

3. HIDRAULIKAI ALAPISMERETEK

A hidraulika a *víz fizikai tulajdonságaival és mozgási jelenségeivel* foglalkozó tudomány. A nyugvó folyadékok törvényszerűségeit tárgyaló részét *hidrosztatikának*, a vízmozgások törvényszerűségeit vizsgáló részét *hidrodinamikának* nevezzük.

Itt azokat az – elsősorban gyakorlati – ismeret-részeket vesszük sorra, amelyek a vízgazdálkodási szakágazati, vízépítési tevékenység során tapasztalt jelenségek megértését és a feladatok megoldását segítik. Ilyen ismeretkörök a vízépítési műtárgyakra ható erők számítása, egyszerűbb csővezetéki- és mederszámítások, a műtárgyak jellemzőinek meghatározása.

A hidraulika önálló tudományterület, amely elsősorban fizikai, matematikai alapokra támaszkodik és gyakran alkalmaz tapasztalati, kísérleti úton meghatározott eljárásokat, összefüggéseket.

Az első mérnöki történeti adatok szerint az időszámítás előtti 2-3. évezredben készült öntöző és vízlevezető csatornák, és gravitációs vízellátó vezetékek maradványai és leírásai már a hidraulikai ismeretek gazdasági, esetenként stratégiai jelentőségére utalnak. Később, a középkor folyamán, neves tudósok sorának évszázadokon át végzett kutatásain és munkáik eredményein alapul korunk hidraulikai tudománya.

Napjainkban elsősorban a számítógépes alkalmazások elterjedése és a műszeres mérések minőségi fejlődése következtében az *alkalmazott hidraulika* gyorsan fejlődik, számos korábban elméletileg tisztázott feladat gyakorlati megoldása válik lehetővé, elsősorban a *környezeti hidraulika* területén.

3.1. A FOLYADÉKOK FIZIKAI TULAJDONSÁGAI

A *folyadék* alatt olyan anyagot értünk, amely csekély ellenállást tanúsít az alakváltozást létrehozó erőkkel szemben, a rendelkezésére álló teret a határoló felületek szerint (az edény, tartály alakjához igazodva) kitölti, de térfogatát nagy nyomásváltozások is csak kis mértékben befolyásolják.

Szerkezete – más anyagokhoz hasonlóan – molekuláris, amelyben az anyagot alkotó részecskék a teret nem töltik ki folytonosan. A gyakorlati hidraulikai feladatok során a valóságos folyadékokat, a teret hézag nélkül kitöltő, homogén közegként tekintjük, mint ahogyan az a szabad szemmel történő szemlélés során is tapasztalható. Az erre a szemléletre alapozva levezetett törvények, képletetek – a gyakorlati hidraulika határain belül – teljes mértékben kifejezik a valóságos, *molekuláris szerkezetű folyadék* törvényszerűségeit.

3.1.1. A sűrűség

Homogén folyadékok esetében – és a következőkben a külön említett esetek kivételével csak ezekkel foglalkozunk – a *sűrűség* és a *térfogatsúly* azonos fogalmat takar, és a sűrűség elnevezést használjuk. A homogén folyadék sűrűségének a *tömeg* (m) és *térfogat* (V) hányadosát, tehát a térfogat egységben foglalt tömeget nevezzük, az alábbiak szerint:

$$\rho = \frac{m}{V} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

A folyadék sűrűsége a hőmérséklet és a nyomás változtatásával módosítható. Értéke desztillált víz esetén $T = 4 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékleten, 101,3 kPa nyomáson 1000 kg/m^3 .

3–1. táblázat. Folyadékok légköri nyomáson mért sűrűsége

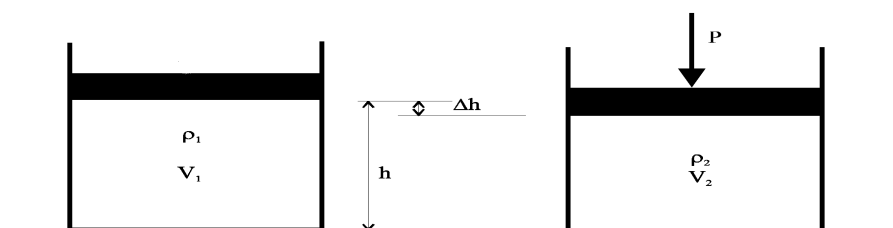
folyadék	sűrűség (kg/m^3)	Hőmérséklet ($^\circ\text{C}$)
desztillált víz	1000	4
tengervíz	1020-1030	15
alkohol 96%-os	795	15
benzin	700-750	15
glicerin 100%-os	1260	15
nyersolaj	790-950	15
kerozin	900-930	15
higany	13596	0
tej	1030	15
bor	990	4
sör	1030	4
kátrány	1100-1250	4

A természetben található és a használati vizek sűrűsége összetételük és fizikai állapotuk szerint ettől az értéktől jelentősen eltérhet. Tekintettel azonban arra, hogy ez az eltérés felszíni és felszín közeli természetes vizek, valamint a szokásos nyomásviszonyok (0-20 kPa) mellett szállított zárt csővezetéki édesvizek esetében csekély, számításaink során – a külön megadott értékek kivételével – a víz sűrűségét 1000 kg/m^3 értékűnek vesszük, és ennek indokoltágát a későbbiekben igazoljuk.

Néhány folyadékféleség légköri nyomáson mért sűrűségét tájékoztatásul a 3–1. táblázatban közöljük.

A sűrűség változása nyomás hatására

Az alábbi kísérlet során a zárt nyomásálló edénybe helyezett vízre ható nyomást a dugattyúra ható P erővel megnöveljük. A nyomásnövekedés hatására a folyadék összenyomódik, térfogata ΔV értékkel csökken. Értéke $\Delta V = V_2 - V_1$ (előjeles mennyiség!) A kezdeti állapotokat $_1$, a megváltozott állapotokat $_2$ indexekkel jelöljük.



3–1. ábra. A sűrűség változása nyomás hatására

A kísérletek és tapasztalatok szerint a nyomásváltozás és a hatására létrejövő fajlagos térfogatváltozás ($\varepsilon = \frac{\Delta V}{V_1}$) között lineáris a kapcsolat, a nyomásnövekedés térfogat csökkenést eredményez, tehát fordított arányosság.

A levezetés eredményeként a $\rho_2 = \rho_1 * \frac{1}{1 - \frac{\Delta P}{E}}$ alakot kapjuk, amely a nyomásváltozás (ΔP) és a

hatására létrejövő sűrűségváltozás között teremt kapcsolatot.

Az E – térfogati rugalmassági együttható, értéke kismértékben nyomásfüggő, értékeit a 3–2. táblázatban adjuk meg:

3–2. táblázat. A térfogati rugalmassági együttható értékei

P (Mpa)	0-50	50-100	100-500
E (Pa)	$2 * 10^9$	$2,4 * 10^9$	$2,8 * 10^9$

A fölfelszín közeli környezetben érvényes térfogati rugalmassági együttható (szürke aláfestéssel jelölt) $2 * 10^9$ (Pa) értékből látható, hogy meglehetősen nagy nyomásváltozás szükséges kismértékű fajlagos térfogatváltozás létrehozásához. Ennek igazolására példaként határozzuk meg a földfelszíni körülmények között 1% fajlagos térfogatcsökkenést előidéző nyomásnövekedést, víz esetén.

$$\varepsilon = \frac{\Delta V}{V_1} = \frac{0,01}{1} = 10^{-2}$$

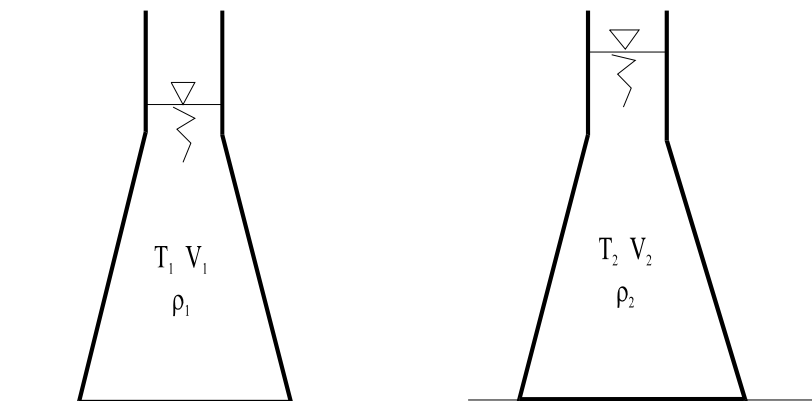
$\Delta P = -E * \varepsilon = 2 * 10^9 * 10^{-2} = 2 * 10^7$ (Pa) nyomásnövekedés, amely a légköri nyomás mintegy 200 szorosa.

A vízgazdálkodási gyakorlatban emiatt a vizet összenyomhatatlannak tekintjük, sűrűségét állandó, 1000 kg/m^3 értékkel használjuk.

A sűrűség változása hőmérsékletváltozás hatására

A folyadékok sűrűsége hőmérsékletváltozás hatására is változik. Az alábbi kísérletben a folyadékot melegítve térfogat növekedést tapasztalunk.

Az alábbi 3–2.ábra szerint a hőmérsékletváltozás értéke $\Delta T = T_2 - T_1$ a hatására létrejövő térfogatváltozás $\Delta V = V_2 - V_1$



3–2. ábra. A sűrűség változása hőmérsékletváltozás hatására

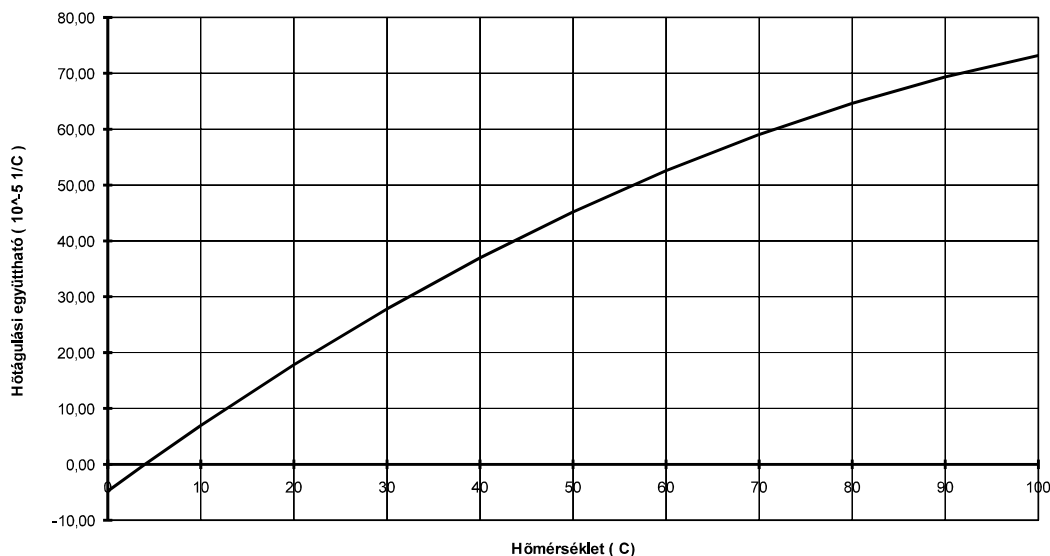
Tapasztalatok és mérési eredmények szerint az ε fajlagos térfogatváltozás és a ΔT hőmérsékletváltozás közötti kapcsolat lineáris, és a $+4\text{ }^\circ\text{C}$ fölötti tartományban megegyező irányú.

$\varepsilon = \alpha * \Delta T$ azaz $\Delta T = \frac{1}{\alpha} * \varepsilon$, ennek felhasználásával kapjuk a térfogatváltozás meghatározására használt közismert $\Delta V = \alpha * V_1 * \Delta T$ összefüggést.

az α térfogati hőtágulási együttható mértékegysége $\left(\frac{1}{K}\right)$

Értéke 277 (K) , azaz $+4\text{ }^\circ\text{C}$ esetén 0 , alatta negatív, felette pozitív előjelű, az alábbi 3.3. ábra szerint:

Víz hőtágulási együtthatójának hőmérséklet függése
légköri nyomáson ($101,3\text{ kPa}$)



3–3. ábra. A víz hőtágulási együtthatójának hőmérséklet függése

A víz sűrűségének hőmérséklet szerinti változását $P_0 = 101,3\text{ kPa}$ nyomáson, a 3–3. táblázat tartalmazza:

3–3. táblázat. A víz sűrűségének hőmérséklet szerinti változása

Hőmérséklet T (°C)	0	4	8	60	100
Sűrűség ρ (kg/m ³)	999,87	1000,0	998,26	983,3	958,65

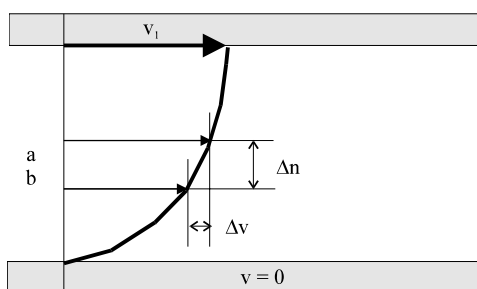
A hőtágulási együttható (α) 3.3. ábrán bemutatott hőmérsékletfüggése és $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál bekövetkező előjelváltása okozza, hogy $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ feletti további hőmérséklet növekedés és $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatti további hőmérséklet csökkenés esetén is a folyadék tágul, térfogata növekszik. Ennek következménye az állóvizek hőmérsékleti rétegződése, a jégképződés sajátosságai és az ezzel járó káros hatások többsége.

3.1.2. Belső súrlódás, viszkozitás

A valóságos folyadékok áramlása során az egymás mellett sebességkülönbséggel elhaladó vízrétegek között kölcsönhatás keletkezik, amelyet *csúsztató feszültséggel* jellemzünk. A csúsztató feszültség mértéke – lamináris áramlásnál – a sebesség gradienssel (a sebesség áramlás irányra merőlegesen egységnyi hosszban mért változásával) egyenesen arányos. (A *lamináris áramlás* – alacsony sebességű folyadékmozgás, amelynek jellemzője, hogy nem keveredő, az egyes részek kölcsönös helyzetüket megtartva mozognak.) Az arányossági tényező a dinamikai viszkozitás:

$$\tau = \eta * \frac{\Delta v}{\Delta n} \quad \left(\frac{N}{m^2} = \frac{N * s}{m^2} * \frac{m}{s * m} \right)$$

A *dinamikai viszkozitás* jele η , mértékegysége ($\text{Pa} \cdot \text{s}$), a 3–4. ábra és összefüggés szerinti értelmezésben.

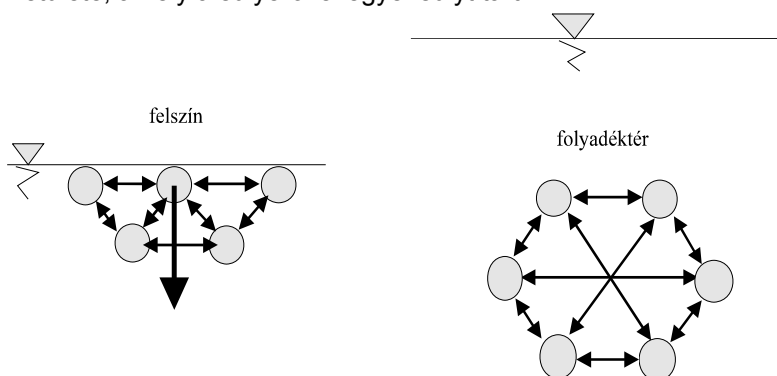


3–4. ábra. A sebesség gradiens értelmezése

A dinamikai viszkozitás a folyadék belső súrlódását kifejező jellemző, jelentősége a nyílt medrekben és zárt csővezetékben kialakuló vízmozgások vizsgálatában kiemelkedő.

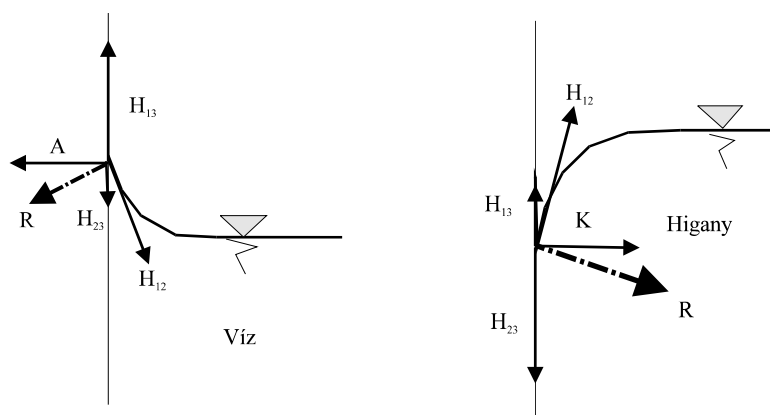
3.1.3. Molekuláris erőhatások, a folyadékok felületi feszültsége

A *folytonossági szemlélet* mellett a folyadékfelszínnel kapcsolatos jelenségek nem magyarázhatók meg, mivel azok elsősorban a molekuláris szerkezet (3–5. ábra) következményei. A tapasztalat szerint létezik *felületi erő*, amely a folyadékfelszín síkjában hat. A vízfelszínre helyezett borotvapenge szélénél a felszín kismértékben meggörbül, a felszín hártaként viselkedik és így megjelenik a felszíni erő függőleges irányú vetülete, amely a súlyerővel egyensúlyt tart.



3–5. ábra. A molekuláris szerkezet hatása

A folyadékok felszíni rétegének viselkedését a felületi feszültséggel magyarázhatjuk. Kísérletekkel bizonyítható, hogy az azonos folyadékrezecskék között *kohéziós erő*, a folyadék és más anyagok között pedig *adhéziós (összetartó) erő* hat. Például, ha két tiszta üveglemezre vizet helyezünk, majd azokat összeillesztve egymáshoz nyomjuk, hogy a vízréteg hézagmentes legyen, az ismételt szétválasztáshoz – a kohézió legyőzéséhez – jelentős erő szükséges. Ugyanakkor mindkét lemez felülete vizes marad, tehát az adhéziós erő víz és üveg esetében a kohéziót is meghaladja. Ez a magyarázata a folyadékfelszín alakulásának a határoló fal mentén. A 3–6. ábrán, a víz és a higany felszínének alakulását mutatjuk be.



3–6. ábra. A víz és a higany felszínének alakulása

Víz esetében a K kohéziós erőt (a találkozási vonalak szögfelezőjében) meghaladó A adhézió miatt az R eredő a falon kívülre mutat, így az erre merőleges érintőjű csatlakozási vonallal a vízfelszín felülről homorú alakot mutat. Higany esetén a K kohézió nagyobb értéke következtében az eredő a falon kívülre mutat, a vízfelszín pedig felülről domború.

A felületi feszültséggel és a görbült folyadékfelület által ennek következtében kifejtett erővel magyarázható a *kapilláris emelés* jelensége is. A vízzel, illetve higanyal telt edénybe helyezett vékony üvegcsövekben a víznél megemelkedik, a higanynál lesüllyed a felszín, a felületi feszültségből származó, a görbület irányába mutató erő hatására.

A d (mm) átmérőjű üvegcsőben történő *kapilláris emelés* mértéke $T = 20\text{ °C}$ víz esetén jó közelítéssel kifejezhető az alábbi összefüggéssel:

$$h_k \cong \frac{30}{d} \text{ (mm)}$$

Higany esetén a *kapilláris süllyedést* a következő közelítő képlettel határozhatjuk meg:

$$h_k \cong \frac{10}{d} \text{ (mm)}$$

A kapilláris emelés jelentősége a felszín alatti vizek mozgásjelenségeinek megismerésében mutatkozik meg. A talajszemcsék közötti szűk járatokban és terekben a nyugalmi talajvízfelszín fölé, szemcseméret-től függően akár 1-2 méter magasságra is felemelheti a vizet a fent említett felületi feszültség. A hatás kedvező a gyökérszóna vízellátására, és kedvezőtlen pl. a töltéstest átnedvesedése esetén.

3.1.4. A víz halmazállapotai

A $+4\text{ °C}$ alatti hőmérsékleten további lehűléskor a víz sűrűsége ismét csökken, így állóvizek esetén a *fagyás* a felszínen kezdődik. A képződött *jég* sűrűsége a víznél kisebb, tehát a jég úszik a felszínen. Légköri nyomáson a víz fagyáspontja 0 °C , forráspontja 100 °C .

A nyomás változásával – azzal megegyező irányban – a forráspont jelentősen elmozdul. A nyomás hatására megemelkedő forráspont jelenségének alkalmazási példája a kukta (Papin fazék) használata, amelyben a forráspont kb. 160 °C , ezért az étel rövidebb idő alatt puhul meg.

A víz természetes körülmények között mindig tartalmaz valamennyi oldott állapotú levegőt. Nyomás csökkenéskor a levegő egy része a vízpárával együtt kiválik. Szobahőmérsékleten (20 °C) a telített gőznyomás értéke $p_g = 2,4\text{ kPa}$, amelyre lecsökkenve *buborék képződés* indul meg. Ez ad magyarázatot pl. a *kavitáció* jelenségére, amely során keletkező, illetve összeroppanó buborékok koncentrált erőhatást gyakorolnak a szivattyúk járókerekeire, turbinalapátokra, hajócsavarokra. Az így kialakult fizikai sérülések a szerkezet meghibásodását okozhatják.

3.2. HIDROSZTATIKA, FOLYADÉKNYOMÁS, VÍZNYOMÁSÁBRÁK

3.2.1. A folyadéknomás értéke

A hidrosztatikában jellemzően ideálisnak (összenyomhatatlan, súrlódásmentes, tulajdonságai iránytól függetlenek) tekintett folyadék nyugvó, elmozdulásmentes állapotait vizsgáljuk. Ilyen állapot tavakban, medencékben fordul elő és belső nyomáseloszlás vonatkozásában ilyennek tekintjük a kis sebességű vízmozgásokat is.

A hidrosztatika első alaptétele

A nyugvó folyadék a határoló edény falára csak merőleges hatást gyakorol, azaz nincs a határoló felület síkjába eső feszültség és erőhatás.

A hidrosztatika második alaptétele

A nyugvó folyadék bármely belső pontjában a nyomás minden irányban hat és egy pontban iránytól függetlenül azonos nagyságú (gömbi feszültségi állapot).

A pontbeli nyomás értéke

A nyomás felületegységre jutó erő, amely a folyadéktér belső pontjaiban a hely függvénye. Értéke a folyadék felszínére ható p_0 nyomás esetén a felszín alatt h mélységben lévő bármely pontban

$$p_x = p_0 + \rho * g * h \text{ (Pa)}$$

Tehát a nyugvó folyadéktér felszín alatt h mélységű pontjában tapasztalható *abszolút nyomás* a *felszínre ható p_0 nyomásból* és a mélységtől és sűrűségtől függő $h * \rho * g$ *túlnyomásból* tevődik össze.

$$p_{absz} = p_0 + p_t$$

A *hidrosztatikus túlnyomás* ($\rho * g * h$) víz esetén a mélység függvénye, ezért gyakran az adott nyomásértéket előidéző vízoszlop magassággal fejezzük ki. A légköri nyomás például a 10,33 m, azaz közelítően 10 m vízoszlopmagassággal egyenértékű. Az összefüggésből levonható további következtetés, hogy nyugalomban lévő folyadékokban a vízfelszínrel párhuzamos síkon lévő pontokban (azonos mélységű pontok) a hidrosztatikus túlnyomás értéke is azonos.

A hidrosztatika harmadik alaptétele

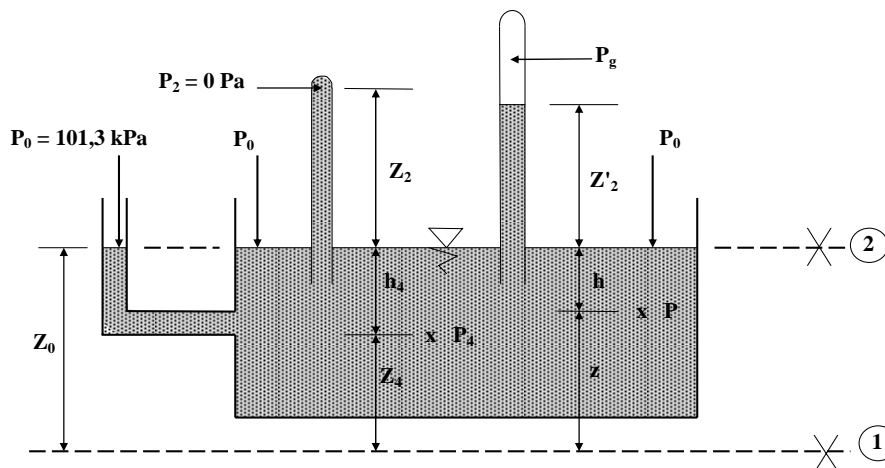
Pascal törvénye: a nyugalomban levő folyadéktérre ható külső erők hatása (nyomás) a folyadéktérben veszteségmentesen terjed és érvényesül. Külön bizonyítás helyett lásd a $p_x = p_0 + \rho * g * h$ alakot, ahol a külső, azaz a vízfelszínre ható p_0 nyomás azonos értékkel jelen van.

A hidrosztatika alaptételeinek és a folyadéknomás értékének meghatározására fent bemutatott összefüggések alkalmazását az alábbiakban néhány példán bemutatjuk.

Viszonyító síknak a vízfelszínét véve és a 3–7. ábra jelölései szerinti értelmezésben keressük a vízszint feletti 0 (Pa) abszolút nyomású pontot. A

$$0 + \rho * g * z_2 = p_0 + \rho * g * 0 \text{ egyenletből}$$

$$z_2 = p_0 / (\rho * g) = 101,3 * 10^3 / (10^3 * 9,81) = 10,33 \text{ m eredményt kapjuk.}$$



3–7. ábra. A hidrosztatika alaptételeinek alkalmazásai

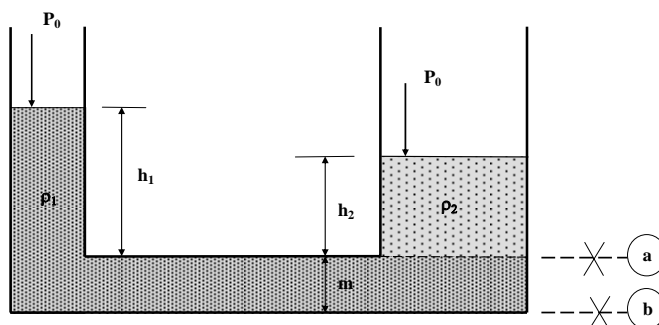
A valóságban $p_2 = p_g = 2,4 \cdot 10^3$ Pa (telített gőznyomás), így a nyomáscsökkentéssel elérhető legnagyobb vízszint emelés értéke

$$Z'_2 = (p_0 - p_g) / (\rho \cdot g) = (101,3 - 2,4) \cdot 10^3 / (10^3 \cdot 9,81) = 10,08 \text{ m}$$

A közlekedő edények törvénye: azonos nyugvó folyadékteret képező, egymással összeköttetésben lévő edények száraiban a folyadékszintek azonos magasságban helyezkednek el:

$$p_0 + \rho \cdot g \cdot z_0 = p_0 + \rho \cdot g \cdot (h+z) \text{ és mivel } p_0 = p_0 \\ Z_0 = h+z$$

Különböző sűrűségű, nem keveredő folyadékok (3–8. ábra):



3–8. ábra. Nem keveredő folyadékok

a) eset: viszonyító sík a réteghatáron

$$p_0 + \rho_1 \cdot g \cdot h_1 = p_0 + \rho_2 \cdot g \cdot h_2 \text{ amiből } h_1 / h_2 = \rho_2 / \rho_1$$

b.) eset: viszonyító sík a réteghatár alatt m távolsággal

$$p_0 + \rho_1 \cdot g \cdot (h_1 + m) = p_0 + \rho_2 \cdot g \cdot h_2 + \rho_1 \cdot g \cdot m \\ \rho_1 \cdot g \cdot h_1 + \rho_1 \cdot g \cdot m = \rho_2 \cdot g \cdot h_2 + \rho_1 \cdot g \cdot m \text{ amiből} \\ h_1 / h_2 = \rho_2 / \rho_1$$

3.2.2. A folyadéknomásból származó erők számítása

A vízépítési szerkezetek, földgátak, beton falak, műtárgyak acél elzáró szerkezetei, jellemzően síkokból, henger- és gömbszeletekből kialakított, összetett felületek.

Itt most az egyszerűbben kezelhető, általános helyzetű körülhatárolt sík felületekre ható erők meghatározásával foglalkozunk. Tekintettel arra, hogy a légköri nyomás nem csak a folyadéknomásban jelenik meg, hanem a szerkezetekre is hat, az eredő erők számításánál hatása kiegyenlítődik. Ezért a folyadéknomás relatív részével (hidrosztatikus többletnyomás) elegendő számolni. A levezetés mellőzésével az erő értéke

$$P = p_S \cdot F$$

azaz a körülhatárolt általános helyzetű sík felületre ható folyadéknomásból származó eredő erő értéke a súlyponti nyomás (p_S) és a felületnagyság (F) szorzataként számítható.

Fontos hangsúlyozni ugyanakkor, hogy az eredő támadáspontja nem szükségképpen a súlyponttal (S) esik egybe, hanem vízszintestől eltérő helyzetű síkok esetében a súlypont esésvonalában, attól lejjebb található (D). (Az esésvonal – a felület legnagyobb lejtésű vonala.) A távolságot a súlypont (S) és a támadáspont (D) között *excentricitásnak* (külpontosság, jele „e”) nevezzük. Értékének meghatározására a következő szakaszban mutatunk be egyszerű eljárást (lásd a 3–9. ábrát).

A folyadéknomás ábrázolása

A folyadéknomás ismert tulajdonságai alapján, és mert rendelkezik a vektormennyiség szükséges jellemzőivel, iránya, irányultsága és nagysága van, vektorként szemléletesen és hasznosan ábrázolható. Az ábrázolási szabályok következetes betartása jelentősen megkönnyíti az alkalmazást, segít a hibák elkerülésében és egyszerű eszközt biztosít a fenti erő és támadáspont meghatározásához.

A *nyomás lépték*: mind méretarányos, mind „szabadkézi” alakhelyes ábrázolás esetén a javasolt érték 1 ábrázolási hosszegység = $1 \cdot \rho \cdot g$ (Pa) nyomásértékkel.

Ebből következően egy pontbeli nyomást reprezentáló vektor hossza megegyezik az adott pont mély-

ségével. A vektor a folyadékter felől a nyomott felület felé mutat és merőleges arra, vagy görbe felületek esetén annak pontbeli érintőjére (lásd korábban, a hidrosztatika alaptételeinél).

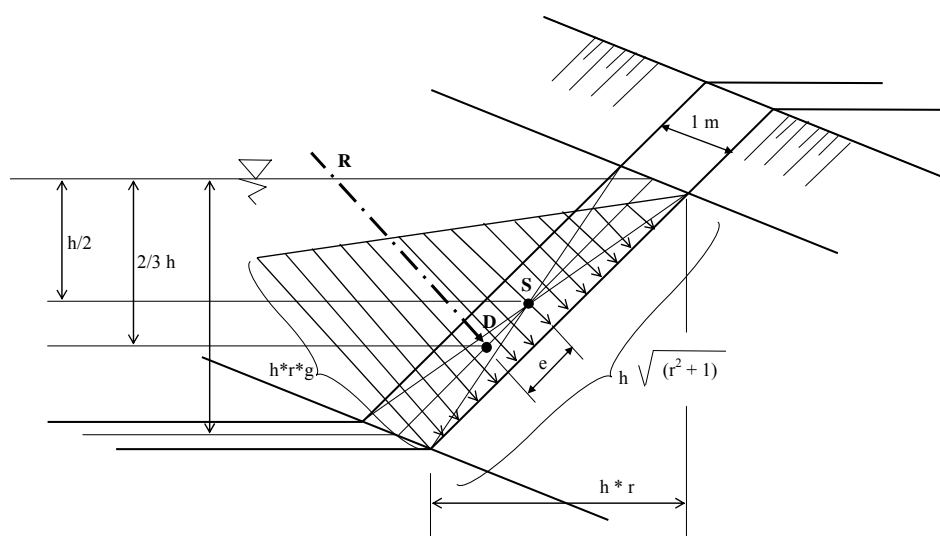
A 3–9. ábrán bemutatott töltéstest metszethez és rézsú felülethez megrajoltuk az *eredő nyomásábrát*, azaz a rézsú felület egyes pontjaira ható pontbeli nyomásokat jelképező vektorokat, az R jelű eredő nyomóerőt, melynek értéke az ábrázolás síkjára merőlegesen 1 m hosszúságú rézsú szeletre, a korábban körülhatárolt sík felületre ismertetett módon számítható:

$$R = \frac{h}{2} * \rho * g * 1 * h * \sqrt{(r^2 + 1)} = \frac{h^2}{2} * \rho * g * 1 * \sqrt{(r^2 + 1)}$$

Az összefüggésben

$$\text{a súlyponti nyomás} \quad p_s = \frac{h}{2} * \rho * g$$

$$\text{a nyomott felület} \quad A = 1 * h * \sqrt{(r^2 + 1)}$$



3–9. ábra. A folyadéknyomás ábrázolása

A fenti módszertan helyett előállítva az 1m hosszú szelet minden pontjához illesztett nyomásvektorokból képződő „nyomástestet” és meghatározva „térfogatát” – mint látható – a fentivel azonos eredményre jutunk:

$$\frac{h * \rho * g * h * \sqrt{(r^2 + 1)}}{2} * 1 = \frac{h^2}{2} * \rho * g * 1 * \sqrt{(r^2 + 1)} = R$$

Az eljárás jól használható sík felületekkel határolt testekre ható nyomóerők számítására. Az eredő erő (R) helye a derékszögű háromszög alakú nyomásábra nyomásirányú súlyvonala, amelyből következően támadáspontja (D) 2/3 h mélységben található.

3.3. FELHAJTÓERŐ, ÚSZÁS

A folyadékba merült testek felületére ható folyadéknyomások összegzésével (a levezetést mellőzve) a közismert felhajtóerő (P) összefüggésre jutunk:

$$P = \rho * g * V,$$

azaz a *felhajtóerő* egyenlő a bemerült testtel megegyező méretű (V térfogatú) víztest súlyerejével. Az összefüggés nem utal a felhajtóerő folyadéknyomás eredetére. Mégis a felhajtóerő számításakor emlékezzünk annak egyértelmű, tapasztalatokkal könnyen igazolható folyadéknyomás eredetére.

A vízépítési gyakorlatból a *részleges bemerülést*, azaz a *felszínen úszást* és a teljesen bemerült, *lebegő testek* egyensúlyi állapotainak áttekintését emeljük ki.

A *felszínen úszás* állapotának vizsgálatára helyezzünk a vízre egy homogén tömegeloszlású testet, (pl.: fa palló) majd központosan terheljük meg egy lefelé mutató erővel (P) (3–10. ábra).

Határozzuk meg a *bemerülés mértékét* (h) ebben az esetben és terhelés nélkül (h') is.

További adatok: a palló méretei: $a = 5$ m, $b = 0,15$ m, $m = 0,05$ m,
sűrűsége $\rho_{fa} = 600$ kg/m³
terhelő erő: $P = 0,10$ kN

A felszínen úszás során a bemerülés olyan mértékű lesz, hogy a P terhelő és G súlyerő lefelé mutató összegével megegyező, felfelé mutató F felhajtóerő keletkezzék. Az ezt kifejező egyensúlyi egyenlet

$$P + G = F$$

Behelyettesítve az ábra jelöléseit:

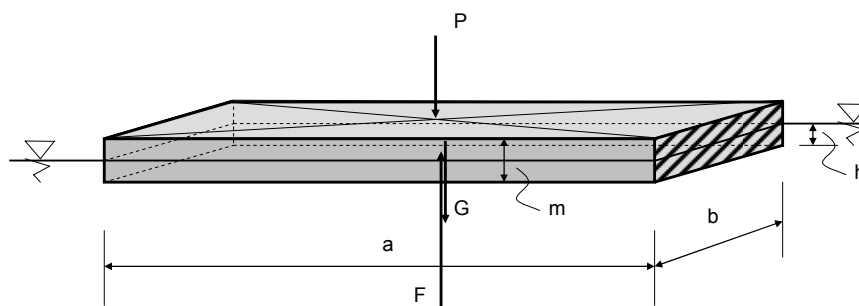
$$P + a * b * m * \rho_{fa} * g = a * b * h * \rho_{víz} * g, \text{ amelyből a bemerülési mélység}$$

$$h = \frac{P + a * b * m * \rho_{fa} * g}{a * b * \rho_{víz} * g} = \frac{100 + 5 * 0,15 * 0,05 * 600 * 9,81}{5 * 0,15 * 1000 * 9,81} = 0,436 \text{ m, azaz } 4,36 \text{ cm}$$

Terhelés nélkül a bemerülés h' mértéke

$$h' = \frac{a * b * m * \rho_{fa} * g}{a * b * \rho_{víz} * g} = \frac{5 * 0,15 * 0,05 * 600 * 9,81}{5 * 0,15 * 1000 * 9,81} = 0,30 \text{ m, azaz } 3 \text{ cm.}$$

A sűrűségek arányából várhatóan a bemerülés az anyagvastagság 6/10-ed része, azaz $5 * 6/10 = 3$ cm lesz.



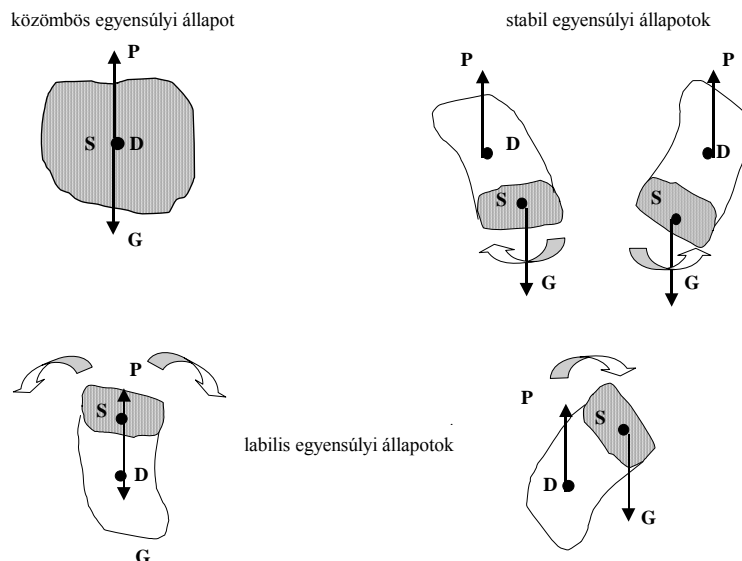
3–10. ábra. A felszínen úszás vizsgálata

A *lebegés* (teljes bemerülés) feltétele, mivel a bemerült testre ható vízszintes irányú erők nyugvó (és lassan mozgó) folyadékok esetén egyensúlyban vannak, a felhajtóerő (P) és súlyerő (G) egyenlősége.

Az első, homogén tömegeloszlású esetben, a test (S) és a kiszorított víztest (D) tömegközéppontja egybe esik, a lebegés feltétele a testsűrűség és a folyadéksűrűség azonossága. A ható erők közös támadáspontja és hatásvonala miatt a test bármely helyzetben és mélységben közömbös egyensúlyi állapotban mozdulatlan marad (3–11. ábra).

Továbbra is lebegést feltételezve, azaz $P=G$, de inhomogén tömegeloszlás esetén azokban a helyzetekben, amikor a felhajtóerő támadáspontja a súlypont felett helyezkedik el, bizonyos mértékű kibillenes után is visszatérítő nyomaték keletkezik, ezért a test *stabil egyensúlyi helyzetben* van.

Amikor a súlypont helyezkedik el felül, és az (S) (D) pontokat összekötő egyenes az *úszástengely* éppen függőleges, a test a legkisebb oldalirányú hatásra elbillen (labilis) és a megjelenő nyomaték hatására átfordul, stabil helyzetbe kerül.



3–11. ábra. Az úszási egyensúlyi állapotok értelmezése

3.4. A MOZGÓ VÍZ TULAJDONSÁGAI, FOLYADÉKMOZGÁSOK OSZTÁLYOZÁSA

3.4.1. A vízhozam

A *nyomás alatti áramlások* sajátosságainak áttekintését a később használatos fogalmak értelmezésével kezdjük. Az áramlási szelvény sebességeloszlását vizsgálva megállapítható, hogy az jellemzően nem egyenletes, az áramlási teret határoló falak, csőfal, mederfalhoz közelebb a sebességek kisebbek és a mozgó víztér közepén nagyobbak.

A szelvényre egységesen értelmezett *középsébség* v_k (m/s) az a sebesség érték, amely ha a szelvény minden pontján előállna a vízszállítás a természetes sebességeloszlás szerinti vízhozammal egyezne meg. Ezzel bevezetjük a *vízhozam*, Q (m^3/s) fogalmát is, ami az áramlásra merőleges metszeten időegység alatt áthaladt térfogatot, azaz *térfogatáramot* jelent. Tehát,

$$v_K = \frac{Q}{A} \quad \text{ahol} \quad Q = \int_A v * dA$$

Az áramlás folytonossága gyakran alkalmazott fogalom, jelentése szerint *folytonos áramlásban* az egyes szelvényeken azonos vízhozam folyik keresztül, permanens folyamatok és összenyomhatatlan folyadék esetén ez térfogati azonosságot is jelent, tehát

$$Q = v_{K1} * A_1 = v_{K2} * A_2 = \dots = v_{Kn} * A_n$$

A *permanencia* időbeni változékonyságot kifejező fogalom. Vízrészecskékre értelmezve kimondható, hogy azok lüktető, időben állandóan változó sebességű és irányú mozgása következtében mozgásuk nem nevezhető permanensnek. Amennyiben a sebességingadozások rövid időre számított átlagai egyenlők, a mozgást mégis *permanensnek* tekinthetjük és csak az átlagok jellegzetes változása esetén beszélünk *nempermanens mozgásról*.

Az *áramlási vonal* az egyes vízrészecskék pályája, a bejárt útvonal, melynek pontbeli érintőit a részecske ottjártakor tapasztalható sebességvektora adja.

Az *áramvonal* (áramvonal sereg) egy időpillanathoz tartozó fogalom, melyet a részecskék pillanatnyi sebességvektoraira merőleges vonalsereg alkot.

A *nyomvonal* az áramlási tér egy pontján áthaladt részecskék alkotta vonal (pl. festékcsík).

Alacsony sebességű vízmozgásokban a nyomvonal jól kialakul, az áramlás szálas, réteges, az egyes rétegek nem keverednek egymással, amit a határozottan megmaradó festékcsík is mutat. Az ilyen áramlást *laminárisnak*, míg a kevergő, a részecskék kölcsönös helyzetét változtató mozgást *turbulens-*

nek nevezzük. Reynolds kísérleteivel állapította meg a kétféle mozgás elhatárolására alkalmas módszert, az ún. *Reynolds-féle* számot (Re):

$$Re = \frac{v_K * d}{\nu}$$

ahol v_K középsebesség (m/s),
 d csőátmérő (m),
 ν kinematikai viszkozitás ($1,2 * 10^{-6}$ m²/s).

A kétféle áramlás határa nem éles. A $Re > 2320$, azaz a 2320 feletti tartomány már nem lamináris, inkább átmenetinek nevezhető a turbulencia fokozatosan fejlődik ki, 50–100.000 feletti Re esetén

beszélhetünk tisztán turbulens mozgásról. Csővezetéki vízmozgásaink és vízfolyásaink ($Re = \frac{v * R}{\nu}$,
 határérték $Re = 580$) döntően turbulens mozgásúak.

3.4.2. Folyadékmozgások energia viszonyainak vizsgálata

Nézzük a valóságos folyadékok dinamikai egyensúlyának vizsgálatát.

A Bernoulli-egyenlet kifejezi, hogy valóságos folyadékok áramlása során az áramlási szelvény energia tartalma a veszteséggel csökken. A 3–12. ábra szerinti értelmezésben felírva:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\rho * g} + \frac{\alpha_1 * v_1^2}{2 * g} = Z_2 + \frac{p_2}{\rho * g} + \frac{\alpha_2 * v_2^2}{2 * g} + h_{v1-2}$$

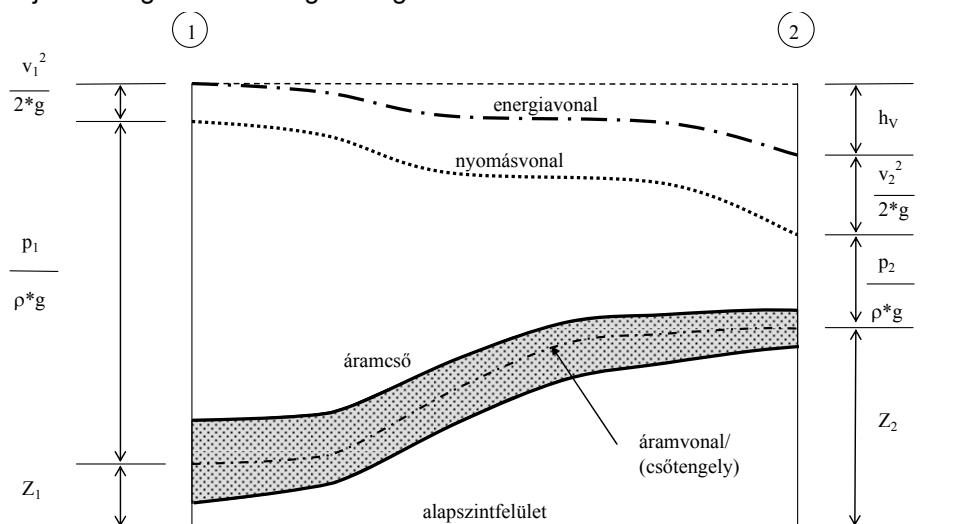
Az egyes energia összetevők értelmezése:

Helyzeti energia (Z) – a csőtengely viszonyító sík feletti (geodéziai) magassága (m).

Nyomási energia $\left(\frac{p}{\rho * g} \right)$ – p nyomást képviselő folyadékoszlop magassága (m).

Mozgási energia $\left(\frac{\alpha * v^2}{2 * g} \right)$ – v sebességű víztest mozgási energiája (m).

Az *energiavesztés* h_{v1-2} a részecskék egymással és a határoló felülettel történő ütközése következtében jön létre, a környezetbe kisugárzott hőként és hangként (rezgés) értelmezhető. Ebből következően a súrlódási veszteség a csőszakaszok hosszával arányos, ugyanakkor megkülönböztetünk ún. *helyi veszteséget* is, amely rövid szakaszon a sebesség vagy áramlási irány hirtelen változása miatti extra súrlódás, és többnyire szerelvényeknél következik be. *Csővezetéki vízmozgások* számítása során döntő jelentőségű a veszteségek meghatározása.



3–12. ábra. Csőszál energiaviszonyainak értelmezése

3.4.3. Egyszerűsített veszteségszámítás

Valóságos csővezetékekben és csőhálózatokban, jellemzően épületeken kívül, regionális vízvezetékek, települési hálózatok, öntözőrendszerek esetén a súrlódási veszteség mellett a helyi veszteségek elhanyagolhatóan alacsony értékűek. A gyártók termékeik érdességi jellemzőinek megadásakor 5–10% helyi veszteséget is beépítenek az értékekbe, ebből következően gyakorlati csővezetési számítási feladatokban a helyi veszteséggel rendszerint nem számolunk.

Tekintettel továbbá az üzemi nyomás, túlnyomás (2 – 5) kPa \approx (20 – 50) m energiaszint nagyságrendjére, és a szokásos (0,3 – 2,0) m/s sebességtartomány közepének \approx 0,05 m mozgási energia értékére az energia egyenletben, a mozgási energiát, mint energia összetevőt is elhanyagolhatjuk.

Kihasnálva továbbá a gyártott csőátmérők és –anyagok számának korlátosságát, valamint a csővezetékek mértékadó működési állapotaiban kialakuló sebességek és hőmérsékletek viszonylag szűk tartományát, egyszerűsített számítási eljárások vezethetők be.

A vízhozam – veszteség kapcsolatot leíró egyenlet szerint

$$\Delta H = \lambda * \frac{16 * Q^2 * L}{d^5 * \pi^2 * 2g}, \text{ melyben, ha rögzítjük a sebességet és a viszkozitást, az ellenállási}$$

tényező a korlátos számú csőátmérő és csőanyag függvényévé válik [$\lambda=f(d, \Delta)$] és azokhoz hozzárendelhető, táblázatban rendelkezésre áll.

$$\Delta H = \frac{16 * \lambda}{d^5 * \pi^2 * 2g} * Q^2 * L \quad \text{alakban bevezetve az}$$

$$S = \frac{16 * \lambda}{d^5 * \pi^2 * 2g} \text{ fajlagos veszteség fogalmát, a}$$

$$\Delta H = S * L * Q^2 \text{ formához jutunk.}$$

A gyakori átmérő- és anyagcsoportokra meghatározott fajlagos veszteség (S) értékeket a 3–4. táblázatban közöljük.

3–4. táblázat. A fajlagos veszteség értékek a gyakori átmérő- és anyagcsoportokra

Csőátmérő (mm)	Abszolút érdesség (mm)						
	0,04	0,10	0,25	0,40	1,00	1,50	3,00
	műanyag	Azbeszt-cement, beton nyomócső	új öntöttvas, karimás kötéssel	hegesztett acélcső	öntöttvas, átlagos állapotban	rozsdás, lerakódásos öntöttvas	régi, karimás vagy tokos öntöttvas csövek
50	6383,9	7144,2	8595,0	9730,8	13100,5	15303,4	20752,2
80	543,4	602,3	714,0	800,5	1051,4	1211,5	1594,7
100	169,02	186,66	219,79	245,41	319,03	365,48	475,25
125	52,66	57,92	67,82	75,41	97,08	110,60	142,25
150	20,32	22,28	25,97	28,79	36,79	41,76	53,24
200	4,532	4,947	5,726	6,318	7,986	9,010	11,347
250	1,416	1,541	1,775	1,953	2,448	2,750	3,434
300	0,548	0,595	0,682	0,749	0,933	1,045	1,296
400	0,1227	0,1328	0,1514	0,1655	0,2044	0,2278	0,2798
500	0,0385	0,0415	0,0471	0,0514	0,0631	0,0700	0,0854
600	0,01493	0,01607	0,01820	0,01979	0,02416	0,02676	0,03247
800	0,00336	0,00360	0,00406	0,00440	0,00533	0,00588	0,00707
1000	0,00106	0,00113	0,00127	0,00137	0,00165	0,00182	0,00218
1200	0,00041	0,00044	0,00049	0,00053	0,00064	0,00070	0,00083

További egyszerűsítési lehetőség, több azonos átmérőjű, anyagú és hosszúságú szakaszból álló rendszer, vagy azonos csőszakasz többszöri számítási igénye esetén (pl. hálózati számításoknál) a $K = S * L$ szakaszellenállás bevezetése, mellyel a veszteség egyenlet $\Delta H = K * Q^2$ alakra egyszerűsödik.

3.4.4. Szivornya vízszállítása

A szivornya nyomás alatti átfolyási állapotban, magasabb energiaszintű víztérből alacsonyabba szállít vizet, miközben a két víztér szintjénél magasabban elhelyezkedő szelvénye is van. Hidraulikai jellemzői meghatározásakor – tekintettel a helyi veszteségek jelentős arányára, azokat a csövezetékre felírt Bernoulli-egyenletben is figyelembe kell venni, az alábbi 3–13. ábra szerinti értelmezésben:

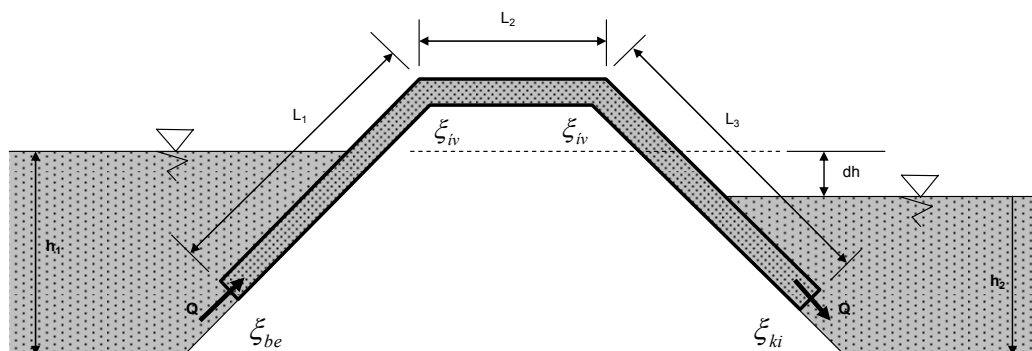
$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho * g} + \frac{v_1^2}{2 * g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho * g} + \frac{v_2^2}{2 * g} + \sum h_{v_{1-2}}, \text{ felhasználva a}$$

$Z_1 = h_1, Z_2 = h_2$, és $Z_1 - Z_2 = dh$, valamint $P_1 = P_2 = P_0$, és $v_1 = v_2 = 0$ peremfeltételeket

$$dh = \frac{16 * Q^2}{d^4 * \pi^2 * 2 * g} \left(\lambda \frac{\sum L}{d} + \xi_{be} + \xi_{ki} + 2 * \xi_{iv} \right), \text{ amelyből a vízhozam}$$

$$Q = \sqrt{\frac{dh * d^4 * \pi^2 * 2 * g}{16 * \left(\lambda \frac{\sum L}{d} + \xi_{be} + \xi_{ki} + 2 * \xi_{iv} \right)}}$$

Szivornya vízszállítása



3–13. ábra. Szivornya jellemzőinek értelmezése

A mintapéldában alkalmazzuk a be- és kilépési veszteségtényezők $\xi_{be} = 0,5$, $\xi_{ki} = 1,0$, $\xi_{iv} = 3,0$ és $\lambda = 0,025$ ismert értékeit. A részletes eredményeket a 3–5. táblázatban és a 3–16. ábrán közöljük.

$D = 0,6 \text{ m}$ $\lambda = 0,025$ $\xi_{be} = 0,5$ $\xi_{ki} = 1$ $\xi_{iv} = 3$
 $L_1 = 8 \text{ m}$ $L_2 = 12 \text{ m}$ $L_3 = 8 \text{ m}$ $\sum L = L_1 + L_2 + L_3$

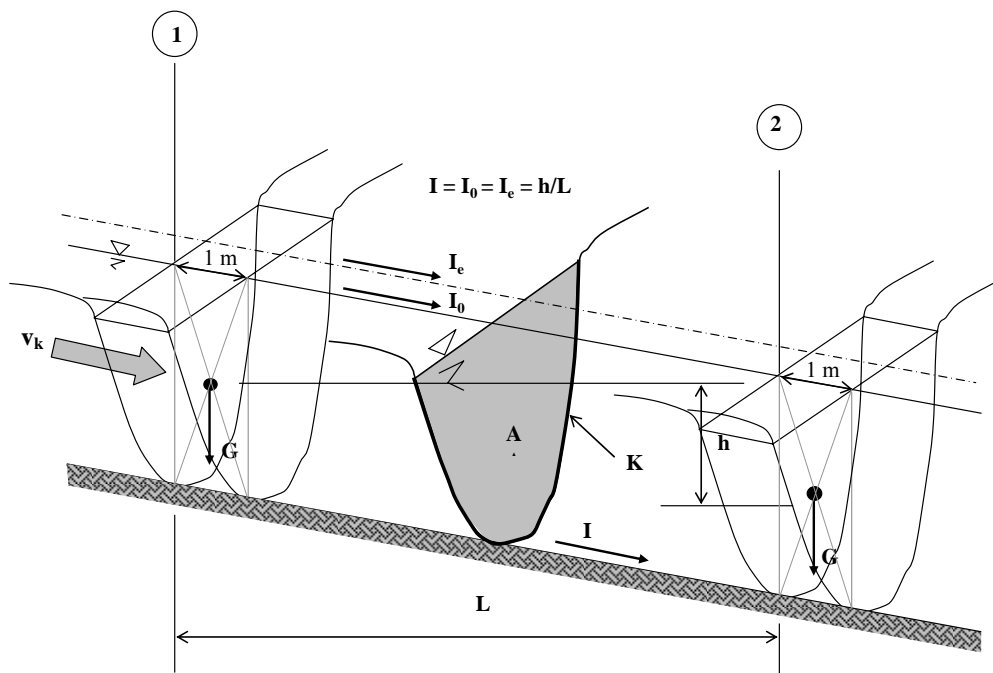
3–5. táblázat. Szivornya hidraulikai jellemzői

Q (m3/s)	v (m/s)	dh (m)	Q (m3/s)	v (m/s)	dh (m)
0,00	0,00	0,00	0,22	0,78	0,27
0,02	0,07	0,00	0,24	0,85	0,32
0,04	0,14	0,01	0,26	0,92	0,37
0,06	0,21	0,02	0,28	0,99	0,43
0,08	0,28	0,04	0,30	1,06	0,50
0,10	0,35	0,06	0,32	1,13	0,57
0,12	0,42	0,08	0,34	1,20	0,64
0,14	0,50	0,11	0,36	1,27	0,72
0,16	0,57	0,14	0,38	1,34	0,80
0,18	0,64	0,18	0,40	1,41	0,88
0,20	0,71	0,22	0,50	1,77	1,38

3.5. NYÍLT MEDREK VÍZSZÁLLÍTÁSA

3.5.1. A permanens egyenletes vízmozgás vizsgálata

Tapasztalatok szerint mind a természetes mind a mesterséges medrek, amennyiben *prizmatikusnak* (hosszú szakaszon azonos szelvényalakú és lejtésű), vályú-szerűnek tekinthetők permanens állapotban állandó középsebességet és szelvényterületet mutatnak. Nem tapasztalhatóak jelentős hely és idő szerinti sebesség és szelvényváltozások. Az ebből adódó következtetés szerint egy vizsgálati szakaszon felszabaduló *helyzeti energia* (helyzeti energia csökkenés) tehát teljes mértékben a súrlódási munkára fordítódik. A 3–14. ábra szerint értelmezve a jellemzőket,



3–14. ábra. Permanens egyenletes vízmozgás vizsgálata

és a fenti energia egyenlőséget felhasználva (a levezetést mellőzve) a mederben kialakuló szelvény középsebességre (v_k) Chezy ismert képletét kapjuk (1769): a

$$v_k = c * \sqrt{R * I} \quad \text{összefüggésben az}$$

$$\frac{A}{K} = R \quad \text{a hidraulikus sugár – a szelvény alaki jellemzője, a}$$

$$\frac{h}{L} = I \quad \text{mederlejtés, amely ebben az esetben vízfelszín és energiavonal lejtés is, a}$$

$$\sqrt{\frac{a}{\rho * g}} = c \quad \text{sebességi tényező, amely tapasztalati úton meghatározott értékei révén a}$$

víztest turbulenciája miatt bekövetkező belső (víz és víz közötti) súrlódások hatását is megtestesíti.

A mértékegységeket áttekintve, a sebességi tényezőre $\left(\frac{1}{s} \right)$ képzetes mértékegység keletkezik. A

meder vízhozamának meghatározására a $Q = v_k * A$ összefüggés használható.

3.5.2. A sebességi tényező

A földmedrű csatornák sebessége és ezáltal vízzállító képessége számos tényező függvénye. Mind a tervezés szakaszában, mind a már működő csatornák vízzállító képességének meghatározásakor nagy jelentőségű a *sebességi tényező* értéke. A sebességi tényezőt befolyásoló fontosabb befolyásoló hatások:

- a mederanyag és hordalék szemcsemérete,
- a keresztszelvény alakja és szabálytalanságai,
- a vízmozgás rendezettsége,
- a rézsűhajlás,
- a sebesség,
- a vízínövényzet alakja, sűrűsége, nagysága.

A fenti hatásokat figyelembe vevő, a mederfal menti és a víztesten belüli súrlódásokat kifejező sebességi tényező meghatározására számos kísérlet történt, melyek nyílt medrekre vonatkozóan a gyakorlatban legelterjedtebb *Strickler-Manning-féle* módszert mutatjuk be.

$$c = \frac{1}{n_M} * R^{\frac{1}{6}} = k_M * R^{\frac{1}{6}}$$

ahol n_M – az *érdességi tényező*, illetve reciproka k_M – a *simasági tényező*.

3.5.3. A parti vegetáció hatása a sebességi tényezőre

Nyílt medrek permanens egyenletes mozgásállapot feltételezésével történő vizsgálatának gyakorlatában a meder simasági tényező értékét az MI-10 291/2 ágazati szabványban leírt módokon, döntően a *meder méret* és *meder állapot* (feliszapolódás, benőttség) figyelembe vételével határozzuk meg. Nem idézve a szabvány szövegét, utalunk az EJF Műszaki Karán végzett ez irányú vizsgálat eredményeire, mely szerint a Műszaki Irányelv tervezésre alkalmas, ugyanakkor megállapítható, hogy a medrek tervezéskori, a fenntartási kotrások után figyelembe vett ($k' = 30 - 40$) simaságaihoz képest éppen a rendszeres fenntartás elmaradása miatt az „üzemi” *simaság* ($k' = 15 - 25$) jelentősen alacsonyabb értékű. Az eltérés vízfolyásonként és mederszakaszonként is változó. Javasolható a vizsgálni kívánt mederszakasz vegetációjának és állapotának alapos mérlegelése után, az ún. „*átlagos állapot*” fogalmának átértékelésével, a simasági (érdességi) értékeket úgy megállapítani, hogy a medreket simaság szempontból alacsonyabb kategóriába sorolják: a 3–6. táblázat a. és b. pontjaiból az e. pontba (Gondozatlan csatornák, parti vegetáció kategória).

3–6. táblázat. Mederérdességek és simaságok értékei

A vízfolyás, illetve csatorna jellege, anyaga		n_M (érdesség) értékei	k_M (simaság) értékei
		min. – átl. – max.	min. – átl. – max.
Ásott vagy kotort csatornák			
a. Föld, egyenes és prizmatikus			
1	Tiszta, újonnan ásott	0.016-0.018-0.020	50-56-63
2	Tiszta, erodált	0.018-0.022-0.025	40-45-56
3	Kavics, tiszta, prizmatikus	0.022-0.025-0.030	33-40-45
4	Alacsony fűvel, gyér parti vegetáció	0.022-0.027-0.033	30-37-45
b. Föld, kanyargós és lerakódásos			
1	Vegetáció nélkül	0.023-0.025-0.030	33-40-43
2	Fű, kevés parti vegetáció	0.025-0.030-0.033	30-33-40
3	Sűrű parti vegetáció	0.030-0.035-0.040	25-29-33
4	Föld fenék, terméskő oldalak	0.028-0.030-0.035	29-33-36
5	Köves fenék és gyomos oldalak	0.025-0.035-0.040	25-29-40
6	Durva kavics fenék és tiszta oldalak	0.030-0.040-0.050	20-25-33
c. Vonóköteles kotróval ásott vagy kotort csatornák			
1	Vegetáció nélkül	0.025-0.028-0.033	30-36-40
2	Ritka bokor az oldalakon	0.035-0.050-0.060	17-20-29
d. Szikla szelvény			
1	Sima és prizmatikus	0.025-0.035-4.000	25-29-40
2	Egyenetlen és szabálytalan	0.035-0.040-0.050	20-25-29

e. Gondozatlan csatornák, parti vegetáció			
1	Sűrű parti vegetáció, a vízmélységgel azonos magasságú	0.050-0.080-0.120	8-13-20
2	Tiszta fenék, bokor az oldalon	0.040-0.050-0.080	13-20-25
3	Sűrű bokor, nagy vízmélység	0.080-0.100-0.140	7-10-13

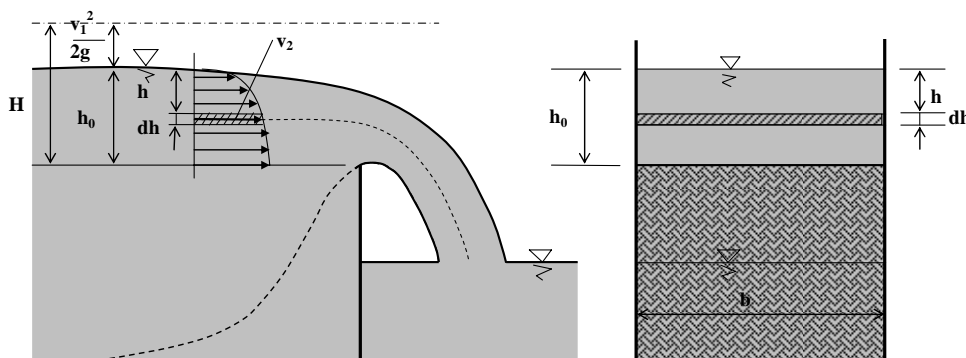
A simaság, mint keresztiszelvény jellemző sajátos tulajdonsága, hogy összetett medrek esetén a kis-és közepvízi tartományban a vízszint emelkedésével értéke növekszik, majd a partok elérése után a padkák és hullámterek dús vegetációjának hatására a szelvény egészére vonatkoztatott értéke jelentősen csökkenhet.

3.6. MŰTÁRGY HIDRAULIKA

3.6.1. Szabad átbukás számítása

A hirtelen változó állapot értelmezése, hogy rövid szakaszon jelentős eltérést eredményez a vízmozgás hidraulikai jellemzőiben és többnyire műtárgyak környezetében fordul elő. A vízgazdálkodási gyakorlat fő műtárgycsoportjai közül itt a bukókkal foglalkozunk.

A bukó a vízfolyás medrében elhelyezett akadály, amely mögött többnyire vízszint emelkedés következik be, majd az átbukás után jelentősen alacsonyabb szintre kerül a víztest. Szabad átbukásként értelmezett esetben a bukóélt elhagyó víztest rövid szakaszon szabad folyadéksugárként halad. Ezt a bukóélnél alacsonyabban elhelyezkedő alvízi vízszint teszi lehetővé (3–15. ábra).



3–15. ábra. A szabad átbukás jellemzőinek értelmezése

Az átbukó vízhozamot a bukó geometriai jellemzői és az átbukás körülményei határozzák meg. Szabad átbukásra és a 3–18. ábrán bemutatott bukótípusra érvényes az átbukó vízhozam számításának

$$Q = \frac{2}{3} * \mu * \sqrt{2g} * b * h^{3/2} \quad \text{gyakran alkalmazott összefüggése.}$$

A gyakorlatban az éles szélű bukók számítása során, a képletben a $\frac{2}{3} \mu$ helyét az m_0 vízhozam tényező vette át, amely döntően a bukó geometriai kialakításától és az átbukás körülményeitől függ.

3.6.2. Mérőbukók

A bukók egy sajátos alkalmazási területe a vízhozam mérésre való felhasználás. A szabad átbukás során ugyanis, amikor az alvízszint nem éri el a bukóélt legalacsonyabb pontját, az al- és felvíz energetikai szempontból elválik, az alvíz helyzete nem hat vissza az átbukás körülményeire. A vízhozamot befolyásoló valamennyi jellemző a felvízszintből meghatározható, a folyamatos vízhozam idősor előállításához elegendő tehát az egyszerű és elterjedt felvízszint mérés (regisztráció). Ez a tulajdonság ve-

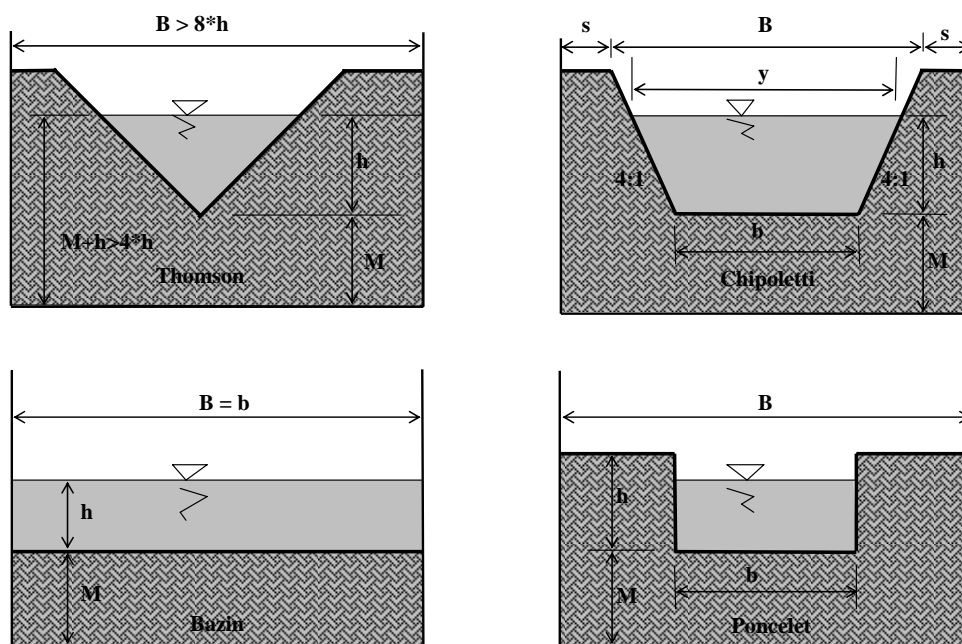
zetett a mérőbukók kialakulásához. A 3–16. ábrán bemutatott mérőbukó típusok elsősorban változó mérési tartomány szerint fejlődtek ki, megbízható gyakorlati alkalmazásuk ugyanakkor rendszeres felügyeletet és karbantartást igényel.

A kétségtelen mederszűkítés miatt a bukók ugyanis hajlamosak a feliszapolódásra, az uszadék megakadására. Ezzel a bukó és környezete geometriai viszonyai megváltozhatnak, ami a hitelesítéssel pontosított vízhozam tényező megváltozását is eredményezheti.

Thomson bukó

A bukó típusok közül talán a legközismertebb az ún. *derékszögű háromszög szelvényű bukó*, elsősorban kisebb vízhozamok pontos mérésére. Vízhozam összefüggése

$Q = c * h^{5/2}$, ahol a c – vízhozamtényező a h – átbukási magassággal kismértékben változik (3–7. táblázat).



3–16. ábra. Mérőbukó típusok

3–7. táblázat. A Thomson bukó vízhozamtényezője az átbukási magasság függvényében

h (m)	0,05	0,75	0,1	0,175	0,25
c (m ^{1/2} /s)	1,427	1,408	1,398	1,382	1,375

Jó közelítéssel használható a $Q = 1,4 * h^{5/2}$ vízhozam tényező és összefüggés.

A további bukótípusok alakváltozatossága szélesebb vízhozam tartományokra is kiterjeszti alkalmazhatóságukat. Vízhozamuk meghatározására az általános bukóképlet használható:

$$Q = m_0 * b * \sqrt{2g} * h^{3/2} \quad \text{ahol } m_0 \text{ – a vízhozam tényező}$$

Az m_0 vízhozam tényezőt (összevont bukótényezőt) típusonként eltérően, az oldal-, és a függőleges kontrakciók hatását is figyelembe vevő módon lehet meghatározni.

A gyakorlatban a vízhozammérő műtárgyba beépített bukó m_0 vízhozam tényezőjét a vízjárás tartomány több pontján elvégzett vízhozammérésekkel határozzák meg. Ez a *mérőműtárgy hitelesítési folyamata*. A mérőbukók hordozható változatai az alkalmazásukhoz szükséges körülmények (szűk vagy leszűkíthető földmeder, elegendő lejtés a bukó mögötti tér gyors feltöltődéséhez, 0 – 20 l/s közötti vízhozam) megléte esetén a vízhozammérés egyszerű, gyors és megbízható eszközeként használhatók.

3.7. SZIVÁRGÁSHIDRAULIKA

A felszín alatti vizek előfordulásának és mozgásformáinak számos esete közül a talajvízzel és rétegvízzel foglalkozunk, az árvíz- és belvízvédekezési gyakorlat igénye szerint kiemelve egyes módszereket és eljárásokat. A szivárgó mozgással kapcsolatos feladatok megoldásának jelentősége a víz szállítását földcsatornák vízvesztésének meghatározásában, a gáttesten átszivárgó vízhozam számításában, a vízbeszerző létesítmények, kutak, kútcsoportok, galériák vízáadó képességének megállapításában fogalmazható meg.

A viszkózus folyadék szemcsés talajokban lezajló potenciális áramlása, a *szivárgó vízmozgás* felsemelt gyakorlati feladatainak megoldására a *Darcy-törvény* alkalmas. A talajvíztér jellemzői:

- kétfázisú áramlási tér,
- a mozgást meghatározó erők: a gravitáció és a sűrűlódás,
- homogén szivárgási tér, szemcsés üledék,
- izotróp tulajdonságok.

A vízmozgást befolyásoló erők

Aktív erőként a gravitáció említendő, mely jellemző *tömegerő* (az anyag tömegegységére hat)

$$G = m * g = V * \rho * g$$

ahol V – a térfogat és ρ – a sűrűség.

A *passzív erő a tehetetlenségi erő*, a gravitációhoz hasonlóan *tömegerő*, tehát a tömegnek és egy gyorsulásnak/lassulásnak a szorzata, és ellentétes értelmű a kiváltó sebességváltozással.

$$T = -m * a = -m \frac{dv}{dt}$$

A *belső sűrűlódás* a viszkózus folyadék áramlásakor fellépő fékező *felületi erő*, amely az egymás mellett haladó vízrések relatív elmozdulását gátolja. Iránya az áramlás irányával megegyező, értelme azzal ellentétes, értelmezésével és értékének meghatározásával a 4.2.1. fejezet foglalkozik. A *valóságos folyadék molekulák dipólusok*, a molekulában a pozitív és negatív töltések aszimmetriája miatt két pólus keletkezik. A molekulák ennek megfelelően rendeződnek, egymásra elektrosztatikus vonzást gyakorolnak és az egymáshoz viszonyított elmozdulást igyekeznek gátolni (*Newton-féle folyadék*).

A *kapilláris erő* a folyadék molekuláris szerkezetéből következő felületi feszültséggel összefüggésben a talajt alkotó szemcsék közötti hézagokban, járatokban jelenik meg. (lásd a 4.1.3. fejezetet).

Mivel a folyadékot határoló fal – esetünkben a talajszemcséket alkotó molekulák – is elektrosztatikus tulajdonságokat mutatnak, a közeli vízmolekulákkal alkotott kölcsönhatásuk egyfajta többlet sűrűlódást, tapadást eredményez, amely a távolsággal fordítottan arányos.

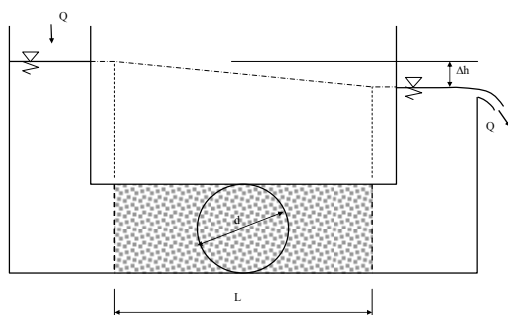
3.7.1. A Darcy-törvény

Darcy tapasztalati úton jutott el a hidraulikának egyik legáltalánosabban ismert és leggyakrabban alkalmazott összefüggéséhez, melyet *homokszűrők* mért szivárgási ellenállás értékeiből alkotott és publikált 1856-ban. Lényege, hogy a *szivárgási sebesség* – a vízhozamnak és a teljes keresztmetszeti felületnek a hányadosa – és az *esés*, azaz a mozgást létrehozó vízszint különbségnek és a szivárgási úthossznak a hányadosa között *egyenes arányosság* áll fenn.

$$v = \frac{Q}{A} = k * I, \quad \text{ahol } A = \frac{d^2 \pi}{4} \text{ és } I = \frac{\Delta h}{L}$$

A k arányossági tényező, az ún. *áteresztőképességi együttható* vagy *szivárgási tényező*, Darcy vizsgálata (3–17. ábra) szerint független a sebességtől és az eséstől, az áramlási tér (szemszerkezet) és a folyadéktulajdonságok által meghatározott. A *tényleges sebesség*:

$$v_{eff} = \frac{Q}{A * n}, \quad v_{eff} = \frac{v}{n}$$



3–17. ábra. A Darcy-féle kísérlet elvi vázlata

A Darcy-törvény alkalmazhatósága jól lehatárolható, jellemzője, hogy a mozgást akadályozó erők mindegyike elhanyagolható a súrlódáshoz viszonyítva. Ez elsősorban a felületi erők és a kapillaris tartomány kizárását jelenti és sebességi, valamint szemcseméret értelemben alsó határnak tekinthető. Felső sebesség- és szemcseméret-határként a turbulencia megjelenése értelmezhető, ahol a veszteség-sebesség kapcsolat már eltér a lineáristól. A gyakorlatban megoldandó szivárgási feladatok többsége ebbe a lamináris szivárgási típusba sorolható.

Érvényességi határok:

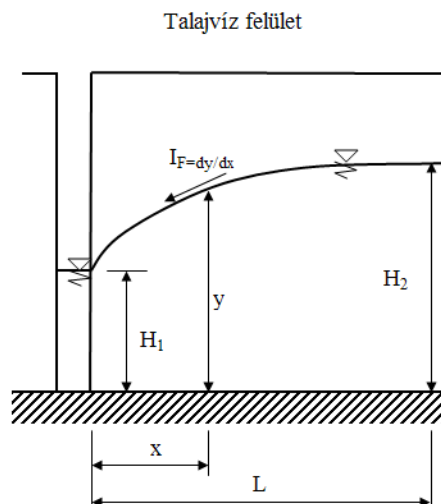
Alsó határ: a felületi hatások dominánsá válása ($d \cong 0,5 \mu$)

Felső határ: a turbulencia jelentkezése $Re \leq 1 - 5$, $Re = \frac{v * d_{10\%}}{\nu}$

A Darcy-féle kísérletben permanens állapot állt elő, az eredmények mégis jól használhatóak a jellemzően nem permanens szivárgási jelenségek leírására, tekintettel a lassú állapotváltozásokból következően a mozgásegyenletben kis értékű tehetetlenségi tagra.

3.7.2. Kétdimenziós áramlás (szivárgás) jellemzése, függőleges falakkal határolt földtest szivárgási vizsgálata

Ilyen feladatnak tekinthető pl. a talajvíztér megcsapolása galériával. A Dupuit-féle feltételezés: a sebesség egy függőleges mentén azonos értékű, az áramvonalak egymással párhuzamosak, a be- és kilépési felületek az áramvonalra merőlegesek (3–18. ábra).



3–18. ábra. A kétfázisú áramlás értelmezése

Talajvíztér vizsgálata:

A fajlagos vízhozam:

$$q = F * v = y * k * I_F = y * k * \frac{dy}{dx}$$

Az integrálást elvégezve $x = 0$ és $y = H_1$ esetén, a vízfelszín egyenlete:

$$y = \sqrt{H_1^2 + 2 * \frac{q}{k} * x}$$

Behelyettesítve $x = L$ és $y = H_2$ értékeket:

$$q = k * \frac{H_2^2 - H_1^2}{2 * L}$$

3.7.3. Teljes talajvízkút vízadó képessége

Vízellátási célú, tartós vízkitermelésre létesített, az első vízzáró rétegen álló és a nyugalmi talajvízszintig szűrőzött kútból kitermelhető hozam meghatározása során alkalmazzák a már említett Dupuit-féle közelítéseket.

A 3–19. ábrán bemutatott módon létesített kútban a megépítés után kialakul a nyugalmi talajvízszint (H), amely a tartós vízkitermelés hatására a leszívással (s) csökken és h értéken stabilizálódik.

A kút körüli, homogén k szivárgási tényezőjű talajtérben minden irányból (körszimmetrikusan) megindul a kút felé áramlás. Permanens állapotban a Dupuit-féle feltételezés szerint a kúttól x távolságban elhelyezkedő $A=2 \cdot x \cdot \pi \cdot y$ felületű hengerpalást minden pontján azonos $k \cdot dy/dx$ sebesség alakul ki:

$$v = k \cdot l = k \cdot \frac{dy}{dx} \quad \text{és} \quad Q = A \cdot v.$$

Behelyettesítve a fenti megállapításokat

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot k \cdot x \cdot y \cdot \frac{dy}{dx}$$

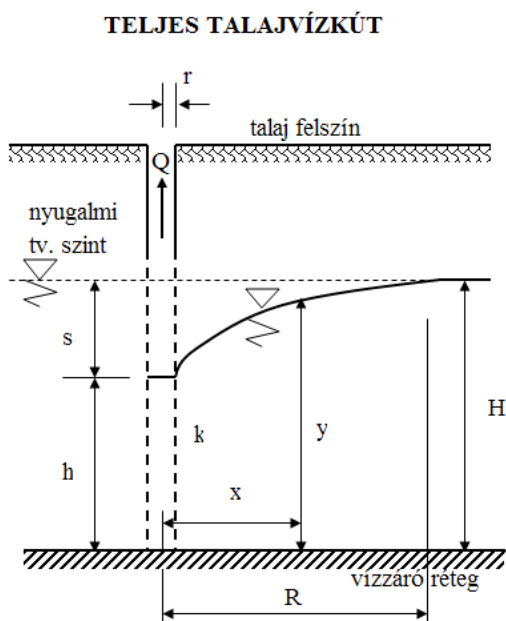
a változók szétválasztása és integrálás után

$$Q \cdot \frac{dx}{x} = 2 \cdot \pi \cdot k \cdot y \cdot dy \quad \text{és}$$

$$Q \cdot \ln(x) = \pi \cdot k \cdot y^2 + C$$

alakot kapjuk, amelyből a vízhozam kifejezhető:

$$Q = \frac{\pi \cdot k \cdot y^2 + C}{\ln(x)}$$



3–19. ábra. Talajvízkutak jelöléseinek értelmezése

A vízhozam számításához az integrálási állandó és az (x,y) értékpár ismeretére van szükség. A 3–19. ábrán a leszívási tölcser metszetének két ismert pontja. Közvetlenül a kút mellett $x=r$ helyen $y=h$, továbbá ahol a leszívás belesimul a nyugalmi talajvízszintbe $x=R$ helyen $y=H$. Felhasználva ezeket az értékeket az

$$Q = \frac{\pi \cdot k \cdot (H^2 - h^2)}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)}$$

egyenletet kapjuk, ami *Dupuit-féle levezetés*. A Dupuit-egyenlet a gyakorlatban csak a vízhozam számítására használható, mivel a kút vízfelszín és a hozzászivárgás felszíngörbéje nem csatlakozhat közvetlenül egymáshoz. A felszíngörbe a kútvízszint felett metsz ki, bekövetkezik az ún. *vízszint-elszakadás jelensége*, szabad kiszivárgási felület is létrejön. Ebből következően a leszívási tölcser metszet (depressziós görbe) meghatározásában is hiba keletkezik. A kiszivárgási felület magasságának meghatározására többen adtak javaslatot, melyek ismertetése e jegyzetnek nem feladata. A Dupuit-féle összefüggés a *tartósan kitémelhető vízhozam* meghatározására alkalmas.

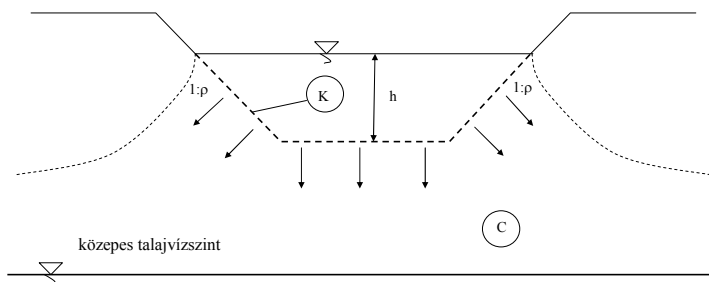
3.7.4. Földmedrű csatornák szivárgási vesztesége

Földmedrű csatornák a vízáteresztő talajtesten keresztül kapcsolatban vannak a környező talajvizekkel. A kialakuló ex- és infiltráció mind a szállított vízkészlet vesztesége, mind a vízhozam-terhelés növekedése miatt jelentős kérdés. Az alábbiakban az MI-10 165/1: 1989 műszaki irányelv alapján bemutatjuk az *exfiltráció* számítását.

A *szivárgási veszteség* időben változó folyamat, jellemzően a csatorna új állapotától kezdődően a *kolmatáció* hatására csökken, majd néhány év után állandósul. Az alábbi eljárás ezt a lecsökkent értéket adja meg, a 3–20. ábrán bemutatott jelölések szerinti értelmezésben.

$Q_{sz} = \frac{C \cdot \sqrt{h \cdot K \cdot L}}{1000}$	Q_{sz} – szivárgási veszteség, m^3/s h – vízmélység, m K – nedvesített kerület, m L – csatorna szakasz hossza, km C – arányossági tényező
--	---

Amennyiben a csatorna szelvényében többfajta talajtípus is van, a C értéket súlyozott középértékként kell számítani. Ha a csatorna szelvényének egy része a talajvízszint alá kerül, az összefüggés alkalmazásánál csak a közepes talajvízszint feletti szelvényterület adataival kell számolni. A C arányossági tényező értéke talaj minőség, szemszerkezet függő a 3–8. táblázat szerint:



3–20. ábra. Földmedrű csatornák vízvesztése

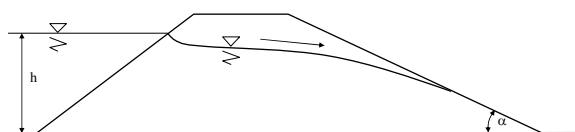
3–8. táblázat. A C arányossági tényező értéke

(Mederméretetek: $h = 2$ m, $b = 3$ m, $\rho = 2$. A C középértéken számolva.)

Talajtípus	C	Számított vízvesztés (l/s km)
Szikes talaj	Nincs meghatározva	
Vízzáró agyag	0,70 – 0,95	15
Félig vízzáró agyag	0,95 – 1,40	20
Agyagos iszap, öntésiszap	1,40 – 2,05	29
Középkötött homokos iszap	2,05 – 2,75	41
Homokos iszap	2,75 – 4,15	50

3.7.5. Rézsús gáttestben kialakuló szivárgás vizsgálata

A vízzáró alaprétgen elhelyezkedő homogén gáttestben kialakuló a szivárgási felszíngörbe alakja, helyzete a töltéstest átnedvesedése és ebből következően gyengülő állékonysága miatt az árvízvédekezési gyakorlat fontos és nehezen megválaszolható kérdése. Az összetett számítási-szerkesztési módszer helyett itt egy jellegzetes felszíngörbe alakot mutatunk be (3–21. ábra).



3–21. ábra. Gáttestben kialakuló szivárgás felszíngörbéjének jellegzetes alakja