szegecselő szerszámmal szorosan elkalapálják. A pontosabb egymáshoz illesztését szolgálja a hevederes kötés alkalmazása.

A csavarok olyan henger alakú gépelemek, amelyeknél a henger palástjára szabványban rögzített alakú, többnyire háromszög profilú, egyenesen emelkedő hornyot készítenek. Erre a **menetre** csavarható rá az általában hatszögletes fémdarabban lévő furatba készített ugyanolyan menetprofilú anyacsavar.

A képen a csavar vázlata és műszaki rajzi jelölése látható!

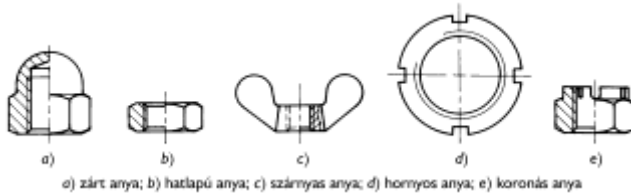


A csavarorsó fejének kialakítása az alkalmazott szerszámhoz igazodik. A hatlapfejű csavarokat szerelőkulccsal, „villáskulccsal” szerelik, a belső kulcsnyílású csavart ún. imbusz-kulccsal, míg a hornyolt fejű típusokat csavarhúzó szerszámmal.



a) hatlapfejű csavar; b) hengeres fejű csavar; c) belső kulcsnyílású csavar; d) hornyolt fejű csavar

A csavaranya kialakítása szintén a szerelési módhoz és szerelő szerszámhoz igazodik.

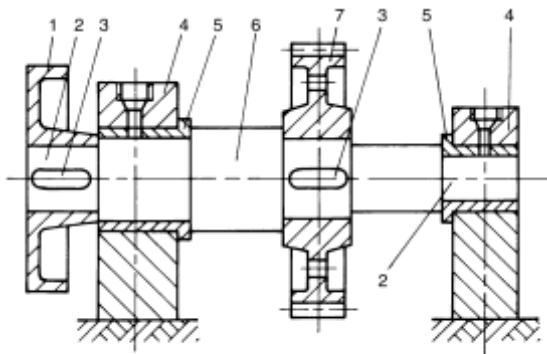


a) zárt anya; b) hatlapú anya; c) szárnyas anya; d) hornyos anya; e) koronás anya

1.2.3. Tengelyek, tengelykapcsolók, csapágyak

A gépek többségét valamilyen energia-átalakítóval, **motorral** működtetjük. A motorok forgó mozgást végeznek, a motor tengelye tengelykapcsolóval csatlakozik a hajtott gép tengelyéhez. A tengelyt különleges szerkezeti elemmel, a csapággal támasztjuk meg, ami lehetővé teszi, hogy a tengely elforduljon a környezetéhez képest. Ezzel szemben van olyan eset is, amikor éppen a tengely és a rászertelt forgó gépelem – pl. tengelykapcsoló, fogaskerék, szíjtárcsa – együttforgásáról kell gondoskodni, amit ék- vagy reteszkötéssel oldunk meg.

Példaként tanulmányozzuk a baloldali ábrát!

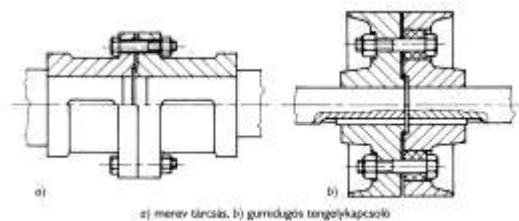


1 tárcsa; 2 végcsap; 3 retesz; 4 csapágyház; 5 persely; 6 tengely; 7 fogaskerék

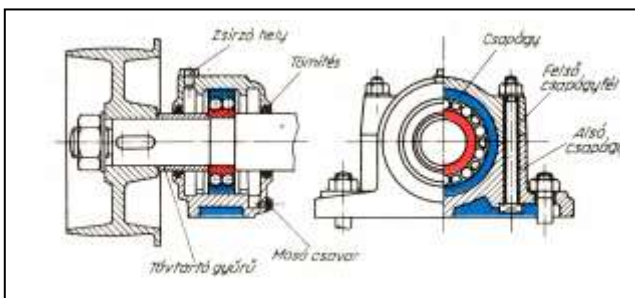
A **lépcsős tengelyre** balról egy **hajtótárcsát** szereltek retesszel. Középen **fogaskerék** metszeti rajza látható. A fogaskerékre az ábra alsó és felső részén látható pontvonal utal, ez jelkép. A fogaskerék teste „könnyített”, elvékonyított, sőt még furatok is vannak benne. A tengelyt két oldalról **csapágy** fogja közre.

A csapágy **persely** színes fémből készült, és külön furaton lehet a kenőanyagot hozzávezetni. Ezek **siklócsapágyak**.

A **tengelykapcsolók** egymással forgó kapcsolatban lévő gépek tengelyeinek összekötésére valók. Általában két félből állnak: az egyik tengely végére szerelik az egyik, a másikra a másik fél részt. A részeket csavarral kötik össze. A tengelyen való elfordulás ellen véd az ék vagy a retesz kötés, ami végső soron **a teljesítmény átviteléről** gondoskodik!



a) merev tárcsák, b) gumidugós tengelykapcsoló



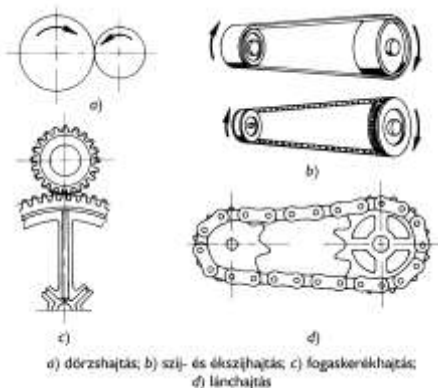
A csapágyak másik nagy csoportját a **gördülő** csapágyak alkotják. Ezeknél a gépelemeknél két hornyolt fémgyűrű között golyók vagy kis hengerek található. Az egyik gyűrű a csapágyházban **áll**, a másikat pedig a tengelyre rögzítik. A forgómozgást a két gyűrű hornyaiban „gördülő” golyók végzik.

Figyeljük meg az ábrázolás rajzi elemeit, a bal oldali ábraelem metszeti rajzát, míg a tengely felől

ábrázolt csapágyház „fél metszet – fél nézet” ábrázolási módját! A csapágyház maga is két részből áll, ezt az ellenkező irányú vonalkázásokból látjuk. A csapágyakat zsíróval kenik, a zsír kifolyását tömítéssel akadályozzák meg.

1.2.4. Forgó gépek teljesítmény-átvittele, hajtások, hajtóművek

A forgómozgás közvetítése, a motorok által hajtott gépek működése mindig erő-, illetve nyomaték átvitelt jelent. A gép **munkát** végez. Ennek időegységre eső hányadosát **teljesítménynek** nevezzük.



Az előző pontban látott egytengelyű hajtások mellett gyakran alkalmaznak párhuzamos tengelyek közötti forgómozgás átvitelt. Ilyen lehet a **dörzshajtás**, **szíj-** és **lánc-hajtás**, valamint a **fogaskerekes** hajtás. Különleges fogaskerekes hajtóművekkel nem csak párhuzamos, de merőleges, sőt egymáshoz képes kitérő tengelyek között is megvalósítható a forgómozgás átvitele.

Ha a hajtó és a hajtott tengelyre szerelt forgóelem különböző átmérőjű, akkor a két gép tengelyének fordulatszáma is különbözni fog. Az így kialakított gépeket nevezzük fordulatszám váltó, vagy közismerten **„sebességváltó”** hajtóműveknek!

A fordulatszám változás alapja az, hogy az egymással összekapcsolt forgó gépelemek **kerületi sebessége** megegyezik, különben csúsznának (slip), vagy fogaskerekes hajtómű esetén a fogak letörnének! Tehát:

$$v_k = d_1 \cdot \pi \cdot n_1 = d_2 \cdot \pi \cdot n_2 \text{ [m/s]}, \quad \text{ahol: } d_1 \text{ és } d_2 \text{ a kapcsolódó forgó elemek átmérője;}$$

$$n_1 \text{ és } n_2 \text{ a forgó gépelemek tengelyének fordulatszáma.}$$

Ha a fenti azonosságot egybevetjük és megfelelően átrendezzük, akkor a $\frac{d_1}{d_2} = \frac{n_2}{n_1} = i$, **áttételt** kapjuk!

A forgó gépelemmel teljesítményt viszünk át, amely mind a két tengelyen azonos. Ez a tulajdonság az azonos kerületi sebességgel forgó, együttfutó alkatrészek kerületén fellépő erő azonosságát is jelenti. A kerületi erő a tengely középpontjához képesti távolság miatt a tengelyben nyomatékot hoz létre.

A nyomaték és a fordulatszám szorzata állandó!

$$P = M_1 \cdot n_1 \cdot 2 \cdot \pi = M_2 \cdot n_2 \cdot 2 \cdot \pi, \text{ [W]}$$

Egy 500 kg összes tömegű felvonót 1,3 m/s sebességgel emelünk úgy, hogy a felvonó kötele 600 mm átmérőjű dobra csévélődik.

- Mekkora teljesítményű motor szükséges a felvonó állandó sebességű működtetéséhez?
- Mekkora áttételt alkalmazunk, ha a motor fordulatszáma 1440 f/min?

A motor teljesítményét az általánosan ismert $P = F \cdot v$ összefüggésből is ki lehet számítani!

$$P = m \cdot g \cdot v = 500 \cdot 9,81 \cdot 1,3 = 6376 \text{ [W]}$$

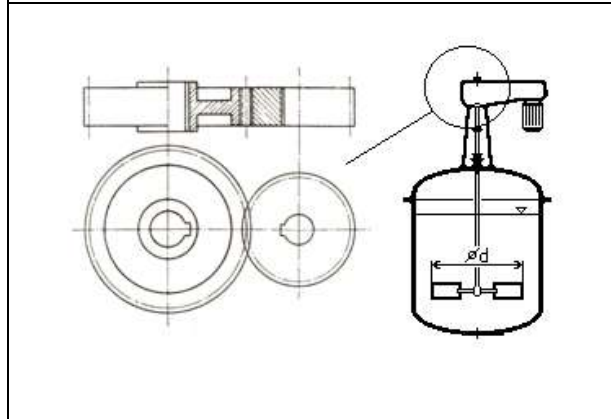
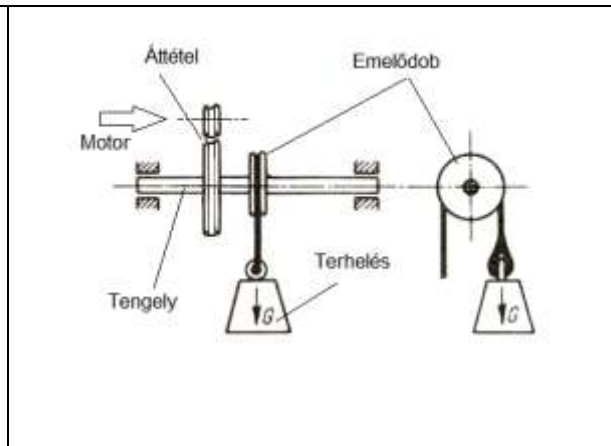
Az emelőtengely fordulatszáma a $v = d \cdot \pi \cdot n$ alapján

$$n = \frac{v}{d \cdot \pi} = \frac{1,3}{0,6 \cdot \pi} = 0,69 \text{ [1/s]}, \text{ és az áttétel:}$$

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{0,69}{1440/60} = 0,028 \text{ [-]}$$

Keverőtengely hajtását 2 kW maximális teljesítményű 960 f/min fordulatszámon forgó villanymotor végzi a tengelyére szerelt 80 mm osztókör átmérőjű fogaskerekes hajtással. A keverő fordulatszáma 320 f/min. A keverő elem működéskor $d = 1$ méter átmérőjű körön mozog. Mekkora a hajtott fogaskerék osztókör átmérője, és mekkora a keverőn fellépő legnagyobb erő, ha a teljesítmény veszteség 50 W?

(240 mm és 116,4 N)



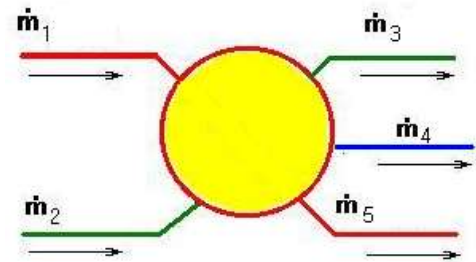
1.3. AZ ANYAG- ÉS ENERGIAMÉRLEG SZÁMÍTÁSAI, FOLYADÉKOK ÁRAMLÁSA

A vegyipari műveletekre jellemző a fizikai változást eredményező **"hajtóerő"**, amely lehet valóságos fizikai erőter, például az **ülepítés** esetében a gravitáció erő, vagy a műveletben résztvevő anyagok jellemző fizikai adatának különbsége. Például **hőcserénél** a hőmérsékletkülönbség, **abszorpciónál vagy extrakciónál** a fázisok közötti koncentráció különbség.

A műveletek jellemző tulajdonsága, hogy érvényes rájuk az anyag- és energia-megmaradás törvénye, amelyet az **anyagmérleggel**, illetve a **hőmérleggel** kapcsolatos számításoknál alkalmazunk, továbbá az, hogy többségük valamilyen kiegyenlítődesre, vagy **egyensúlyra** törekvő folyamatot tartalmaz.

A vegyipari műveletek vizsgálatakor célszerűen olyan modellt alkalmazunk, amely a tényleges berendezés alakjától és méretétől függetlenül, mintegy **anyag- vagy energiacentrumot** képezve teszi érthetővé a számításokat

A műveleti egységet egy kör jelzi, amibe belépnek, és amiből kilépnek anyagok és energiák.



Az anyagok keverednek egymással (Egyesülnek vagy szétválnak)

1.3.1. Az anyagmérleg

A jobboldali ábrán jelzett műveleti egységbe két különböző anyagot vezetünk be, amelyekből három részre vált „termék” kapunk. Az anyagmérleg általános alakja:

$$\sum_{i=1}^n \dot{m}_{Be_i} = \sum_{j=1}^k \dot{m}_{Ki_j}$$

A készülékbe bevezetett anyagok (anyagáramok, tömegáramok) összege megegyezik a keletkezett anyagok összegével! Esetünkben:

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3 + \dot{m}_4 + \dot{m}_5, \text{ [kg/s] vagy [kg/h]}$$

Ezt az egyenletet **teljes anyagmérlegnek** nevezzük!

Ha a feldolgozott anyag nem egy komponensből áll, hanem valamilyen összetételű szuszpenzió, emulzió, oldat vagy elegy, akkor a teljes anyagmérleg mellett a valamelyik komponensre felírt **részleges anyagmérleg** egyenletét is alkalmaznunk kell. Ez utóbbi jobban segíti a művelet elemzését, számításait!

$$\sum_{i=1}^n \dot{m}_{Be_i} \cdot w_{Be_i} = \sum_{j=1}^k \dot{m}_{Ki_j} \cdot w_{Ki_j}$$

ahol w a bevezetett és az elvezetett anyagok koncentrációja [m%].

Figyeljük meg, hogy a tömegáramot (kg/s) az 'm' betű fölé irt ponttal jelöljük!

*Figyeljük meg, hogy a jobboldali feladat egyenleteinél a **tömegáram indexe** az anyag megnevezés kezdőbetűjét tartalmazza:*

- $B = \text{betáplálás,}$
- $D = \text{desztillátum}$
- $M = \text{maradék!}$

Emiatt gyakran találkozunk a pontos egyenlettel egyenértékű felírási móddal:

$$B = D + M, \text{ és}$$

$$B w_B = D w_D + M w_M$$

A leírtak jobb megértése érdekében tanulmányozzuk az alábbi példát: (lásd: 2.18. fejezet)

Folyamatos üzemű desztillálóban óránként 15 t, 20 m%-os benzol-tuloul elegyből 80 m%-os párlatot állítunk elő. A maradék benzol tartalma 5 m%. Hány tonna desztillátum és hány tonna maradék keletkezik óránként?

- felírjuk a teljes és a benzolra vonatkozó részleges anyagmérleget:

$$\dot{m}_B = \dot{m}_D + \dot{m}_M$$

$$\dot{m}_B \cdot w_B = \dot{m}_D \cdot w_D + \dot{m}_M \cdot w_M$$

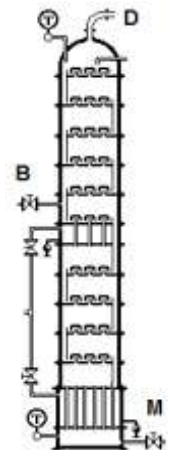
Az adatok alapján a két ismeretlenes egyenletrendszerből:

$$\dot{m}_D = \dot{m}_B \cdot \frac{w_B - w_M}{w_D - w_M} \text{ [t/h]}$$

$$\dot{m}_D = 12 \cdot \frac{20-5}{80-5} = 3 \text{ [t/h]}$$

Ellenőrizze az eredményt:

$$\dot{m}_D = 3 \text{ és } \dot{m}_M = 12, \text{ [t/h]}$$

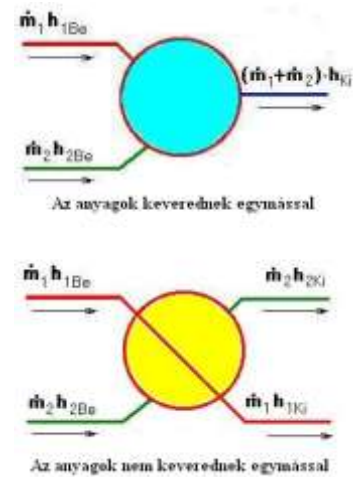


1.3.2. Az energiamérleg

Az anyagmérleghez hasonló módon értelmezzük az energiamérleget is. Ennek elsődleges jelentősége a **hőátadással, hőcserével** kapcsolatos feladatoknál van. A műveleti „centrumot” annak megfelelően kell megrajzolni, hogy a hőcserében résztvevő anyagok **közvetlenül érintkeznek**, keverednek egymással, vagy a hőenergiát az erre alkalmas készülék falának külső és belső felületével érintkezve, a **hőátadó felületen** keresztül **közvetve** vesznek részt az energiatartalmuk cseréjében, változtatásában. A számításoknál vegyük figyelembe, hogy:

- A mennyiség és a hőtartalom szorzatának összege a műveleti egységben állandó!
- Az átadott hőenergiát a mennyiség és a hőtartalom-változás szorzata alapján számítjuk

$$\sum_{i=1}^X \dot{m}_i \cdot h_i = \sum_{j=1}^Y \dot{m}_j \cdot h_j$$



Az energiamérleg alkalmazásának megértésére tanulmányozzuk az alábbi feladatot!

| | |
|---|--|
| <p>Az ábrán látható öt köbméteres, nyitott tartályban három köbméter 20 °C hőmérsékletű víz van, amelybe egy csőből 0,3 MPa nyomású gőzt vezetnek. 1,2 kg/s intenzitással.</p> <p>Számítsuk ki a tartályban lévő víz mennyiségét és hőmérsékletét öt perccel a fűtés megkezdése után! A víz fajhőjét minden hőmérsékleten 4,19 kJ/kg°C értékkel vesszük figyelembe. A fűtőgőz adatait az alábbi táblázat tartalmazza!</p> | |
|---|--|

| Nyomás | bar | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Hőmérséklet | °C | 99,64 | 120,57 | 133,59 | 143,67 | 152,01 |
| Párolgáshő | kJ/kg | 2242 | 2188 | 2158 | 2136 | 2120 |

A feladat megoldása arra vezethető vissza, hogy a 3 m³ – azaz 3000 kg tömegű – víz a bevezetett **vízgőz** kondenzálódásakor felszabaduló hőenergia által melegszik. A gőz **hőtartalma** a forráspontjához tartozó **foliadékkállapot**, és az elpárologtatáskor befektetett, a kondenzációkor felszabaduló rejtett hő, a **párolgáshő** összege. A forrásponti hőmérséklet és a párolgáshő gőzök esetében **nyomásfüggő!** A kondenzálódó gőz mennyisége hozzáadódik a tartályban lévő víz mennyiségéhez!

- A közvetlen bekeveréses melegítőbe bevezetett gőz nyomása és adatai:
 $p = 0,3 \text{ MPa} = 3 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 3 \text{ bar}$, így a hőmérséklete: 133,6 °C, a párolgáshője: 2158 kJ/kg
- A tartályba 5 perc alatt bevezetett gőz mennyisége: $m_g = \dot{m}_g \cdot t \cdot 60 = 1,2 \cdot 5 \cdot 60 = \underline{360} \text{ kg}$
- A művelet végén az összes anyagmennyiség: (3 m³ = 3000 kg értékkel) 3000+360 = 3360 kg
- A keverés hőmérlege: (* a gőz a vízben kondenzálódik, ezzel melegítve a vizet)

$$m_g \cdot (c \cdot t_g + \Delta h_g) + m_v \cdot c \cdot t_{v0} = (m_g + m_v) \cdot c \cdot t_{v1}, \text{ kJ}$$

- Ebből a tartályban lévő összes víz hőmérséklete 5 perc után:

$$t_{v1} = \frac{m_g \cdot (c \cdot t_g + \Delta h_g) + m_v \cdot c \cdot t_{v0}}{(m_g + m_v) \cdot c} \text{ °C}$$

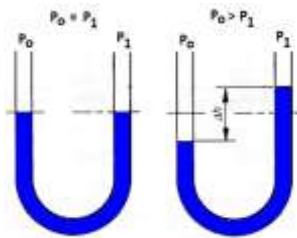
$$t_{v1} = \frac{360 \cdot (4,19 \cdot 133,6 + 2158) + 3000 \cdot 4,19 \cdot 20}{(360 + 3000) \cdot 4,19} = 86,73 \text{ °C}$$

87 °C

1.3.3. Folyadékok és gázok áramlása

A folyadékok és gázok áramlását különböző matematikai összefüggések írják le. Ezek egy része a nyugvó (álló) folyadék nyomásviszonyait, mások az áramlás folytonosságát, jellegét vagy az áramló közeg energiaváltozását tárják fel. Bármilyen áramlási feladatot vizsgálunk, ezeket a törvényszerűségeket pontosan meg kell értenünk, és jól kell alkalmaznunk!

A hidrosztatikai nyomás:



Az U-alakúra hajlított csőben lévő folyadék az U két szárában azonos szinten áll, ha a cső két végére ugyanakkora nyomás hat. Ha a P_0 nyomás valamilyen ok miatt megnő, akkor a folyadékoszlop a csőben a P_1 nyomás irányába kitér, felemelkedik. A P_1 és a P_0 nyomás különbsége arányos a folyadékoszlop magasságával és a csőben lévő folyadék sűrűségével, valamint a gravitációs gyorsulással. (g)

$$\Delta p = \Delta h \cdot \rho \cdot g, \text{ Pa}$$

Az áramlás folytonossága:

A csőben áramló folyadék sebessége és az áramlási keresztmetszet szorzata állandó!

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

ahol:

A - a cső keresztmetszete [m^2]

v - a folyadék sebessége [m/s]

Ez azt jelenti, hogy ha a csővezeték átmérője megváltozik, (és ezzel változik az áramlási keresztmetszet is), akkor a folyadék sebessége a keresztmetszet-változással arányosan nő vagy csökken. Ezt nevezzük az áramló folyadék **kontinuitásának**. A kontinuitási (vagy folytonossági) tételt gyakran alkalmazzuk áramló folyadékok mennyiségének mérésénél, vagy az áramlás jellegét meghatározó vizsgálatoknál.

Az áramló folyadék mennyisége

A folytonossági törvényből az áramló folyadék vagy gáz mennyisége is meghatározható. Az áramlási keresztmetszet és a sebesség szorzata az áramló folyadék **térfogatáramát**, azaz időegység alatti áramló térfogatát, mennyiségét adja! (Mértékegysége m^3/s , m^3/h , dm^3/sstb lehet!)

$$\dot{V} = A \cdot v \text{ [m}^3/\text{s]}$$

Az áramló folyadék energiája - a Bernoulli törvény:

Az áramló folyadék szint- és nyomásváltoztatásához energiára van szükség. Szintén energia szükséges a sebessége megváltoztatásához, valamint az áramlással szembeni csőellenállás leküzdéséhez. Ezt az energiát **szivattyú** közvetíti a folyadék felé. Szivattyú hiányában áramlás csak úgy jön létre, hogy az energiák összege a kiinduló és végpont között állandó! Ezt a törvényszerűséget írja le a **Bernoulli-tétel**.

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + \frac{p_1}{\rho \cdot g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + \frac{p_2}{\rho \cdot g}$$

ahol:

h_x - a vizsgált pont magassága, m

v_x - a folyadék sebessége a vizsgált pontban, m/s

p_x - a folyadék nyomása, Pa.

A gyakorlatban az áramlás mindig veszteséges. Az áramló folyadék mozgatásához szükséges energiát **manometrikus szállítómagasságnak** nevezzük. Jele a **H**, mértékegysége J/N.

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

ahol:

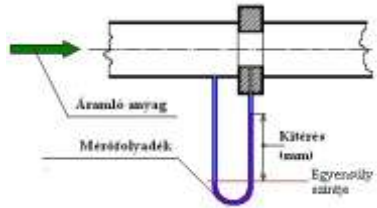
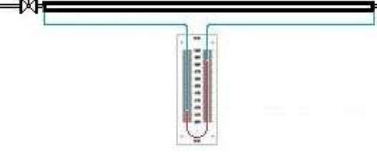
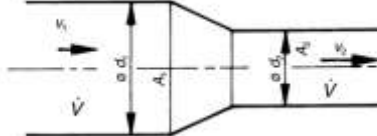
- $h_2 - h_1$ - a szintkülönbség

- $v_2^2 - v_1^2$ - a mozgó folyadék sebességkülönbsége

- $p_2 - p_1$ - a két végpontban mérhető nyomások különbsége

- h' - a csővezeték vesztesége

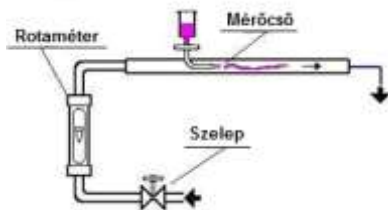
Gyakorló feladatok:

| | |
|---|---|
| <p>Mérés U-csöves nyomáskülönbség-mérővel</p> <p>Az ábrán látható műszerrel csőben áramló levegő mennyiségét mérjük! A műszerhez kapcsolt U-csöves nyomáskülönbség mérőben lévő víz 40 mm kitérést mutat. Állapítsuk meg a nyomáskülönbséget, ha a víz sűrűsége 1000 kg/m^3!</p> |  |
| <ul style="list-style-type: none"> - A kitérés nagysága: $\Delta h = 40/1000 = 0,04 \text{ m}$ - A nyomáskülönbség: $\Delta p = \Delta h \cdot \rho \cdot g$, tehát $\Delta p = 0,04 \cdot 1000 \cdot 9,81 = \underline{392,4 \text{ Pa}}$ (Pascal) | <p>Számítsuk ki a nyomáskülönbséget 65 mm kitérésnél is!</p> <ul style="list-style-type: none"> - A kitérés nagysága: - A nyomáskülönbség: |
| <p>Számítsuk ki a nyomáskülönbséget abban az esetben, ha az U-csőben higany van, és a műszerrel felszerelt csőben nem levegő, hanem víz áramlik! A kitérés továbbra is 40 mm!</p> <ul style="list-style-type: none"> - A kitérés nagysága: $\Delta h = 40/1000 = 0,04 \text{ m}$ <p>A nyomáskülönbség számításánál ilyen esetben már figyelembe kell venni, hogy amíg az egyik oldalon Δh nagyságú higanyoszlopot mérünk, addig a másikon nem hanyagolható el az ugyanekkora méretű vízoszlop hatása. Az egyensúly helyére felírt nyomások értéke:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Baloldalon: $p_B + \Delta h \cdot \rho_{\text{víz}} \cdot g = p_B + 0,04 \cdot 1000 \cdot 9,81$ - Jobb oldalon: $p_J + \Delta h \cdot \rho_{\text{Hg}} \cdot g = p_J + 0,04 \cdot 13600 \cdot 9,81$ - A nyomáskülönbség $\Delta p = \Delta h \cdot (\rho_{\text{Hg}} - \rho_{\text{víz}}) \cdot g$ tehát: $\Delta p = 0,04 \cdot (13600 - 1000) \cdot 9,81 = \underline{4944 \text{ Pa}}$ | <p>Számítsuk ki a nyomáskülönbséget 65 mm kitérésnél!</p> <ul style="list-style-type: none"> - A kitérés nagysága: - A baloldali nyomás: - A jobb oldali nyomás - A nyomáskülönbség: |
| <p>Az ábrán látható hosszú, egyenes cső két végéhez kapcsolt, higanyal töltött U-csöves nyomáskülönbség mérőről 50 mm kitérést olvasunk le. (régebben ún.: 50 Hgmm) A csőben víz áramlik. Határozzuk meg a cső nyomás vesztségét (Pa), és a h' vesztség-magasságot (J/N) értékben!</p> |  |
| <p>A kitérés nagysága: $\Delta h = 50/1000 = 0,05 \text{ m}$</p> <ul style="list-style-type: none"> - A nyomáskülönbség: $\Delta p = \Delta h \cdot (\rho_{\text{Hg}} - \rho_{\text{víz}}) \cdot g$ tehát: $\Delta p = 0,05 \cdot (13600 - 1000) \cdot 9,81 = \underline{6180 \text{ Pa}}$ - Az egyenes cső nyomás-vesztessége megegyezik az U-csöves műszerrel mért nyomáskülönbséggel: 6180 Pa. - Az egyenes cső vesztségése: $h' = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g} = \frac{6180}{1000 \cdot 9,81} = \underline{0,63 \text{ J/N}}$ | <p>Számítsuk ki a nyomáskülönbséget és a vesztséget, ha a csőben levegő ($\rho = 1,29 \text{ kg/m}^3$) áramlik, és az U-csőben a mérőfolyadék víz: a kitérése: 75 mm!</p> <p>(A feladat megoldásánál vegyük figyelembe az U-cső, mint műszer, és a vizsgált cső, mint vizsgálati tárgy közötti különbséget! A h' képletben a sűrűség mindig az utóbbira, az áramló anyagra vonatkozik! Azt is jegyezzük meg, hogy az U-cső Δh vagy h értéke nem azonos a csővezeték h' vesztségével!)</p> |
| <p>Az ábrán látható csőszakasz átmérője $d_1 = 40 \text{ mm}$ értékről $d_2 = 25 \text{ mm}$-re csökken! Határozzuk meg a két szakaszban az áramlás sebességét, ha a csőben 4500 dm^3 víz folyik óránként!</p> <p>Alkalmazzuk a feladat megoldásához a kontinuitási tételt!</p> <p>($v_1 = 0,995 \text{ [m/s]}$ és $v_2 = 2,546 \text{ [m/s]}$)</p> |  |

1.3.4. Az áramlás jellege - a Reynold-szám

A csőben áramló közeg (gáz vagy folyadék) részecskéi, molekulái különböző irányba mozognak. A mozgás **jellege** elsősorban az áramlási sebességtől függ, ha egyébként a csővezeték geometriai méretét és a folyadék fizikai-kémiai tulajdonságait állandónak vesszük. Tapasztalat szerint alacsonyabb sebességi értékeknél a részecskék egymással párhuzamosan mozogva **lamináris áramlással** haladnak, míg a nagyobb folyadéksebesség a részecskéket örvénylő mozgásra kényszerítve **turbulens áramlást** hoz létre. A jelenség olyan, üvegből készült mérőcsőben vizsgálható, amelybe egy vékony kapillárison keresztül nyomjelző folyadékot, például Kálium-permanganát oldatot vezetünk. A nyomjelző szép, lila sávokkal mutatja az áramlás jellegét.

Az áramlás jellegének mutatószáma a mértékegység nélküli **Reynold-szám**.



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

ahol:

- v – a folyadék sebessége, [m/s]
- d – a cső átmérője, [m]
- ρ – a folyadék sűrűsége, [kg/m³]
- η – a folyadék dinamikai viszkozitása [Pas]

A Reynold-szám a folyadékok áramlási tulajdonságainak, a folyadékalapú vegyipari műveleteknek (ülepítés, szűrés, centrifugálás vagy keverés), illetve a hőcserélőben átadható hőmennyiség meghatározásának is fontos adata, a jelenségeket gyakran a Re-szám függvényében ábrázolva vizsgáljuk.

1.3.5. Csővezetékek ellenállása

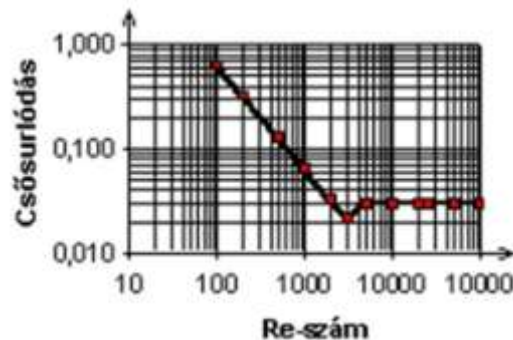
Folyadékszállításnál az áramló folyadék súrlódása a csőben energiavesztéssel jár. Ha a csővezeték vízszintesen fekszik, tehát $h_1 = h_2$, és átmérője mindenhol azonos, tehát $v_1 = v_2$, a **folytonossági**- és a **Bernoulli-törvény** együttes alkalmazásából az következne, hogy a p_1 és p_2 nyomások is azonosak. A valóságban a két végpont között nyomáskülönbség mérhető, ami a csővezeték veszteségét mutatja meg.

Egyenes csövek áramlási veszteségét a cső méretein kívül az áramlási sebesség és a csősúrlódási együttható (veszteségi tényező) határozza meg:

$$h' = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g},$$

ahol:

- λ – csősúrlódási együttható;
- l – a csővezeték hossza;
- d – a csővezeték átmérője
- v – az áramlási sebesség



A **csősúrlódási együttható** az áramlás jellegének, a Reynold-számnak függvénye. Figyeljük meg, hogy a Reynold-szám növekedésével a csősúrlódási együttható csökken! Ez a folyadék áramlási tulajdonságának köszönhető. Lamináris áramlás esetében a csőfal fékező hatása ugyanis nagyobb, mint turbulens áramlásnál. A Reynold-szám olyan széles határok között változhat, hogy a csősúrlódási együttható változását ábrázoló diagramot logaritmikus léptékkal célszerű szerkeszteni!

A csősúrlódási együttható értéke sima csöveknél az alábbi összefüggésekkel határozható meg:

$$\lambda = \frac{64}{Re}, \text{ ha } Re \leq 2320, \text{ és } \lambda = 0,02 \dots 0,03 \text{ ha } Re > 2320.$$

A különböző **csőszerelvények és idomok** ellenállását a $h' = \xi \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$ összefüggéssel számíthatjuk ki,

ahol ξ – a szerelvényre jellemző ellenállás-tényező, és értéke szintén a Re-számtól függ.

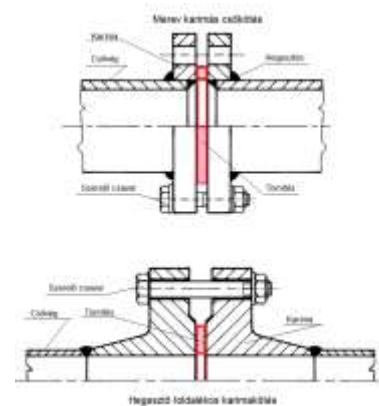
1.3.6. Csőszerelvények, elzáró és szabályozó szerkezetek

A folyadékok és gázok szállítására kialakított csővezetékek, szerelvényeikkel együtt hálózatot alkotnak. A hálózat vonalvezetése olyan, hogy az üzem terének valóságos, vagy – szabadtéri üzem esetén – képzeletbeli három, egymásra merőleges határoló falával párhuzamos. Ez azt jelenti, hogy az egyenes csőszakaszokat 90°-os ívekkel, „T betű” alakú idomokkal kapcsolják egymáshoz. A kötés történhet:

- víz- és háztartási gázhálózatnál menetes csőszerelvényekkel, idomokkal;
- 1-2 bar nyomású ipari vezetékeknél laza vagy merev karimás **csőkötésekkel**;
- nagyobb nyomású rendszereknél pedig hegesztőtoldalékos karimás kötésekkel.

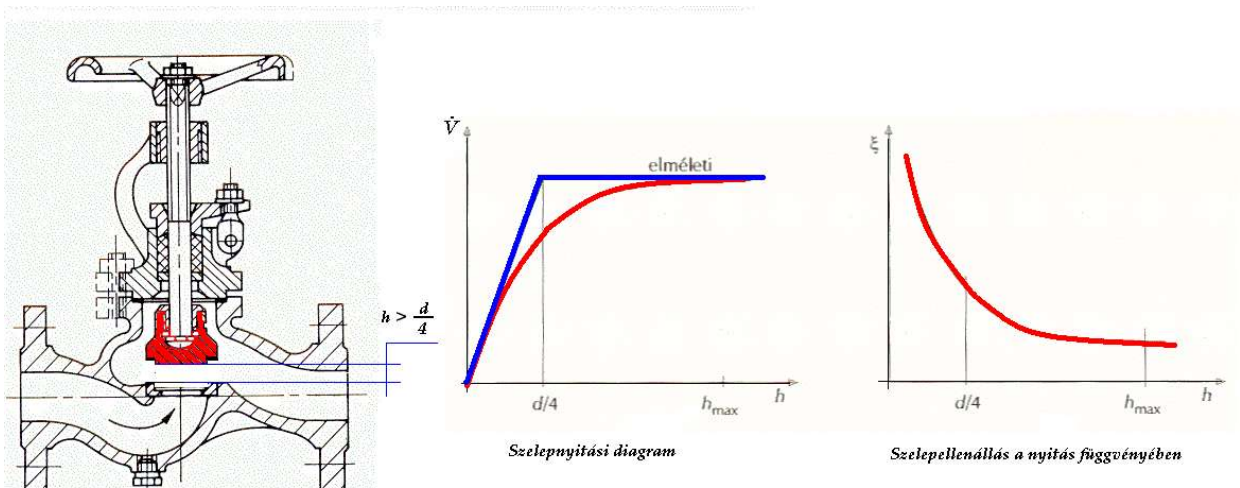
A menetes csőkötések szabványos átmérőt és menetméretet alkotnak. A menetprofil az angol Whitworth szelvénynek felel meg, jelölése: C 1/4” vagy C 1/2” stb. A menetre csavart tömítő szalag (teflon), vagy régebben faggyúval kent kenderkóc-szál biztosítja a menetes kötés tömítését.

A vegyipari gyakorlatban legnagyobb jelentősége a **karimás csőkötésnek** van. A két csatlakozó cső, vagy csőszerelvény végére fém tárcsákat szerelnek. A tárcsák közé **tömítőgyűrű** kerül. A tárcsákat, a rajtuk lévő furatokon átvezetett csavarok segítségével kapcsolják össze. A csavarok megszorításával a tömítőgyűrű a karima megmunkált felületére szorul, és megakadályozza, hogy a folyadék vagy gáz a cső belső teréből kikerüljön.



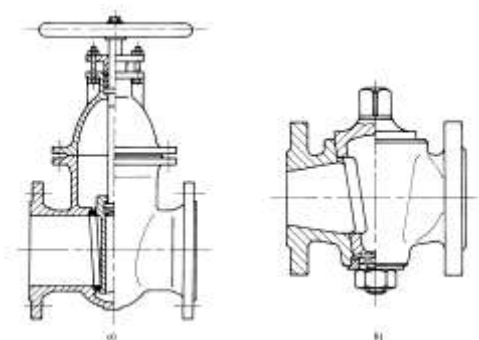
A csőben lévő nyomás a karimakötést megpróbálja „széthúzni”, amivel a szerelőcsavarok tartanak egyensúlyt. A két, párhuzamos erő a karimában nyomatókötést hoz létre. A hegesztőtoldalékos karimakötés előnye, hogy a vastagabb karimák nagyobb nyomatókötést bír el, és a hegesztési résznél már csak húzó igénybevétel terheli a varratot.

A csővezetékekben leggyakrabban **szelep** segítségével változtatjuk az áramló mennyiséget. A szelep működésének lényege, hogy a mozgó orsó segítségével felemelt vagy leeresztett **szeleptányér** egészen az áramlás megszüntetéséig képes az ellenállást növelni.



A szeleppenállás a szeleptányér felemelésével rohamosan csökken, viszont ha a szeleptányér és a folyadék átáramlását biztosító **szelepülék** közötti távolság a szelepülék átmérőjének egynegyedénél nagyobb, akkor a szelep szabályozó hatása megszűnik. Ezért a szelepek vizsgálatánál mind a szelep nyitási diagramját, mind a veszteségét meg kell határoznunk.

A **tolózár** (a) és a **csap** (b) szintén az áramlást befolyásoló elzáró szerelvények. Ezeknek általában nagyobb az átömlő keresztmetszete, de szabályozásra nem alkalmasak.



Gyakorló feladatok:

Az ábrán látható **csőszakasz** átmérője $d_1 = 40 \text{ mm}$ értékről $d_2 = 25 \text{ mm}$ -re csökken! A csőben 4500 dm^3 víz folyik óránként! (Lásd előző példásor utolsó feladata!) Határozzuk meg a keresztmetszet-változásban fellépő nyomáskülönbséget! (A korábbi eredményeket felhasználva:)

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot g} = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g}, \text{ J/N, egyszerűsítés után:}$$

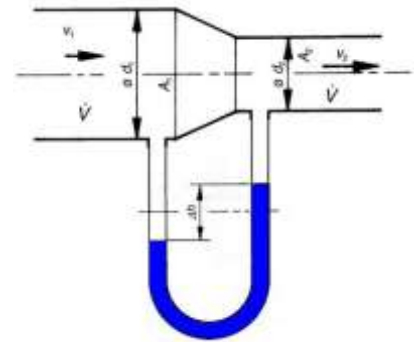
- A nyomáskülönbség: $\Delta p = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} \cdot \rho, \text{ Pa, azaz:}$

$$\Delta p = \frac{2,546^2 - 0,995^2}{2} \cdot 1000 = \underline{2746 \text{ Pa}}$$

- Az U-csőben a higany szintkülönbsége:

$$\Delta h = \frac{\Delta p}{(\rho_{\text{Hg}} - \rho_{\text{víz}}) \cdot g} = \frac{2746}{(13600 - 1000) \cdot 9,81} = \underline{0,022 \text{ m}}$$

A higany kitérése tehát 22 mm!



1.7 Számítsuk ki a nyomáskülönbséget ha az áramló folyadék olaj! Az olaj sűrűsége 800 kg/m^3 . Az U-csőben a mérőfolyadék továbbra is higany!

Jobb oldalon láthat áramlási vizsgáló-készüléken **100 l/h** vizet továbbítunk 1,68 m hosszú, $d_b = 16 \text{ mm}$ átmérőjű csőben. A cső két végéhez kapcsolt, higanyal töltött U-csöves nyomáskülönbség mérőn **4 mm** kitérést olvasunk le

Határozzuk meg a csővezeték **vesztességét**, valamint az **elméleti** és **valóságos** λ csőszűrlődási együtthatóját!

- A víz térfogatárama: $\dot{V} = \frac{100}{1000 \cdot 3600} = 2,777 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$

- A nyomáskülönbség:

$$\Delta p = 0,004 \cdot (13600 - 1000) \cdot 9,81 = 494,5 \text{ Pa}$$

- A gyakorlati mérésekből számolt veszteség-magasság:

$$h' = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g} = \frac{494,5}{1000 \cdot 9,81} = \underline{0,0504 \text{ J/N}}$$

- Az áramlási sebesség 16 mm-es csőben:

$$\frac{4 \cdot \dot{V}}{d^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 2,777 \cdot 10^{-5}}{\left(\frac{16}{1000}\right)^2 \cdot \pi} = 0,138 \text{ m/s}$$

- A Re-szám a 16 mm-es csőben:

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\eta} = \frac{0,138 \cdot 0,016 \cdot 1000}{0,001} = 2210$$

- A Re-szám kisebb, mint 2320, tehát az elméleti λ

$$\lambda_{\text{elm}} = \frac{64}{Re} = \frac{64}{2210} = 0,029$$

- Az elméleti veszteség-magasság:

$$h' = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0,029 \cdot \frac{1,68}{0,016} \cdot \frac{0,138^2}{2 \cdot 9,81}$$

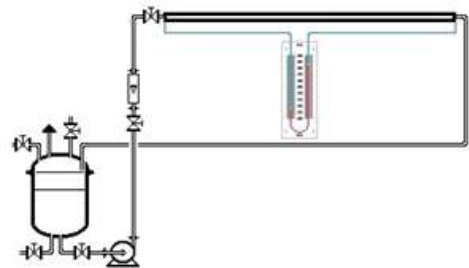
A veszteség-magasság értéke: $h' = \underline{0,003 \text{ J/N}}$

• Végül, ha a gyakorlati λ értéket „visszaszámoljuk”:

$$\lambda_{\text{gyak}} = \frac{h \cdot d \cdot 2 \cdot g}{l \cdot v^2} = \frac{0,03 \cdot 0,016 \cdot 2 \cdot 9,81}{1,68 \cdot 0,138^2}$$

A gyakorlati λ értéke, $\lambda = \underline{0,2943}$

Az egyenes cső veszteségét viszonylag egyszerű módon mérhetjük! A vízszintesen szerelt egyenes csőszakasz két végéhez kapcsolt, higanyal töltött U-csöves nyomáskülönbség-mérő a vizsgált rész nyomás-esését méri, amely a h' veszteséggel arányos.



A vizsgálati (mérési) adatokból kiszámítjuk a csővezeték h' veszteségét, valamint a λ csőszűrlődási együtthatókat. Ez utóbbit összehasonlítjuk a beállított áramlás esetében várható elméleti értékkel.

A megoldás eredményeként kapott két λ közötti eltérés (0,027) és (0,355) oka az, hogy a vizsgált cső belül nem tökéletesen sima, hanem **hidraulikailag érdes!**

Gyakorlásképpen számítsuk ki a λ értékeket, ha 300 l/h vízmennyiségnél 10 mm-t, míg 400 l/h mennyiségnél 13 mm-t olvastunk le az U-csöves nyomáskülönbség-mérőről!

(300: $h' = 0,126 \text{ J/N}, \lambda = 0,137$)

(400: $h' = 0,164 \text{ J/N}, \lambda = 0,1$)

1.4. VEGYIPARI FOLYAMATÁBRÁK ÉS DIAGRAMOK

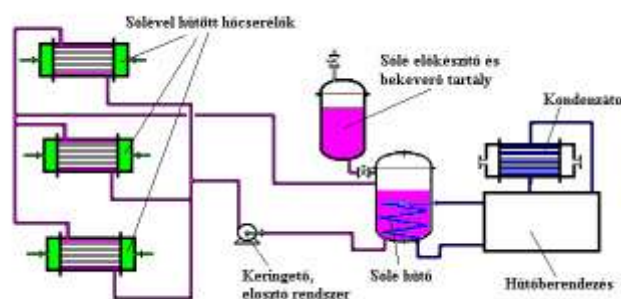
A vegyipari műveleteket és folyamatokat vonalas ábrarendszerben jelenítjük meg, amelyet **folyamatábrának** nevezünk. Ennek jellemzői:

- Szabványos jelképrendszer alkalmazása;
- Síkba kiterített elrendezés, amely esetleg utalásokat tartalmaz a térbeli elhelyezkedésre, diszpozícióra, és aminek fontosabb tartalmi elemei:
 - o tartályok és készülékek logikai sorrendje;
 - o csövek, csőszerelvények jelölése, elsősorban a műveletbeli funkcionális szempontból;
 - o műszerek, irányító készülékek, számítástechnikai interfészek jelölése.
- A folyamatábrák kiegészülhetnek speciális célú szalagdiagramokkal, energia ábrákkal:
 - o valódi energia ábra, léptékarányos – szélességi – csíkokkal;
 - o időbeli változást ábrázoló, ütemterv jellegű diagramok;
 - o irányítótermi műszerek folyamatábrával kiegészített ábra paneljei.

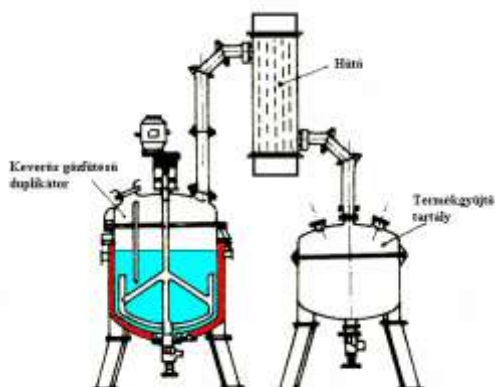
1.4.1. Folyamatábrák főbb típusai

A jobb oldalon egy hűtőfolyadék előállító és keringető üzemszám **funkcionális**, működési logikát bemutató folyamatábrája látható!

A hűtőfolyadék, üzemi zsargonban: sólé, híg sóoldat, amelyet hűtőberendezésben 0 °C-nál alacsonyabb hőmérsékletre hűtenek. Ezt az teszi lehetővé, hogy a sós oldatok fagyáspontja az oldószerhez (például vízhez) képes csökken. A lehűtött sóoldatot keringető szivattyú vezeti az üzemi hűtők felé, amelyekben a tényleges technológiai anyagok hűtését végzik!



A **diszpozíciós** ábrák a művelet **térbeli elrendezését** mutatják, mint az alábbi szakaszos lepárló rendszer.

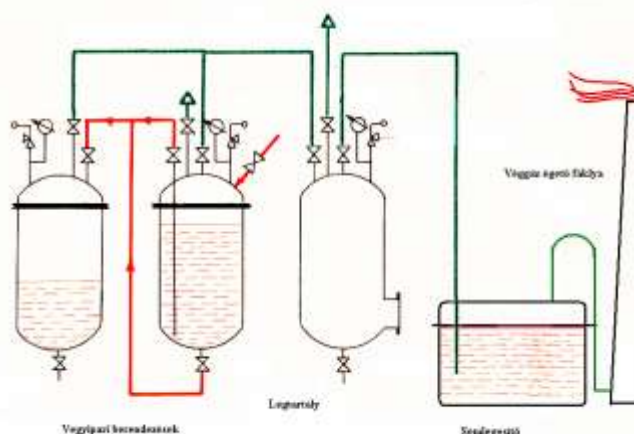


A szakaszos üzemeltetés azt jelenti, hogy a baloldali, metszetben látható, horgony alakú keverővel ellátott, a köpenye felől gőzzel fűtött tartályba betöltik az anyagot, majd az illékonyabb alkotójában dúsabb oldószert elpárologtatva, azt egy külön hűtőben cseppfolyósítják, és a jobboldali tartályban gyűjtik. Ha az alapanyag elfogy, a berendezés fűtését leállítják, és új anyaggal feltöltve az eljárást előlről kezdik.

Hasonló berendezéseket alkalmaznak időigényes szerves folyamatok – pl.: szulfonálás, nitrálás – végrehajtásához, gyógyszerkészítmények gyártásához is.

A **technológiai ábrák** a készülékek összekapcsolását, a kezelő szerelvényeket (például szelepek), és a legfontosabb műszereket is tartalmazzák, amit a fenti két ábrán nem láttunk.

Az ábrán megfigyelhető, hogy a három tartály **légtelenítő** rendszere zárt hálózaton és egy semlegesítőn keresztül a **fáklyába** vezeti az éghető káros anyagokat. Ilyen megoldást láthatunk a kőolaj-feldolgozó ipartelegeken!

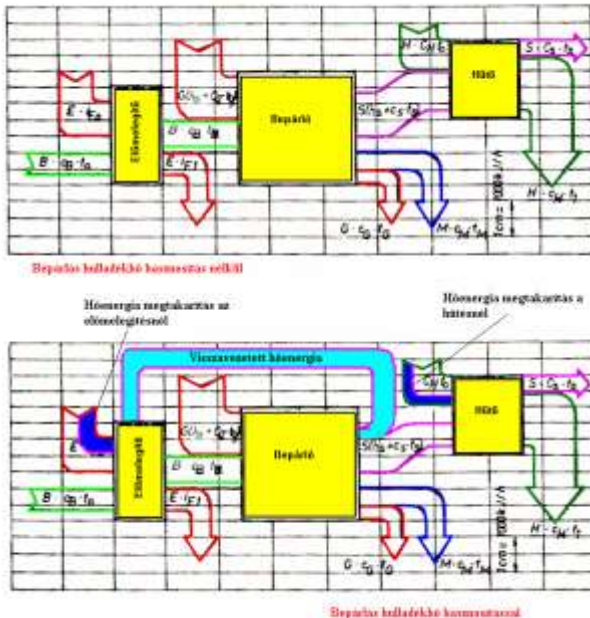


Fontos megjegyezni, hogy az ábrákra nem

mindig rajzoljuk rá a berendezésekhez tartozó, a működés szempontjából szükséges, de a folyamat értelmezése szempontjából lényegtelen elemeket. Így például **légtelenítő szelepet** csak akkor rajzolunk egy tartályra, ha annak a technológiában külön szerep is van. Egyébként „tudjuk”, hogy a tartály szükséges tartozéka a légtelenítő szelep.

1.4.2. Anyag- és energiaforgalmi diagramok

A folyamatábrák különleges csoportja az anyagok és energiák áramlását szemléltető **szalagdiagram**.

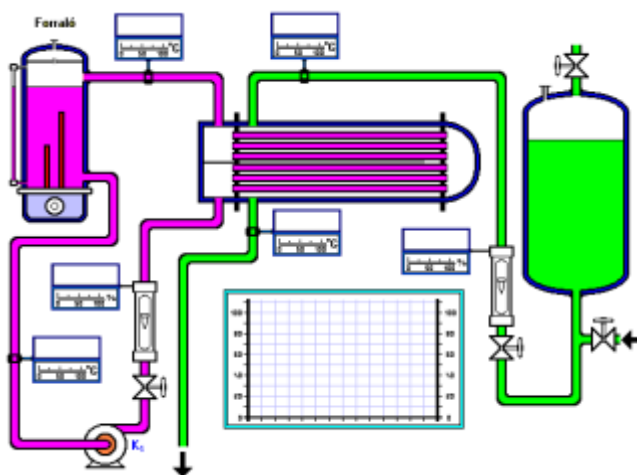


A szalagdiagramon a berendezéseket csak négyzetes vagy téglalap alakú blokkok jelölik. Az anyagok és az energiák áramlását a mennyiséggel arányos szélességű szalag mutatja. A diagramok szerkesztése hasonlít az előző fejezetben megismert anyag- és energiacentrumhoz, azzal a különbséggel, hogy ott a mennyiségeket leíró adatokat és összefüggéseket jelöltük az ábrán, míg a szalagdiagram mindig az anyag- vagy energia nagyságával arányos sávrendszert tartalmaz. Ez segíti a gazdaságos üzemeltetést!

Például egy bepárló berendezés működtetéséhez felhasznált gőz egy része megtakarítható, ha a művelet során kapott párával az alapanyagot előmelegítjük. Lényegében az ilyen ábrák adják meg a tervezési alapot a hulladék-hő felhasználásának és az energiagazdálkodásnak.

1.4.3. Központi irányítóterem paneljei

A korszerű vegyipari üzemekben folyó termelést a központi épületben elhelyezett irányítóteremből ellenőrzik, és szükség esetén innen történik a beavatkozás is. Az irányítóteremben konzolszerű asztalon vannak a beavatkozó kapcsolók és szabályozó gombok, míg a konzol feletti falra szerelik a műszereket is tartalmazó folyamatábrát. Az anyagok mozgását animált vonalcsíkokkal vagy futófénnyel érzékeltetik.



A baloldali ábrán egy hőmérséklet mérő és szabályozó rendszer irányítótermi panelábráját látjuk. A **csőköteges hőcserélőben** meleg vizet áramoltatnak cirkulációs rendszerben.

A technológiai folyadék a hőcserélő köpenyoldalán áramlik, a csöveket körülölelve melegszik fel. Az áramló mennyiségeket és a rendszer hőmérsékleti értékeit a panelen úgy jelzik ki, hogy egyrészt a mért mennyiség számértéke látszik, másrészt a skálázott mérőlapon egy vonal az aktuális érték egész mérési tartományhoz tartozó helyzetét is mutatja.

A panelen a folyamatot ábrázoló különböző diagramok is elhelyezhetők.

1.4.4. Műszaki diagramok

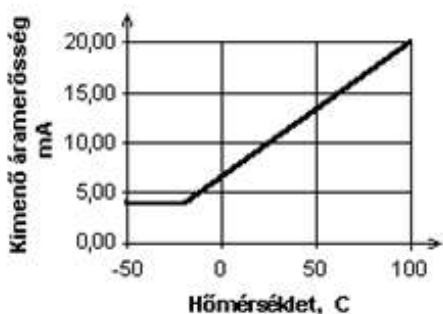
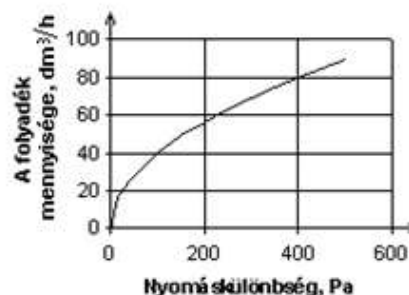
A műszaki folyamat sokkal szemléletesebb és áttekinthetőbb, ha mérési adatainkat diagramban ábrázoljuk. Ez megmutatja a folyamat lefutását, jellegzetes pontjait, szélső értékeit. Ezáltal az optimális üzemeltetés egyik fontos eszköze. A mérési adatokat többféle módon lehet ábrázolni:

- Hagyományos koordináta rendszerben;
- Transzformált koordináta rendszerben (pl. logaritmikus, vagy reciprok)
- Transzformált függvény alakjában
- Grafikus elemeket felhasználva (például oszlop-, torta és kördiagram)

Az utolsóként említett ábrázolási mód inkább statisztikai kimutatásokhoz használatos, a műszaki gyakorlatban az első három az elterjedt.

A legegyszerűbb ábrázolás a **hagyományos koordináta-rendszer** használatát igényli. A tengelyek a „0” pontban metszik egymást, a léptékek tízes osztásúak.

A jobboldali ábrán látható diagram egy olyan műszer kalibrációs görbéje, amelynél az érzékelőn fellépő nyomáskülönbségből a folyadék mennyiségét lehet megállapítani.

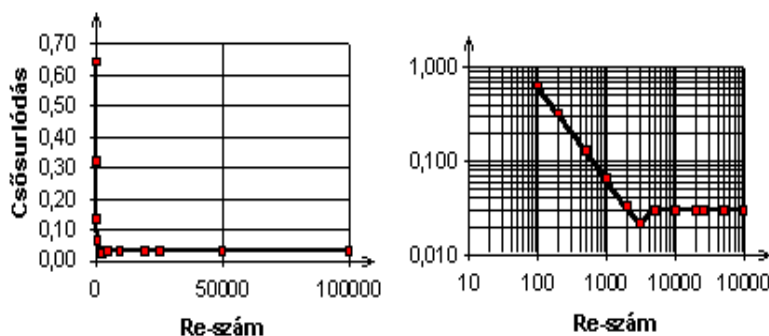


A baloldali ábra egy elektromos hőmérsékletérzékelő – termoelem – csatlakozóin mérhető áramerősséget mutatja, a hőmérséklet függvényében. Az érzékelő kb. $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ értéknél kezdi mérni a hőmérsékletet, ezért a diagram koordináta-rendszerét ennél nagyobb mértékben – célszerűen $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ -tól kezdve eltolták.

Ez a fajta műszer például közvetlenül csatlakoztatható az áramerősség mérésére alkalmas ADAM modulhoz!

A tízes osztású (decimális) diagramot tetszés szerint skálázhatjuk, de célszerű előnybe részesíteni a 2-vel és 5-el osztható léptékeket, különösen ha milliméterpapírt használunk.

Logaritmikus léptékű diagramot akkor használunk, ha valamelyik adat igen széles határok között változhat. Az alábbi ábrán az 1.3.5. fejezetben megismert csősurlódási együttható változásának diagramját látjuk. Az áramlási jellemző Re-szám akár 1 és 100000 között változhat! Ha azt akarjuk, hogy diagramunk elférjen a papíron, akkor a 100 és 1000 közötti – egyébként fontos értékek – reménytelenül összezsúfolódnak, látszólag a 0 értékhez tartoznak!

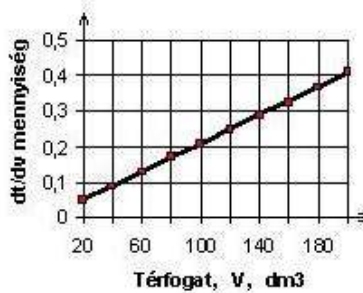
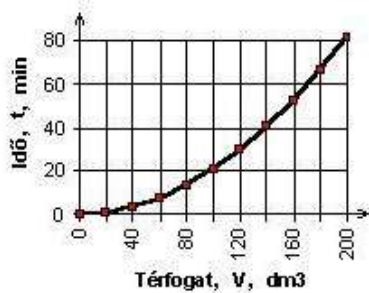


Ha a léptéket úgy készítjük el, hogy az osztást $\lg 10=1$, $\lg 100=2$, $\lg 1000=3$...stb. centiméter értékben mérjük fel, akkor részletesen láthatóvá válik a csősurlódási együttható értéke az alacsonyabb Re-szám tartományokban is.

Figyeljük meg, hogy a minta-példában mind a két tengelyen alkalmaztuk a logaritmikus léptéket!

A logaritmikus diagram alkalmazásánál ügyelni kell arra, hogy a dekádok közötti értékek nem egyforma távolságra vannak egymástól. A diagram osztása „sűrűsödik”. Egy tetszőleges N érték X_N helyét a kezdő dekád (K) és a lépték (Lp) határozza meg az $X_N = Lp \cdot (\lg N - \lg K)$ összefüggés alapján! **Például a fenti diagramon a $Re=500$ koordináta a kezdő ($Re=10$) értéktől 1,698 cm távolságra van.**

Transzformált ábrázolásról akkor beszélünk, amikor a mérési diagram matematikai tulajdonságait kihasználva a koordinátákat valamilyen ismert függvény szerint átalakítjuk. Ennek leggyakoribb esete a differenciál-számítás körébe tartozó ún. derivált függvény előállítása. Erre látunk példát a lenti ábrán.



A vegyipari technológiák gyakori művelete a szűrés. A szűrők vizsgálatának lehetséges módja, hogy mérjük a folyadék leszűréséhez szükséges időt. A szűrőréteg vastagodásával arányosan a művelethez szükséges idő egyre hosszabb lesz. A diagram matematikai jellege parabola. Ezt alakítjuk át a differenciák képzésével egyenessé.

1.5. MÉRÉSTECHNIKAI ALAPOK, MŰVELETEK VIZSGÁLATA MÉRÉSEL

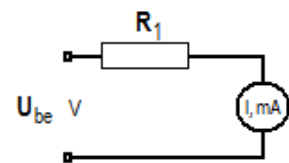
A **méréstechnika** a fizikai jellemzők, műszaki adatok számszerű megállapításával foglalkozó műszaki tudományág. Az ipari mérések célja legtöbbször a folyamatba való beavatkozás lehetőségének bemutatása. Ebben az értelemben a mérés az irányítástechnika alkalmazásának egyik alapfeltétele.

A tantárgyi modul gyakorlatok keretében **összehasonlító** méréseket és **adatbeállító vagy ellenőrző** méréseket fogunk elvégezni.

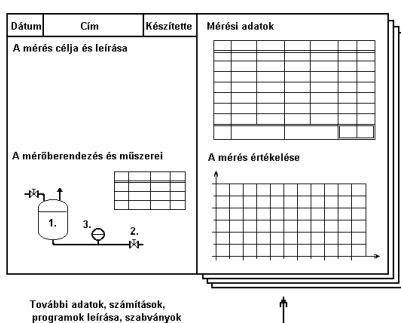
- Az összehasonlító mérések általában a műszerhitelesítésnél alkalmazott eljárások. Két műszerrel ugyanazt (vagy legalább is egyenértékű) mennyiséget mérjük, és az egyik műszert pontosabbnak, hitelesebbnek minősítjük a másikkal.
- Az adatbeállító vagy ellenőrző méréseket az ipari folyamat műszaki paramétereinek beállítására (például egy ülepítő medencében óránként betáplált szennyvíz mennyisége), vagy a termelési folyamat eredményét jelző adat ellenőrzésére (pl. egy desztilláló rendszer üzemi állapotára utaló párlathőmérséklet mérése) alkalmazzuk.

1.5.1. Mérési adatok felvétele és dokumentálása

A mérési adat a mennyiség pontos azonosítása mellett a mért értékből (mérőszám) és mértékegységből áll. Az ábrán látható áramköri kapcsolás az U_{be} feszültség hatására az R_1 ellenálláson folyó áramerősséget (I , mA) méri. Ha a műszert 12-öt mutat, akkor a mérés eredménye: $I = 12 \text{ mA}$, ahol 12 a mérőszám és a „mA” a mértékegység.



Ha az adatot úgy adjuk meg, hogy (például) $I = 12 \pm 0,3 \text{ mA}$, akkor az már nem egy mérés **eredménye**, hanem egy mérési sorozat hibaszámítással vagy annak egyes elemeivel vizsgált **megállapítása**. Ez utóbbi valójában az áramkör egyfajta minősítése is!



A mérési adatokat **táblázatba foglaljuk**. A táblázat a **mérési dokumentáció** része. A mérési dokumentáció rögzíti a mérés célját, az alkalmazott módszereket, a mérés lépéseit, a berendezések folyamatábráját és adatait.

A táblázat oszlopaiba kerülnek az azonos tartalmú adatok. Ezeket nevezzük az adattábla **mezőinek**. Az első mező általában a mérés sorszáma, amire később hivatkozni lehet. A következő oszlopok (mezők) előbb a beállított adatokat, majd a beállítással keletkező további mérési adatokat tartalmazzák.

A táblázat soraiba az egy méréshez tartozó adatokat írjuk. A sorokat **rekordoknak** is nevezik.

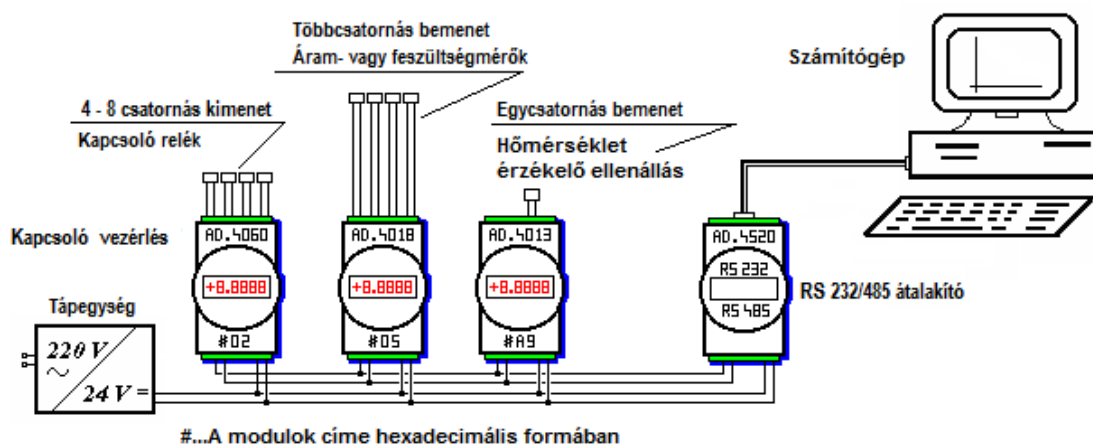
A jobb oldali táblázat a vízórával és mérőperemmel végzett összehasonlító mérés adatait szemlélteti. A táblázat harmadik oszlopában látható adatsor azt is megmutatja, hogy az U-csöves nyomásmérőről (h) leolvasott nyomásérték átszámítása túlzott pontosságú. Itt elegendő lett volna az egész számú nyomásértékek használata, hiszen maga a mm-es leolvasás is meglehetősen pontatlan higany esetében!

| Sor-szám | h (Hgmm) | Δp (Pa) | V vízórával (m ³ /s) | V mérőperemmel (m ³ /s) |
|----------|----------|-----------------|---------------------------------|------------------------------------|
| 1 | 4 | 494,424 | 0,000163333 | 0,00009916 |
| 2 | 6 | 741,636 | 0,00017 | 0,00012145 |
| 3 | 8 | 988,848 | 0,00019 | 0,000140238 |
| 4 | 9 | 1112,454 | 0,0001975 | 0,000148745 |
| 5 | 12 | 1483,272 | 0,000221667 | 0,000171756 |
| 6 | 14 | 1730,484 | 0,000225 | 0,000185518 |
| 7 | 17 | 2101,302 | 0,000248333 | 0,000204431 |

részlet egy 2011-ben készített tanulói jegyzőkönyvből

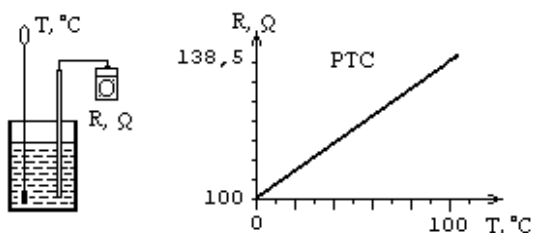
1.5.2. Mérési adatok felvétele elektronikus adatgyűjtő rendszerrel

A mérési adatgyűjtők olyan programozható eszközök, amelyek képesek a vizsgált készülékek, folyamatok és a számítógép közötti kapcsolat létrehozására, mérési adatok valamint utasítások felvételére, rögzítésére és továbbítására.



A mérési adatgyűjtő hálózat egy átalakító készülékből és egy vagy több adatgyűjtő modulból építhető fel. Az átalakító közvetíti a digitális jeleket a számítógép felé, illetve „utasítja” az adatgyűjtőket a különböző műveletek végrehajtására. A modulok mérésre vagy beavatkozásra (kapcsolásokra) alkalmasak. Az adatgyűjtők azonos vezeték-párra (csavart érpár) csatlakoznak. Az átalakító, illetve rajta keresztül a számítógép úgy különbözteti meg őket, hogy mindegyik adatgyűjtőnek saját, programozott címe van. Az adatgyűjtő modulokat magasabb szintű programnyelv segítségével tudjuk programozni. Ez a program általában a dokumentálás egy részéről, például az adatok táblázatba foglalásáról is gondoskodik.

Jelátalakítók, távadók



Az ábrán látható egyszerű készülékbe helyezett PTC jelű **ellenállás-hőmérő** a folyadék hőmérsékletét érzékeli, és annak értéke szerint változik az ellenállása. A **kalibrációs diagram** alapján látható, hogy az érzékelő ellenállása a hőmérséklettel arányosan nő, és a 0 és 100 °C közötti tartományban **lineáris**.

Az érzékelő ellenállását, és ezzel a hőmérsékletet, megfelelő ADAM modul képes mérni és a számítógép felé továbbítani. (Az ábrán ez az AD 4013-as modul.)

1.5.3. Mérési adatok értékelése, hibaszámítás

Az ipari gyakorlatban igény lehet a mért fizikai adat pontosságának, megbízhatóságának vizsgálata. Nem elég azt ismerni, hogy a fizikai jellemző értéke „pontosan” mennyi, hanem az is fontos, hogy többszöri mérést követően mekkora **szórással**, milyen értéktartományban kapjuk meg a vizsgált adatot. Tehát a hibaszámítás alapvetően azonos **várható értékek** mérését támogatja, illetve azt vizsgálja, hogy a mérési értékek között mekkora az eltérés.

Hibaszámítást csak több mérési adat esetében lehet végezni! A mérések számát **n** betűvel jelöljük, míg az egyes mérési adatokat **x_i**-vel. Az „i” értékét úgy kell érteni, hogy a mérési sorozat valamelyik **x** tagja 1 és n között.

Ennek megfelelően a mérések **átlaga**:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$
 Az átlagképlet „olvasata”: Adjuk össze az egyes mérési adatokat egytől n-ig, és az összeget osszuk el a mérések számával!

A mérések **hibája** pedig:

$$H = \bar{X} - x_i$$
 A hibaképlet „olvasata”: Az átlagból vonjuk ki az egyes mérési értékeket és megkapjuk annak a mérésnek a hibáját!

Mérési adataink pontosságát a hibánál jobban kifejezi a **szórás**, amellyel a mért adatoknak az átlagtól való eltérését fejezzük ki. A szórást a hibák súlyozott átlagaként is felfoghatjuk, és gyakran százalékos értékben adjuk meg.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum H^2}{n-1}}$$



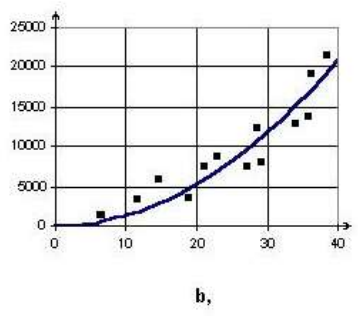
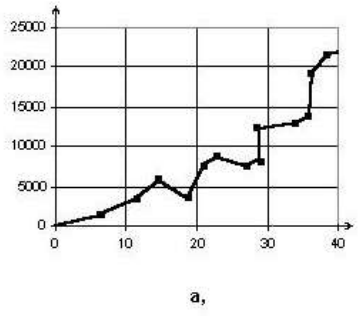
Például az előző oldalon bemutatott PTC hőmérő **hitelesítő vizsgálatát** elvégezve a bal oldali értékelő táblázatot használhatjuk a műszer pontosságának megállapításához.

Figyeljük meg, hogy három mérési sorozatból számítottuk ki az átlag értéket, az átlagtól való eltérések (hibák) értékét és a szórásokat.

A táblázat alatti kalibrációs diagram elkészítéséhez használhatjuk az Excel (vagy más) táblázatkezelő program grafikus szolgáltatásait. A program alkalmas a mérési adatok alapján a kalibrációs egyenes matematikai értékelésére is.

A mérési pontok bejelölése a diagramba

Végül ejtsünk néhány szót a mérési pontok ábrázolásáról! Mint az előző fejezetben láttuk, mérési adataink szórást mutatnak, ami mérési hibából, a körülmények ingadozásából ered.



Soha ne kössük össze a pontokat cikk-cakk vonallal. A helyes eljárás a pontok közé rajzolt **közelítő görbe** alkalmazása!

A baloldali ábrapáron a helytelen (a), és a helyes (b) ábrázolási módot látjuk!

1.6 A VEGYIPARI IRÁNYÍTÁSTECHNIKA ALAPJAI

Az irányítástechnika a technikai folyamatok gépi úton való működtetésével – indítás, folyamatfenntartás, leállítás – foglalkozó műszaki tudományág. Az irányítástechnikai alkalmazás lehet vezérlés vagy szabályozás.

A **vezérlés** nyílt hatásláncú irányítási folyamat. A vezérlés lépéseit meghatározott program szerint hajtja végre a vezérlőberendezés. A rendszer érzékelőkből, kapcsolókból és beavatkozókából áll, és ezek láncolata alkotja a vezérlési logikát.

A **szabályozás** zárt hatásláncú irányítási folyamat. A szabályozás „eredménye” visszahat a szabályozási folyamatra, és képes azt megváltoztatni. Ezt nevezzük visszacsatolásnak

Természetesen, és legtöbbször, a két rendszer keveredése jellemző a korszerű irányítástechnikára.

1.6.1. Vezérlés pneumatikus vezérlőkkel

A klasszikus vezérléstechnika alapját a **pneumatikus vezérlések** képezik. A pneumatikus vezérlési rendszer levegő nyomás hatására elmozduló **dugattyús munkahengerekből**, és a mozgató nyomás útját meghatározó **kapcsoló elemekből** épül fel. A pneumatikus vezérlési rendszer elemei szoros kapcsolatban állnak egymással, amit az angol szakirodalom alapján **fuzzy logic elvnek** neveznek.

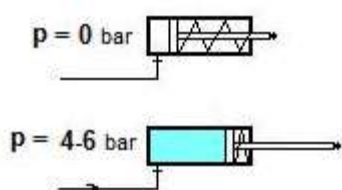
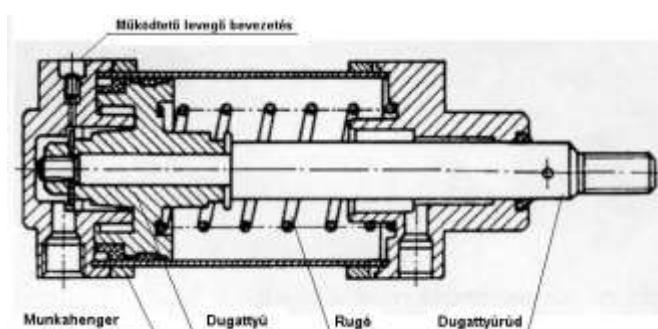
A pneumatikus vezérléstechnika jellemző készülékei, ún. elemei:

- egyoldali és kétoldali működtetésű munkahenger, mint a vezérlés beavatkozó szerve;
- nyomógombos, tapintó görgős, elektromágneses vagy pneumatikus kapcsolók – amelyek a munkahenger mozgását vezérlik és érzékelik;
- logikai elemek, amelyek az egyes munkahengerek működése, együttfutása vagy egymást követése közötti kapcsolatokat befolyásolják;
- a vezérlés időbeli lefutását befolyásoló fojtások és időzítők;
- fűvók, relék és pneumatikus kijelzők;
- tápegység, kiegészítő szerkezeti elemek, csatlakozók, vezetékek.

A pneumatikus vezérlés **beavatkozó, végrehajtó** eszköze a munkahenger. A készülék a nyomás hatására elmozdul, és működteti a hozzá kapcsolt szerkezetet. Például kinyit egy ajtót, elfordít egy csapot, felemel egy tálcát stb. A pneumatikus hengerek a sűrített levegőben felhalmozott energiát egyenes vonalú mozgássá, illetve erővé alakítják át. A munkahengerek szerkezeti kialakítása olyan dugattyús gépek szerkezetére hasonlít, mint például a gőzgép, dugattyús szivattyú, de akár az egészségügyi fecskendőhöz is hasonlítható. kompresszoroknál megismert hengerkialakításokhoz.

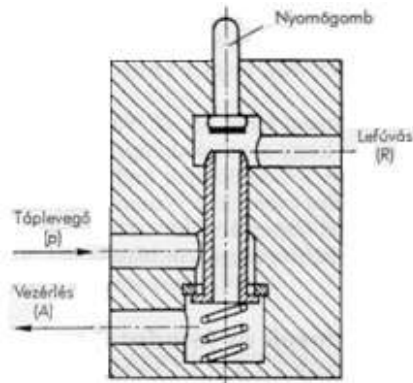
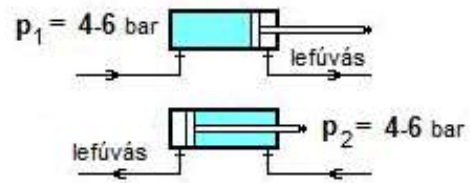
Az ábrán látható **egyszeres működtetésű** munkahenger dugattyúja a hengertérbe vezetett levegő nyomás hatására elmozdul, a rugó feszítőereje ellenében. Ha a nyomás megszűnik, a dugattyút a rugó visszatolja eredeti állapotába. A vezérlések működéséről **kapcsolási rajzot** készítenek.

Az lenti ábrán a munkahenger működésének két állapota látható:



A $P = 0$ vezérlőnyomás hatására a dugattyú alapállapotban van, ahol a rugó tartja. $P = 6$ bar nyomás hatására viszont a munkahenger aktív állapotba kerül, a dugattyú jobbra kitolja a dugattyúrúd, ezzel mozgatva a hozzá kapcsolt szerkezeti elemet. A vezérlőnyomás nagysága 4 és 6 bar között változhat.

Gyakran használnak **kétoldali működtetésű** munkahengert is. Ennél a megoldásnál a dugattyú a vezérlőnyomással ellentétes irányba mozdul el, miközben a másik hengertérből a levegőt kinyomja.4.2. A

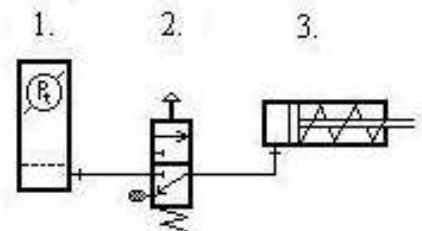


A munkahenger dugattyújának mozgását különleges kialakítású szelepekkel valósítják meg. Ezek a szelepek indítják meg, illetve állítják le a levegő áramlását, szabályozzák a levegőáramlás irányát, beállítják a nyomás nagyságát. A működtető szelepeket más néven **vezérlőszelepeknek** is nevezzük.

A jobboldali ábrán tanulmányozható a szelep működése: Alapállapotban a (P) táplevegő, vagy más néven vezérlő levegő útját elzárja az ábrán sűrű vonalkézással jelzett csődarab. Ha a nyomógombot lenyomjuk, a csődarab a rugó ellenében lenyomódik, és a keletkezett résen a (P) táplevegő az (A) vezérlés irányába áramlik. Ezzel mozgásba hoz, például egy munkahengert!

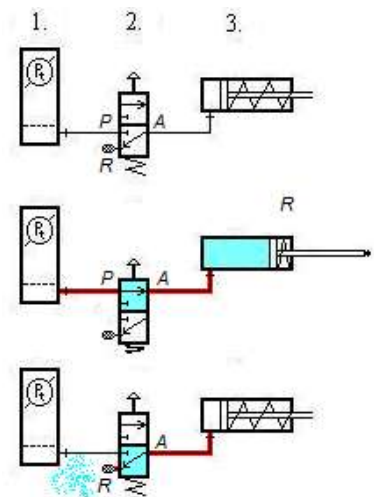
A nyomógomb elengedése után a rugó a csődarabot visszanyomja eredeti helyzetébe, ezzel elzárja a (P) táplevegőt, viszont csődarabon keresztül szabaddá teszi az (R) lefűvés vezetékét, amelyen át a munkahengerből a levegő a szabadba távozhat. A lefűvésnek nagyon fontos szerepe van, nélküle, például a rugós munkahenger nem tudna visszatérni alapállapotába. Ezt a típusú kapcsolót **3/2-es útkapcsolónak** is nevezik, ami azt jelenti, hogy három csatlakozása, két állapota van és a munkahenger dugattyújának útját vezérli!

A jobboldali ábrán az eddig megismertek kapcsolási rajza látható! A pneumatikus vezérléshez szűrővel ellátott nyomásbeállító tápegységet (1) használunk. Egy tápegységgel több készülék is kiszolgálható. A működtető levegőt kompresszor állítja elő. Az ábra szerinti rugós munkahengert (3) a kétállású nyomógombos vezérlő (2) 3/2-es útkapcsolóval lehet működtetni.



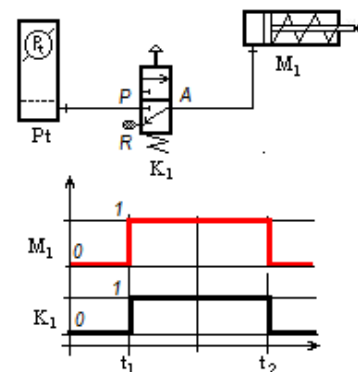
Annak érdekében, hogy a vezérlőszelepek működése egyértelmű legyen, a kapcsolási rajzokon a szelep **két állását egyszerre** ábrázolják! Ezért a rajz olvasását meg kell érteni, és meg kell tanulni. A kapcsolási rajz mindig az alapállást mutatja a folyamatba bekötött állapotban, míg az aktív kapcsolásnak megfelelő ábrarész szabadon marad!

A működés megértése érdekében a jobboldali ábrán az előző kapcsolásnak három állapotát figyelhetjük meg. **Alaphelyzetben** a táplevegőnek (P) útját állja a kapcsolóba rajzolt fekvő T jel. A kapcsoló **lenyomása** után a levegő a (P) pontból a jobbra mutató nyíl szerinti irányba (A) felé haladva a munkahengerbe jut, és működteti a dugattyút. A nyomógomb **elengedése** után a kapcsoló visszaugrik eredeti állapotába, a dugattyút a rugó szintén alaphelyzetbe tolja, és a hengerből a levegő a balra mutató nyíl szerint mozogva az (A) ponton át most (R) felé, a szabadba áramlik!



A P, A és R betűk szabványos jelölések és a kapcsolón a megfelelő csatlakozóknál megtalálhatók. A levegőt a pneumatikus vezérlők között 6-8 mm átmérőjű műanyag csövön vezetik, a csatlakozók gyors-zárás kivitelűek.

A gyakorlati kapcsolási rajzokon a munkahengereket M_1, M_2, \dots, M_n sorszámozott „M” betűkkel, míg a kapcsolókat K_1, K_2, \dots, K_n sorszámozott „K” betűkkel jelöljük. Az ábra szerinti K_1 kapcsoló nyomógombját t_1 időpillanatban lenyomva az M_1 munkahenger aktív állapotba kerül. Az aktív állapot t_2 ideig tart, amikor a nyomógombot elengedjük, a vezérlőnyomás megszűnik, és a munkahenger visszakerül alaphelyzetbe.

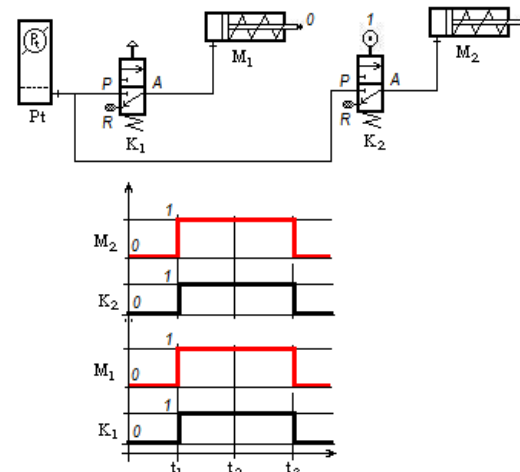


Az út-idő ábra a folyamat időbeli lefutását mutatja meg. Ezeken az ábrákon alulról felfelé építve ábrázoljuk az egyes kapcsolókat és munkahengereket, míg az időtengelyre a logikai akciók állapota kerül az akció időpillanatában. A kapcsolóknak és a munkahengereknek is két állapotát ábrázoljuk: 0 az alaphelyzet és 1 a kapcsolás hatására létrejött aktív helyzet.

Logikai lánc kialakítása két munkahengerrel

A vezérléstechnika lényege, hogy az egyes akciók, műveleti „cselekvések” végrehajtása egy másik cselekvést, másik akciót is elindítson.

A jobboldali ábrán az M_1 munkahenger a feladat befejezésekor mozgásba hozza az M_2 munkahengert. Ilyen eset lehet, például az, amikor az első munkahenger felemel egy ládát, a második pedig a szállítoszalagra tolja.

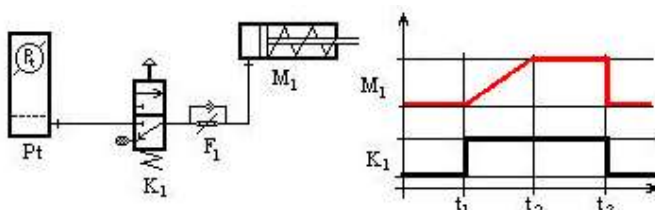


Figyeljük meg a kapcsolási rajzon, hogy az M_1 munkahenger dugattyúrúdjának két végállását a 0 és 1 számok jelölik. A K_1 kapcsoló lenyomásakor az M_1 munkahenger aktív állapotba kerül, és működésbe hozza a K_2 kapcsolót, az pedig az M_2 munkahengert!

A K_2 kapcsolót a munkahenger érintőgörgő segítségével működteti. Ezen kívül léteznek mágneses és fényelektromos, sőt pneumatikus kapcsolású érintők is.

A működési időt befolyásoló pneumatikus elemek

Az előző példában láthattuk, hogy a munkahengerek szinte egyszerre, a valóságban nagy erővel és lendülettel mozognak a K_1 indító kapcsoló lenyomása után. Ha a modellünk egy láda emelő és továbbító szerkezetét illusztrálja, akkor nagyon szerencsétlen dolog lenne a láda rángató emelése, és az emeléssel egy időben a továbbító szerkezet aktivizálása is. A működés időbeli lefolyását, lassítását **fojtó** és **időzítő** elemekkel valósítjuk meg.

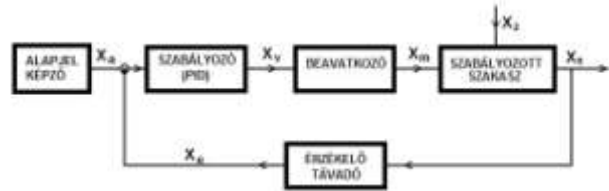


A fojtószelep általában csak az egyik irányban fejt ki hatását. A fojtást megkerülő kis csőben lévő golyó az egyik irányból érkező nyomás hatására zárja, ellenkező hatásra pedig nyitja a kerülő vezetékét. Ezzel azt biztosítjuk, hogy, például a lassan emelkedő munkahenger az alaphelyzetbe már gyorsan áll vissza!

1.6.2. A szabályozástechnika alapjai

Az irányítástechnika másik nagy ágát a szabályozások alkotják. A szabályozás célja általában a szabályozott gép, készülék, folyamat valamelyik **jellemző adatának** meghatározott értéken tartása a környezet zavaró hatásai ellenére. Ilyen lehet, például egy vegyipari művelet (vagy akár egy lakás) hőmérsékletének állandó értéken tartása, egy tartály nyomásának vagy folyadékszintjének állandósítása. De szabályozási feladat lehet valamilyen változás követése, és a rendszer jellemzőinek ehhez igazított változtatása is.

A szabályozás mindig zárt technikai kört alkotva valósul meg. Ezt nevezzük **szabályozási körnek**. A szabályozás eredménye visszahat magára a folyamatra, amiről így azt mondhatjuk, hogy **visszacsatolással** működő irányítási rendszer. A visszacsatolás általában a változással ellentétes irányú, ezért "negatív visszacsatolásnak" is nevezik.



Például: ha egy hőcserélő rendszerben nő a melegített folyadék hőmérséklete, csökkentjük a fűtést, viszont, ha csökken a hőmérséklet, növeljük a fűtést!

Az egyszerű szabályozási kör négy fő részből, négy **tagból** áll:

- **Szabályozott szakasz**, ami lényegében a szabályozni kívánt berendezés, készülék;
- **Érzékelő-távadó**, amely a szabályozott fizikai mennyiség mindenkori értékét méri, és a szabályozási rendszer által feldolgozható jellé alakítja;
- **A szabályozó készülék** (gyakran nevezik **PID-szabályozónak**), ami a szabályozás logikai feladatát látja el;
- **Beavatkozó szerv**, általában egy vezérelhető motoros szelep, amely a szabályozó utasítását végrehajtva módosítja a fizikai mennyiséget előállító másik fizikai jellemzőt.

A szabályozási feladat mindig valamilyen információs rendszerben valósul meg, ahol (megállapodás szerint) a szabályozott szakaszhoz tartozó jeleket **jellemzőknek**, az információfeldolgozásban részt vevő fizikai paramétereket pedig **jeleknek** nevezzük. A vegyipari szabályozások leggyakoribb információs jelrendszere az **elektromos áramjel**, vagy a **pneumatikus nyomásjel**. Ez azt jelenti, hogy az információ feldolgozása és a beavatkozás szabványosított jelek segítségével (összehasonlításával) történik.

Gyakrabban használt szabványos jelek:

- 0-5 V feszültségtartományban működő feszültség jel;
- 4-20 mA áramerősség tartományban működő áramjel;
- 0,2-1 bar nyomástartományban működő pneumatikus jel;

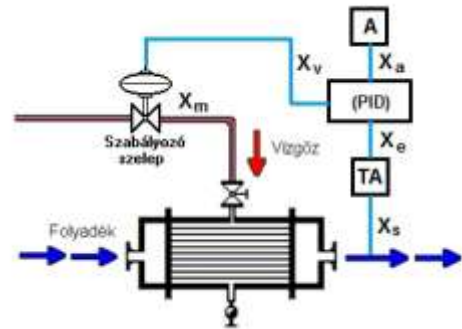
A felsorolás két utóbbi elemét "**élőnullás**" jeleknek is nevezzük, tekintettel arra, hogy a 0% információ tartalomhoz is meghatározott (4 mA vagy 0,2 bar) jelérték tartozik. Ezzel kiküszöbölhető az, hogy üzemzavart a rendszer a méréstartomány alsó határának (0%) értelmezzen. A "0" értékű jel egyértelműen hibát jelez a rendszernek.

A szabályozások, a feladat jellegétől függően különböző típusokba sorolhatók:

- A legegyszerűbb az **értéktartó szabályozás**, amely valamilyen tetszőleges folyamat kiválasztott fizikai jellemzőjét (nyomás, mennyiség, hőmérséklet) állandó értéken tartja;
- Összetettebb feladatot valósít meg a **követő szabályozás**, amely valamilyen matematikai úton meghatározott feltétel szerint változtatja a szabályozott fizikai jellemző értékét. Ilyen feladatot kell megoldani az állandó térfogatú szűrés nyomásszabályozásánál, vagy a desztilláció refluxarány szabályozásánál;
- Az **arány szabályozás** a követő szabályozás különleges esete, amelynél az egyik anyag mennyiségét a másik mennyiségének függvényében változtatjuk. Ilyen esettel találkozhatunk vegyipari reakciók szabályozásánál, vagy az extrakció szabályozásánál, ahol a oldószer arányát az alapanyag mennyiségéhez kell igazítani;

- Az értéktartó és a követő szabályozás kombinációja a **kaszkád-szabályozás**. Ennél a szabályozási típusnál az egyik szabályozási kör működését egy másik, hierarchikusan fölrendelt szabályozási körrel "irányítjuk";
- Két vagy több önálló értéktartó szabályozási kör akkor alkot **kapcsolt szabályozást**, ha az önállóan működő szabályozási feladatok között logikai kapcsolat van. Például a már említett desztillációs szabályozás megfelelő működésének feltétele a desztilláló kolonna állandó nyomása, amelyet általában a fűtés szabályozásával biztosítunk.

A szabályozási kör egyszerű vázlatához mindig hozzárendeljük a tényleges kapcsolási rajzot, amely a szabályozott szakasz blokkrajza helyén a valóság berendezést ábrázolja. Esetünkben ez egy **gőzfűtésű hőcserélő**, amelynek szabályozott fizikai jellemzője a kilépő folyadék **hőmérséklete (X_s)**. A hőmérsékletet a jelátalakító távadó **méri**, és információ feldolgozásra alkalmas jellé alakítja. Az így kapott **ellenőrző jelet (X_e)** a PID-szabályozó készülék összehasonlítja az **alapjellel (X_a)** és a beállításának megfelelő mértékben és ütemben kiadott **végrehajtó jellel (X_v)** nyitja vagy zárja a fűtőgőz adagoló szelepet.



Ezzel a gőzfűtés mennyiségét, mint **módosított fizikai jellemzőt (X_m)** változtatja! A gőzmennyiség megváltozása eredményezi a hőmérséklet változását.

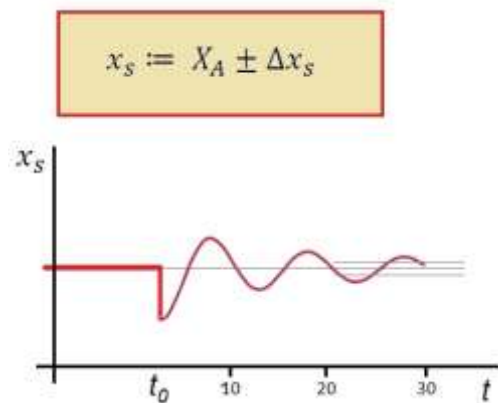
A szabályozási kör működésével kapcsolatos elvárásokat a lenti ábra segítségével értelmezhetjük:

- Pontosság: a szabályozási kör működése olyan legyen, hogy a... szabályozott jellemző mindenkori értéke legyen egyenlő a szabályozási hibával korlátos alapértékkel;
- Gyorsaság: a szabályozási kör a t_0 időpillanatban érzékelt zavarás hatására fellépő szabályozott jellemző eltérést... gyorsan állítsa vissza az eredeti értékre, vagy annak a megadott hibán belüli környezetére;
- Stabilitás: a zavar elhárítása...véges számú csillapodó lengésekkel valósuljon meg;

A szabályozási kör pontos, gyors és stabil működését bemutató ábrán figyeljük meg, hogy a pontosság képlete a "**:= (legyen egyenlő)**" formát alkalmazza. Ez azt fejezi ki, hogy a szabályozott jellemző értéke nem mindig egyenlő az alapértékkel, de elvárás, hogy azt véges hibával megközelítse. Itt hívjuk fel a figyelmet az **alapjel (X_a)** és a **alapérték (X_A)** közötti **különbségre!** Az alapérték az a szabályozott jellemző érték, amit szeretnénk a szabályozással biztosítani. Pl. a hőcserénél $X_A = 60^\circ\text{C}$. Az alapjel a szabályozási kör információs rendszerében a 60°C -nak megfelelő jelérték, pl.: $X_a = 12 \text{ mA}$.

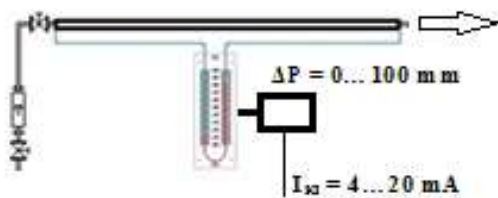
Ezeket az elvárásokat a szabályozó készülék **PID** (arányos, integráló, differenciáló) hatása biztosítja, amelyet a belső szerkezeti kialakítás, áramkör valósít meg.

A **hőmérséklet távadó működése** közben különböző szabályozott jellemző értékeket mér, és ennek megfelelően különböző áramjeleket továbbít a PID-szabályozó felé. A fenti példával, mondjuk, 50°C esetében $X_e = 10 \text{ mA-t}$. Ez azt jelzi a szabályozónak, hogy az $X_a - X_e = +2 \text{ mA}$ érték szerint az X_v végrehajtó jelet növelni kell, azaz nyitni kell a szelepen. Viszont ha, például 70°C -nál $X_e = 14 \text{ mA}$ az ellenőrző jel, akkor $X_a - X_e = -2 \text{ mA}$ érték szerint zárni kell a szelepen, ezzel csökkentve a X_m gőzmennyiséget, mint módosított jellemzőt!



1.6.3. A szabályozásköri tagok tulajdonságai

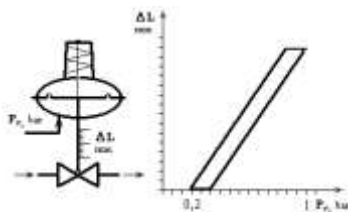
A szabályozási kör alkotóelemei a tagok. Matematikai értelemben a tag olyan alkatrészcsoport vagy készülék, amelynek a **bemenetére** szabályozásköri jelet kapcsolunk, és a **kimenetén** a tag belső tulajdonságai által megváltoztatott kimenő jelet kapunk. A tag **jellemző tulajdonsága**, hogy a bemenőjel és a kimenőjel, illetve a bemenőjel-változás hatására megvalósuló kimenőjel-változás matematikai egyenlettel leírható.



Például, ha az 1.3.6. pont gyakorló feladatainál megismert csőszakasz U-csöves nyomáskülönbségmérő műszeréhez az ábra szerinti jelátalakító távadót kapcsoljuk, akkor az ellenőrzőjel:

$$x_e = I_{ki} = \frac{20-4}{100-0} \cdot \Delta p + 4 \text{ [mA]}.$$

A képletben látható $\frac{20-4}{100-0}$ hányadost a távadó, mint tag **átviteli tényezőjének**, vagy erősítésének (A) nevezzük.

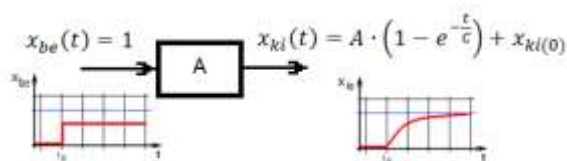
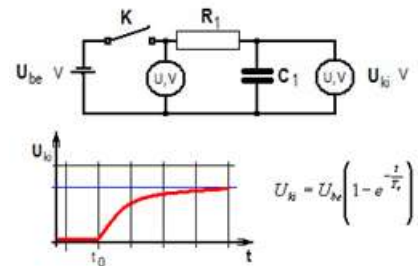


A baloldali ábra pneumatikus szelep működését és **átviteli karakterisztikáját** (jelleggörbéjét) mutatja. A p_v vezérlőnyomás növekedésére a szelep ΔL mértékben felemelkedik, és a folyadék áramlását biztosítja.

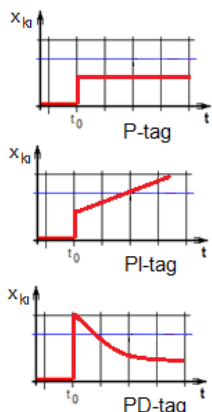
A szelep erősítése: $A = \frac{\Delta L}{\Delta p} = \frac{\Delta L}{1-0,2} \text{ [mm/bar]}$

A tagok időbeli viselkedése – átmeneti függvények

A műszaki gyakorlatban egyaránt találkozhatunk a folyamatok időbeli késlekedésével, a változások időhöz kötött lassabb-gyorsabb lefolyásával. Jellemző példa erre egy elektromos áramkör kondenzátorral (ábrán), vagy a hőmérsékletváltozás melegítéskor, illetve a nyomás csökkenése egy tartály ürítésekor. A változások üteme általában a természetes alapú logaritmus, illetve inverz függvénye az $y = e^x$ egyenletre vezethető vissza. A legjellemzőbb folyamat a **tároló hatás** amelynek függvénygörbéje és leíró egyenlete az ábrán látható. Az egyenletben látható T_c érték a tároló hatás **időállandója!**



A tagok átmeneti tulajdonságait szabványos, egységesített vizsgáló függvényekkel – ún. **egységugrás-függvénnyel** – lehet megállapítani. A t_0 időpillanatban a bemenetre kapcsolt $x_{be}(t)$ ugrásfüggvény hatására a kimeneten megjelenik az $x_{ki}(t)$ **válaszfüggvény**. Az $x(t)$ jelölés az időbeli változást jelenti.



A tagok időbeli kését, a tároló hatást vagy holtidőt a PID szabályozóba beépített **kompenzáló tagokkal** lehet ellensúlyozni. A PI-tag **integráló hatása** a szabályozás pontosságát növeli, míg a PD-tag **differenciáló hatása** a gyorsaságot. Maga a P-tag a szabályozási **kör stabilitásáról** gondoskodik.

Például az ábrán látható hőcserélő kilépő hőmérséklete (x_{ki}) PD kompenzáció alkalmazásával (b) sokkal gyorsabban változik, mint kompenzáció nélkül (a)!

