

Benke László

Hidraulika alapjai

NSZFI
NEMZETI SZAKKÉPZÉSI
ÉS FELNŐTKÉPZÉSI INTÉZET

A követelménymodul megnevezése:

Általános környezetvédelmi feladatok

A követelménymodul száma: 1214-06 A tartalomlelem azonosító száma és célcsoportja: SzT-039-50

HIDROSZTATIKA

ESETFELVETÉS – MUNKAHELYZET

A hidraulikán belül a hidrosztatika foglalkozik a nyugvó folyadék törvényszerűségeivel. A következőkben megismerkedünk a hidrosztatika jellemzőivel: a különböző felületekre ható nyomással és az úszás törvényszerűségeivel.

SZAKMAI INFORMÁCIÓTARTALOM

Hidraulikai alapismeretek

A hidraulika görög eredetű szó, amelyen a magyar mérnöki szóhasználatban az alkalmazott mechanika egy olyan ágát értjük, amely a folyadékok nyugalmi és mozgási állapotainak tanulmányozásával foglalkozik. A hidraulika a legrégebbi tudományok közé tartozik, hiszen kifejlődése az ember és a természet egyik alapelemének, a víznek a kapcsolatához köthető. Az ember akkor is „kutatta”, amikor védekezett, küzdött ellene, és akkor is, amikor szolgálatába állítani törekedett. E „kutató” első „tudományos eredményének” Archimedes Kr.e. 250-ből származó munkáját tekintjük az úszó testekről. Azóta, egészen napjainkig, tudósok egész sorának, (csak néhány nevet kiemelve: Leonardo da Vinci, Galilei, Daniel Bernoulli, Leonhard Euler, Antoine Chézy, Kármán Tódor stb.) köszönhetően új és új eredmények születtek e területen. Ma is vannak azonban olyan kérdések, amelyeknek megválaszolása hosszas kísérletezést, tapasztalati ismeretszerzést igényel.

1. A folyadék nyomása

Az egyensúlyban (nyugalomban) lévő folyadék bármely vele érintkező síkfelületre merőleges erőt gyakorol. A felületegységre ható erőt nyomásnak (p) nevezzük, mértékegysége:

$$\text{N/m}^2 = \text{Pa},$$

Pascal tétele szerint, nyugalomban lévő folyadék bármely pontjában a nyomás, bármely irányban azonos. A folyadék különböző pontjaiban azonban a nyomás különböző lehet.

$$p = p_0 + \rho \cdot h \quad ;$$

ahol:

- p [Pa] az abszolút nyomás az adott pontban, jelölése sokszor p_{abs} ,
- p_0 [Pa] a folyadék szabad felszínén uralkodó légköri nyomás (normál értéke a tengerszinten $1013 \text{ mbar} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$;
- ρ [kg/m^3] a folyadék sűrűsége;
- h [m] az adott pont mélysége a vízfelszín alatt.

A hidrosztatika alaptételét Euler állapította meg. Ha a folyadékra csak a nehézségi erő hat, a folyadék bármely pontján a felszíntől mért távolsággal arányos nyomás alakul ki. Az arányossági tényező a víz sűrűségének és a nehézségi gyorsulásnak a szorzata. A nyomóerő iránya mindig merőleges a nyomott felületre.

$$p = \rho \cdot g \cdot h \text{ [Pa = N/m}^2\text{]}$$

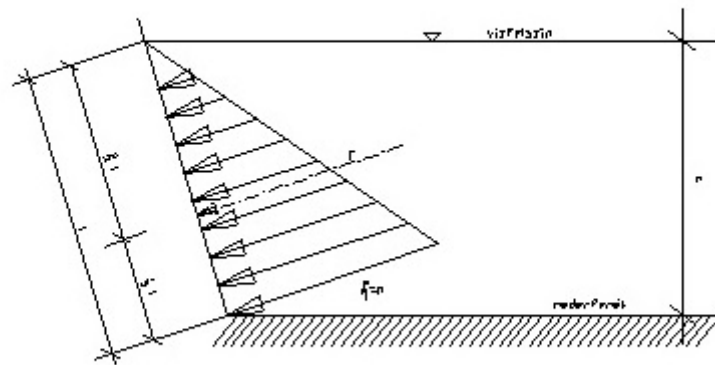
Ennek szemléltetésére elég, ha megemlítjük a bűvárok öltözékének merevségét attól függően, hogy milyen mélységig kívánnak lemerülni. Az igen mély merülésekhez a gumiruha nem elegendő, merev ruha szükséges a nyomás felvételére, esetleg még belső túlnyomással is védekezhetnek.

Így tehát a nyomásmagasságokra egy hosszúság dimenziójú, méter mértékegységű tagokból álló egyenletet kapunk. A p_0 légköri nyomást, illetve az ennek megfelelő nyomásmagasságot általában nem vesszük számításba, hiszen – mivel a szerkezetre minden irányból hat – a szerkezet egyensúlyának számításakor is kiesik.

2. A víznyomás számítása és ábrázolása

Ha egy nyugalomban levő folyadéktér valamely határoló sík felületének minden egyes pontjában – a felületre merőlegesen – felrakjuk az adott pont folyadékfelszín mélységét, akkor a nyomáseloszlással arányos, nyomásmagasság ábrát szerkesztettünk (1. ábra). Az ábrán a nyomás (pontosabban a nyomásból származó elemi nyomóerők) irányát nyíllal jelöljük.

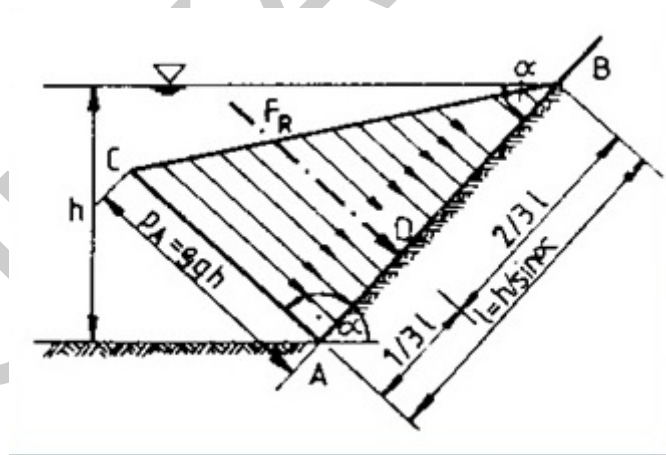
A nyomásmagasság-ábra segítségével meghatározható az érintett felületre ható nyomóerő is. Ha a nyomásmagasság-ábrát kiterjesztjük a térbe (három dimenzióba), akkor az így keletkező terhelési test térfogatát a folyadék sűrűségével megszorozzuk; megkapjuk az eredőerő nagyságát.



1. ábra. Nyomásmagasság

A nyomáseloszlásból származó eredőerő meghatározható – a nyomáseloszlás felület menti integrálásával– a felület nagyságának, melyre a nyomás hat (A), felület súlypontja vízfelszín alatti mélységének (h) és a folyadék sűrűségének szorzataként is:

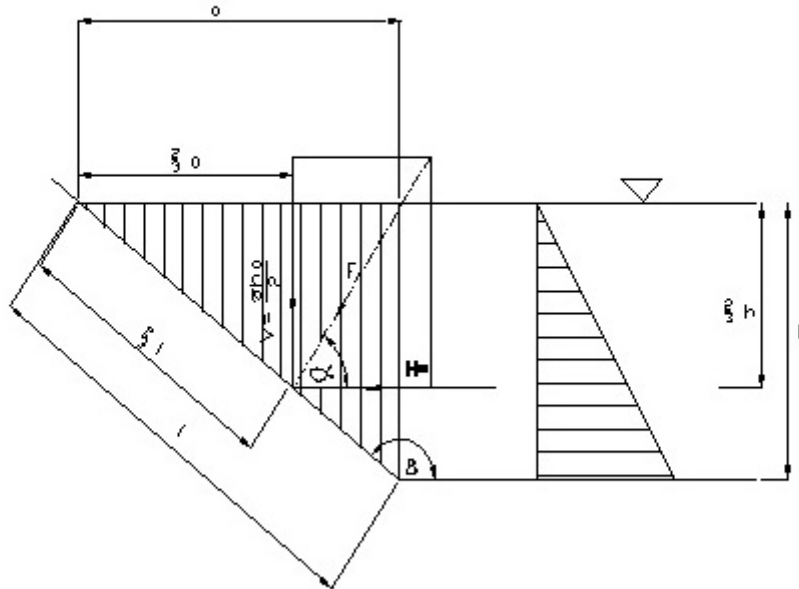
$$F = A \cdot h \cdot \rho \cdot g \text{ [N]} \quad .$$



2. ábra. A nyomáseloszlásból származó eredőerő meghatározása

Az eredőerő nagyságának kiszámításán kívül az egyértelmű megadáshoz támadásvonalát is meg kell határozni. Az erő támadáspontja a vizsgált felületen nem annak súlypontjában van, hanem a nyomásmagasság–test súlypontján megy keresztül.

Egyszerű példánkban, az ábrán láthatóan, tehát nem az S, hanem T pontban van az erő támadáspontja, amely a jelenlegi nyomásmagasság–test súlypontjával (függőleges felületről, és így vízszintes nyomásról lévén szó) azonos magasságban, tehát a h mélység vízfelszínétől mért $2/3$ -ában és a szélesség felében van.



3. ábra. Vízszintes és függőleges nyomásmagasság-ábrák

A nyomásmagasság-ábra és a nyomóerő felbontható vízszintes és függőleges komponensekre. A vízszintes nyomásmagasság-ábrát a felület függőleges vetületére szerkesztjük. A függőleges ábra a felület és a vízfelszín – vagy annak meghosszabbítása – közötti területet jelenti. A függőleges nyomásmagasság-ábrát a latin eredetű „vertikális” szó nyomán V -vel, a belőle származó eredőert V -vel, míg a vízszintes ábrát a görög–latin eredetű „horizontális” szó nyomán H -val, a belőle származó eredőt H -val jelöljük, míg a korábban ismertetett, ún. eredőábrákat a szintén latin eredetű „rezultáns” szó nyomán R -el jelöljük.

3. Sík felületre ható víznyomás

A nyugvó folyadékba helyezett vízszintes sík felület minden pontjára azonos nagyságú nyomás hat, mert a sík minden pontjának távolsága azonos a vízfelszíntől. A nyomás iránya merőleges a nyomott felületre.

Függőleges síkra változó nyomás hat, mert a víz mélysége a függőleges sík mentén változó, ha azon függőleges irányba haladunk.

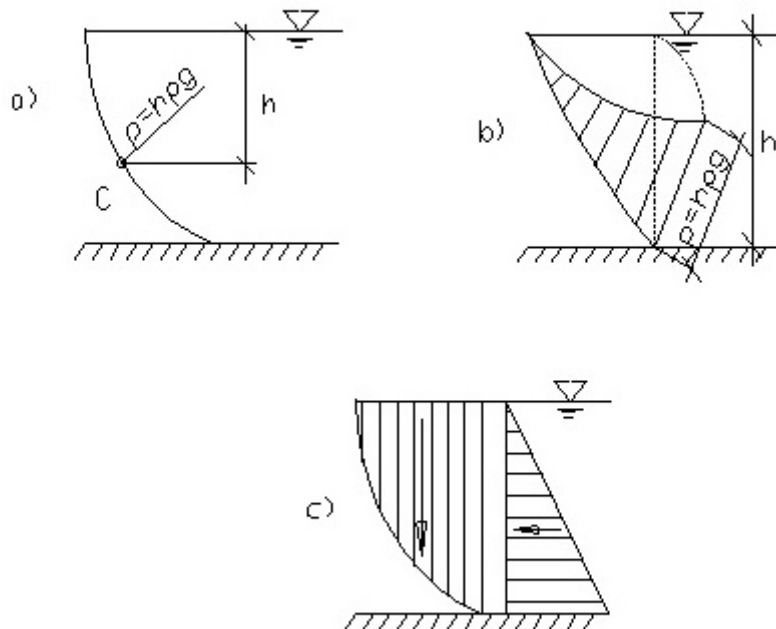
Ferde sík felületre ható víznyomás szintén változó a mélység változásával, a nyomás iránya azonban a vizsgált felületre merőleges.

Ha a sík felületre ható víznyomás nagyságát a szélső pontokban kiszámítjuk és a felületre merőlegesen nyomásléptékben felmérjük, a szélső értékeket összekötő vonal a víznyomás pontonkénti változását ábrázolja. Ilyen módon minden sík felületre szerkeszthetünk víznyomás ábrát.

4. Görbe felületre ható víznyomás:

Görbe felületre ható víznyomásra is érvényesek az előzőekben ismertetett törvényszerűségek, a felület minden pontjában a felület érintőjére merőleges víznyomás hat, ezért a víznyomás ábra az 5. ábra szerint alakul. Görbe felületek esetén az eredő, vagyis a felületre merőlegesen rajzolt ábrák torzításokat okoznak, így nem alkalmasak nyomásból származó erők, de még a nyomáseloszlások ábrázolására sem.

Példaként vizsgáljuk azt a nyilvánvaló esetet, amikor egy vékony, merev, görbe felületre mindkét oldalról azonos víznyomás hat, hiszen mindkét oldalán azonos a vízszint. Ha az eredő ábra szerkesztési elveinek megfelelően minden egyes pontban merőlegesen felmérjük a vízfelszín alatti mélységet, akkor a két, ellentétes irányú, görbe vonalak által határolt ábrát kapjuk, amelyeknek – akár részben, akár egészében nézve – a területe egymástól lényegesen eltér, tehát az eredőerő meghatározására, a torzítás miatt nem alkalmazható.



4. ábra. Görbe felületre rajzolt nyomásmagasság-ábra

Görbe felületek esetén kizárólag a vízszintes és függőleges nyomásmagasság-ábrát használjuk és belőlük az eredőt a már ismertetett módon, a képlet alapján határozzuk meg.

5. Úszás, felhajtóerő

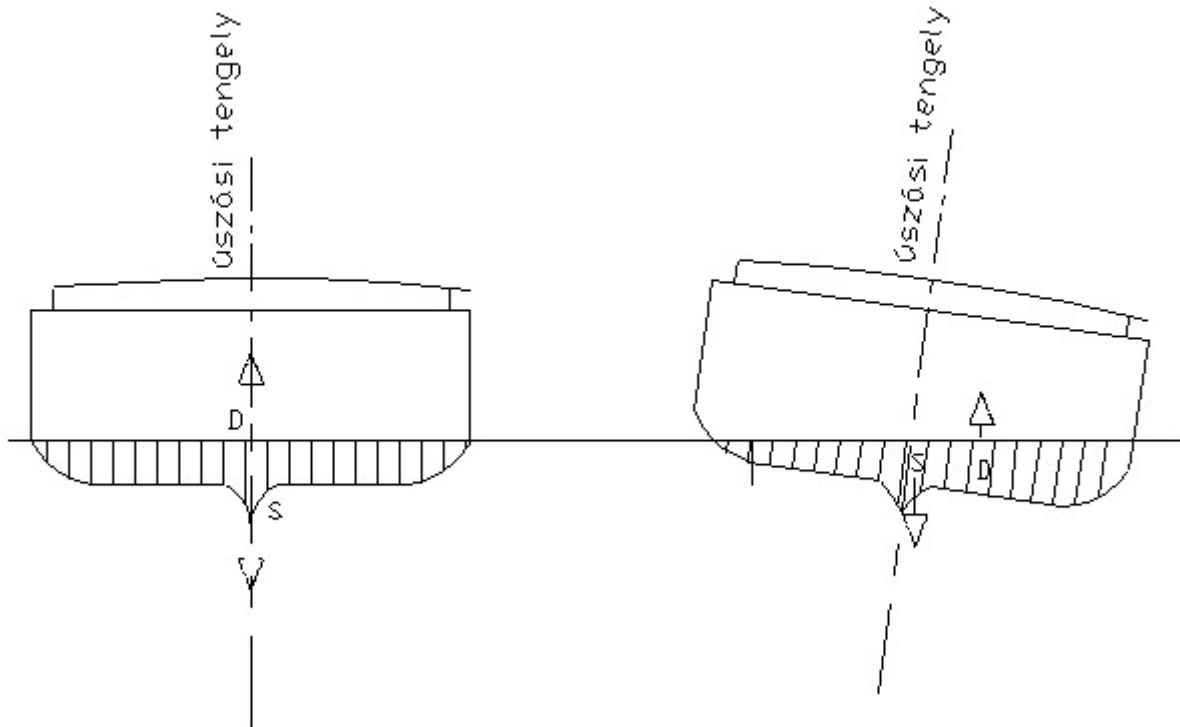
A folyadékba merülő, más szóval úszó testekre oldalirányból ható nyomás, illetve erők eredője zérus. Egyensúlyban levő testre függőlegesen ható erők a súlyerő és a felhajtóerő. Ez utóbbi Archimedes tétele szerint a test által kiszorított (a test folyadékszint alá merülő térfogatával megegyező térfogatú) folyadék súlyával egyenlő. A vízbe merülő test egyensúlyi helyzete tehát a folyadékfelszínhez képest a súlyerő a felhajtóerő viszonyától függ, más szóval a test átlagsűrűségének (ρ_{test}) és a folyadék sűrűségének ($\rho_{\text{folyadék}}$) viszonyától.

- Ha $\rho_{\text{test}} < \rho_{\text{folyadék}}$, a test a felszínen úszik, olyan mértékig merülve a folyadékfelszín alá, hogy a G súlyerő és az F felhajtóerő egyenlő legyen, $F = G$.
- Ha $\rho_{\text{test}} = \rho_{\text{folyadék}}$, a test teljes térfogatával a folyadékba merülve, bármely mélységben lebegő helyzetben marad, $F = G$.
- Ha $\rho_{\text{test}} > \rho_{\text{folyadék}}$, a test lesüllyed a folyadéktér fenekére, $F < G$.

A felhajtóerő nemcsak tiszta folyadéktérben érvényesül, hanem például – talajvíz jelenlétekor – a talajban is. A talajvízszint alá süllyesztett szerkezetek, létesítmények, például alapozási szerkezetek, tartály vagy zárt fenekű akna létesítésekor, a felhajtóerővel számolni kell. Az előzőekben leírt Archimedes-i tétel alapján számítható.

A vízbe mártott test térfogatával azonos térfogatú vizet szorít ki. A felhajtóerő, amely a víznyomásból ered, egyenlő a kiszorított víz súlyerejével. Ennek népszerű megfogalmazása Archimédész törvénye: minden vízbe mártott test a súlyából annyit vesz, amekkora az általa kiszorított víz súlya.

Az úszó test elhelyezkedése a víz színén stabilis, ha a test nyugalmi állapotából kibillentve és elengedve visszatér eredeti állapotába. Labilis az úszás akkor, ha a kibillentés után a test ugyanabba az irányba továbbfordul. Közömbösnek nevezzük az úszást, ha a nyugalmi állapotból kimozdítva a test a megváltozott helyzetben marad.



5. ábra. A stabilis úszó test

Az úszó test egyensúlyi állapotát a test súlypontjában ható súlyerőnek és a kiszorított víz súlypontjában ható felhajtóerőnek egymáshoz viszonyított helyzet határozza meg. Az úszó test nyugalmi állapotában a két erő egy hatásvonalba esik, amely a test úszótengelye.

- S: a test súlypontja
- D: a kiszorított víztest súlypontja.

Összefoglalásként válasz a felvetett esetre

. A hidrosztatika alaptételét Euler állapította meg. Ha a folyadékra csak a nehézségi erő hat, a folyadék bármely pontján a felszíntől mért távolsággal arányos nyomás alakul ki. Az arányossági tényező a víz sűrűségének és a nehézségi gyorsulásnak a szorzata. A nyomóerő iránya mindig merőleges a nyomott felületre: $p = \rho \cdot g \cdot h$ [Pa = [N/m²]

A folyadékba merülő, úszó testekre oldalirányból ható nyomás, illetve erők eredője zérus. Egyensúlyban levő testre függőlegesen ható erők a súlyerő és a felhajtóerő.

A vízbe mártott test térfogatával azonos térfogatú vizet szorít ki. A felhajtóerő, amely a víznyomásból ered, egyenlő kiszorított súlyerejével. Ennek népszerű megfogalmazása Archimédész törvénye: minden vízbe mártott test a súlyából annyit vesz, amekkora az általa kiszorított víz súlya.

TANULÁSIRÁNYÍTÓ

Gondolkodjon! Mi az oka, hogy nagy sűrűségű anyagból készített hajók úsznak a vízben? Miért építik a vízfolyások töltéseit rézsűsre és nem függőlegesre?

Válasz

A hajók vízbe merült része által kiszorított víztest súlya egyenlő, a hajó súlyával. A vízbe mártott test térfogatával azonos térfogatú vizet szorít ki. A felhajtóerő, amely a víznyomásból ered, egyenlő kiszorított víz súlyerejével.

A fekvő rézsűn ugyanaz a vízoszlop magasság fejt ki hatását, tehát a nyomóerő nagyobb felületen oszlik meg.

ÖNELLENŐRZŐ FELADATOK**1. feladat**

Mi a hidrosztatika alaptörvénye?

2. feladat

Hogyan számítható ki a felületre ható víznyomásból adódó eredő erő?

3. feladat

Melyek az úszás törvényszerűségei?

MEGOLDÁSOK

1. feladat

A hidrosztatika alaptételét Euler állapította meg. Ha a folyadékra csak a nehézségi erő hat, a folyadék bármely pontján a felszíntől mért távolsággal arányos nyomás alakul ki. Az arányossági tényező a víz sűrűségének és a nehézségi gyorsulásnak a szorzata. A nyomóerő iránya mindig merőleges a nyomott felületre.

$$p = \rho \cdot g \cdot h \quad [\text{Pa} = \text{N/m}^2] \text{ ahol:}$$

ρ [kg/m³] a folyadék sűrűsége;

h [m] az adott pont mélysége a vízfelszín alatt.

2. feladat

A nyomásmagasság-ábra segítségével meghatározható az érintett felületre ható nyomóerő. Ha a nyomásmagasság-ábrát kiterjesztjük a térbe (három dimenzióba), akkor az így keletkező terhelési test térfogatát a folyadék sűrűségével megszorozzuk; kapjuk az eredőerő nagyságát. A nyomáseloszlásból származó eredőerő meghatározható – a nyomáseloszlás felület menti integrálásával – a felület nagyságának, melyre a nyomás hat (A), felület súlypontja vízfelszín alatti mélységének (h) és a folyadék sűrűségének (ρ) szorzataként is:

$$F = A \cdot h \cdot \rho \cdot g \quad [\text{N}].$$

3. feladat

A folyadékba merülő, más szóval úszó testekre oldalirányból ható nyomás, illetve erők eredője zérus. Egyensúlyban levő testre függőlegesen ható erők a súlyerő, amely lefelé hat, és a felhajtóerő, amely felfelé irányul. Ez utóbbi Archimedes tétele szerint a test által kiszorított (a test folyadékszint alá merülő térfogatával megegyező térfogatú) folyadék súlyával egyenlő. A vízbe merülő test egyensúlyi helyzete tehát a folyadékfelszínhez képest a súlyerő a felhajtóerő viszonyától függ, más szóval a test átlagsűrűségének (ρ_{test}) és a folyadék sűrűségének ($\rho_{\text{folyadék}}$) viszonyától.

Ha $\rho_{\text{test}} < \rho_{\text{folyadék}}$, a test a felszínen úszik, olyan mértékig merülve a folyadékfelszín alá, hogy a G súlyerő és az F felhajtóerő egyenlő legyen, $F = G$.

Ha $\rho_{\text{test}} = \rho_{\text{folyadék}}$, a test teljes térfogatával a folyadékba merülve, bármely mélységben lebegő helyzetben marad, $F = G$.

Ha $\rho_{\text{test}} > \rho_{\text{folyadék}}$, a test lesüllyed a folyadéktér fenekére, $F < G$.

HIDRODINAMIKA

ESETFELVETÉS – MUNKAHELYZET

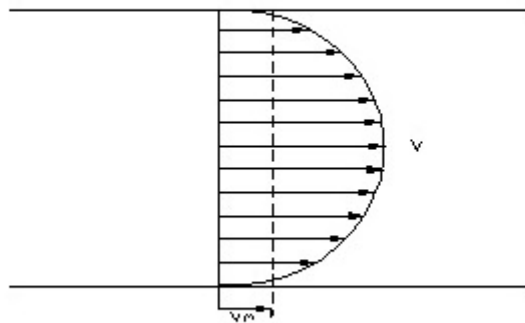
A vízmozgásokat többféle szempontból osztályozzuk. Lamináris vízmozgásról beszélünk, ha a mozgó víz áramvonalai nem keverednek egymással. Ha az áramvonalak keverednek turbulens a vízmozgás. A vízgazdálkodási gyakorlatban általában turbulens vízmozgással foglalkozunk. Megkülönböztetünk még nyomás alatti és szabad felszínű áramlást. Mi jellemzi a zárt vezetékben nyomás alatt áramló folyadékot, hogyan számíthatjuk ki a hosszmenti és a helyi veszteségeket? Milyen tényezők befolyásolják a szabad felszínű áramlást, hogyan számítható ki egy nyílt felszínű mederben áramló víz hozama? Ezekre kapunk választ a következő részben.

SZAKMAI INFORMÁCIÓTARTALOM

1. A folyadékmozgás alapfogalmai

A hidraulikában a mozgási, áramlási jelenségeket a sebességeloszlás figyelmen kívül hagyásával, középsebességgel jellemezzük, amelyet v_k -val jelölünk.

A középsebesség definiálásához egy másik fontos fogalom bevezetése szükséges ez a térfogatáram q_v [m^3/s] vagy folyadékhozam, s mivel az a folyadék, amellyel a legtöbbet foglalkozunk, a víz, ezért a gyakorlatban az általános térfogatárammal szemben a vízhozam kifejezés, Q [m^3/s] a legelterjedtebb. A középsebesség tehát az a teljes szelvényre érvényes sebesség, amellyel helyettesítve a sebességeloszlást egy időegység alatt ugyanazt a Q folyadéktérfogatot, azaz térfogatáramot szállítja, mint a tényleges sebességeloszlás.



6. ábra. Sebességeloszlás, középsebesség

Összenyomhatatlan folyadék stacionárius (időben állandó) áramlása folytonos, ha közben folyadék nem „tűnik el” és nem „keletkezik”, vagyis az egyes szelvényeken azonos vízhozam folyik keresztül. A vízgazdálkodásban ez a folytonossági egyenlet fejezi ki:

$$Q = v_k \cdot A \quad ; \quad \text{ahol:}$$

- v_k [m/s] az egyes szelvénye középsebessége;
- A [m²] az egyes szelvények keresztmetszeti területe.

Az említett stacionárius, időben állandó áramlás, amelynek semmilyen jellemzője (sűrűség, sebesség stb.) nem függ az időtől, csak a helytől, a gyakorlatban meglehetősen ritkán fordul elő. Ha a sebesség időbeli átlaga állandó és csak kismértékben ingadozik, akkor permanens (kvázistacionárius) áramlásról beszélünk, és a leírásnak is ezt a módját követjük.

Reynolds-szám

A permanens áramlások legfontosabb leggyakoribb típusára, a turbulens áramlásra Reynolds adott magyarázatot. A manchesteri egyetemen végzett kísérleteiben – üvegcsőben különböző sebességgel áramoltatott vízbe egy ponton bevezetett festékcsíkkal – kimutatta a lamináris (rétegzett) és a turbulens (keveredő, gomolygó) áramlás határát. Ezt a határt egy dimenzió nélküli számmal – az azóta róla elnevezett Reynolds-számmal fejezte ki:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

ahol:

- v [m/s] az áramlás középsebessége;
- d [m] a cső átmérője;
- ν a folyadék kinematikai viszkozitási tényezője, (m²/s).

Ha $Re < 2000-2400$, az áramlás lamináris, ha nagyobb, az áramlás turbulens. Az áramlások ilyen módon való megkülönböztetése azért fontos, mert hidraulikai leírások (pl. a súrlódási veszteség számítása) különböző.

Ha egy csővezetékben az átlagsebesség a $v = 2400 \nu/d$ határértéknél nagyobb, az áramlás jellege turbulens. Ha a cső hossza mentén d állandónak tekinthető, ez a határsebesség lényegében ν -tól függ. Mivel egy vezeték üzemeire a v átlagsebesség a jellemző, célszerű a Re_{kr} -ből adódó v_{kr} -t ismerni, mert ennek alapján megállapítható, hogy a vezeték üzemében van-e szerepe a lamináris-turbulens átmenetnek.

2. A vízmozgások fajtái és törvényei

A hidrodinamika tárgya a mozgó folyadék vizsgálata. A mozgás fajtája szerint többféle módon osztályozzuk a mozgó vizet:

- Szabad felszínű a vízmozgás a folyókban, patakokban, nyílt és zárt csatornák medrében.
- Határolt vagy nyomás alatti a vízmozgás vízzel telt zárt vezetékben.

E két vízmozgás fajta vizsgálata jelentősen eltér egymástól. A két vízmozgás határállapotban van, amikor a lefolyó víz felszíne éppen megtölti a körszelvényt. A városi csatornát szabad felszínű vízlevezetésre tervezik, de a csatorna túlterhelésekor előfordul, hogy átmenetileg telt szelvénnel, kis nyomás alatt folyik benne a víz. Túlterhelt állapotot jelez, hogy ha a csatorna sűrűn elhelyezett aknáinak egyikének fedlapját kinyitva a víz felszínét az aknában a csatorna felső alkotóvonalára feletti magasságban észleljük. Ilyen csatornában csak kis mértékű nyomás alakulhat ki, mert különben a vízszint az útpályáig emelkedve, elönti az útpályát vagy a környezetet.

A vízmozgások energetikai vizsgálata

A vízmozgások energetikai vizsgálatának alapja: Bernoulli-tétele. A tétel szerint minden mozgás energiája helyzeti, nyomási és mozgási energiából tevődik össze. A helyzeti energia a vízszint geodéziai magasságával, az elhelyezkedéséből származó nyomásviszonyokkal, a mozgási energia pedig a vízfolyás sebességével jellemezhető. A jellemzőket hosszdimenzióban fejezzük ki, amint azt az előző fejezetben ismertettük.

Bernoulli tételét egy keresztzelvényre felírva kapjuk, hogy:

$$z + \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho \cdot g} + C$$

; ami nem más, mint az energia állandóságának tétele hossz-
mértékegységekkel kifejezve. A képletben C jelentése: állandó, (idegen szóval: constans).

A tétel gyakorlati alkalmazása a hidraulikában a következő: nyílt felszínű vízfolyásnál a helyzeti energia jellemzője a víz felszínének geodéziai magassága. Nyomásenergiáról nem beszélhetünk, mert a víz felszínén minden szelvényben a légnyomás hat. A víz felszínével jellemzett helyzeti energia értékéhez tehát fel kell rakni a szelvény középsebességéből számított sebességmagasságot. A különböző szelvényekben a víz esésvonalára felrakott sebességmagasságokat összekötő vonalat nevezzük energiavonalnak. Állóvizekben az energiavonal megegyezik a víz színével, mert a nyomómagasság és a sebességmagasság = 0.

Állandó, egyenletes sebességű vízmozgásnál az energiavonal párhuzamos a vízszin esésvonalával, mert az esésvonal jellemzi a geodéziai magasságot, a sebességmagasság pedig a hossz-szelvényben változatlan. Ezen a szakaszon az energiavonal esésmagasságával jellemzett energiamennyiség a víz folyása következtében jelentkező mederellenállás leküzdésére fordított munka végzéséhez szükséges.

A nyomás alatti vízmozgás

A nyomás alatt mozgó víz vezetéke aknamentes, nyomócső. Ha nyomás alatt álló nyomócsőbe függőleges átlátszó falú csöveket helyezünk, abban a vízszint felszökik. A vízszint magassága a nyomócső tengelye felett arányos a csőben uralkodó nyomással. Az arányossági tényező: $\rho \cdot g$, vagyis a víz sűrűségének és a nehézségi gyorsulásnak a szorzata.

A Bernoulli-egyenlet alkalmazása

Mindkét ismertett vízmozgásra érvényes Bernoulli-energia egyenlete, ami valamely áramvonal két pontja közötti (a gyakorlati számításokban: két szelvény közötti) áramlásban a következő alakban írható fel:

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + h_v$$

és amelynek jelentése a következő :

mozgó víz két, bizonyos távolságra elhelyezkedő keresztshelvényében a víz energiatartalmát a sebességmagasság : $v^2/(2g)$ [m],

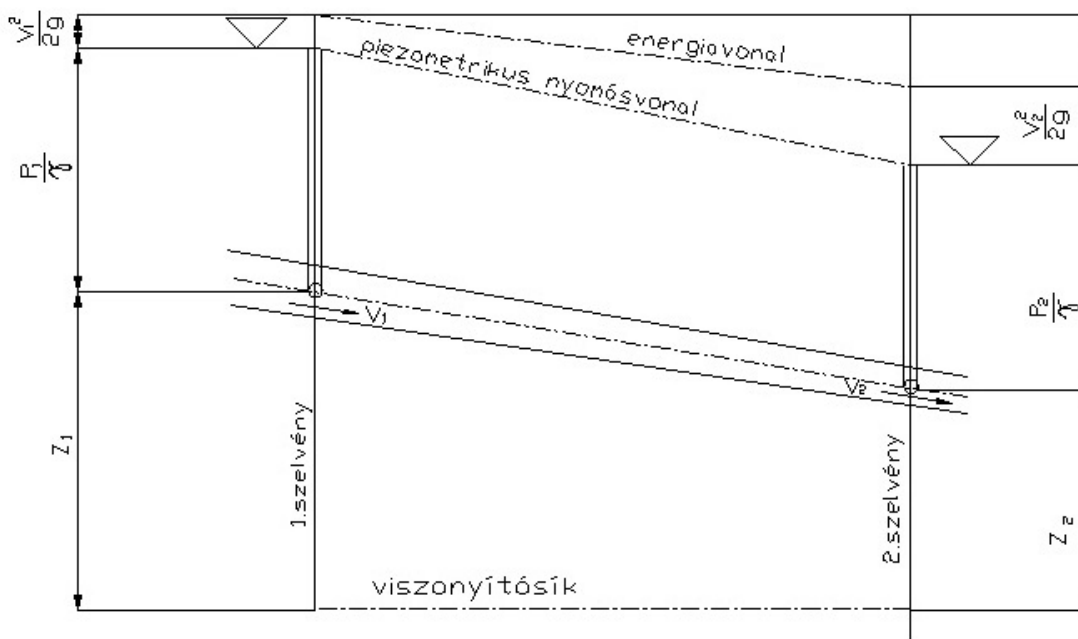
a nyomómagasság : $p/(\rho \cdot g)$ [m] és a geodézia magasság: Z [m] együttesen fejezik ki.

A két keresztshelvény között a víz energiájának egy részét a súrlódási és egyéb ellenállások leküzdésére fordítja, ezeknek a kifejezője a h_v , amelyben v az energiaveszteségre utal.

Az egyenlet az áramlás 1., illetve 2. szelvényében megadja az egységnyi súlyú folyadékra vonatkoztatott fajlagos energiatartalmat, tehát egyes tagjai [J/N = Nm/N = m] hosszúság dimenziójúak, vagyis a szelvénybeli energiaszintet mutatják. A két szelvény energiaszintjének különbsége a veszteség (h_v), vagyis a 2. szelvény fajlagos energiatartalma ennyivel kisebb. A Bernoulli-egyenlet tagjainak értelmezése a 7. ábra alapján a következő:

- Z [m]: a vizsgált pontban levő vízrészecske geodéziai magassága vagy fajlagos helyzeti energiatartalma a vízszintes geodéziai alapsíkhoz viszonyítva;
- $p/(\rho \cdot g)$ [m]: a nyomásmagasság, vagy a vízrészecske fajlagos nyomási energiatartalma;
- $v^2/(2g)$ [m]: az egységnyi tömegű víztestre vonatkoztatott fajlagos kinetikai energiatartalom, más szóval sebességmagasság.

A geodéziai és a nyomásmagasság összegét piezometrikus nyomásmagasságnak is szokásnevezni, hiszen, ha a cső adott szelvényeihez ún. piezométer csöveket csatlakoztatunk, azokban a víz éppen e szintekig emelkedik.



7. ábra. A Bernoulli-egyenlet értelmezése

A Bernoulli-egyenlet veszteségi tagjának (h_v) meghatározása szempontjából megkülönböztetünk "hidraulikailag hosszú" és "hidraulikailag rövid" csővezetékét. Az egyszerűbben csak hosszú csőnek nevezett csőben a veszteség döntően meghatározó részét a súrlódási veszteség alkotja, ehhez képest a helyi energiaveszteségek elhanyagolhatóan kicsik. A rövid csőben a súrlódási és helyi energiaveszteségek aránya nem ilyen egyoldalú, így a helyi veszteségeket is figyelembe kell venni.

Súrlódási veszteség

A lamináris áramlás súrlódási vesztesége a közepsebesség első hatványával arányos. Az l hosszon előálló h_f veszteséget a Darcy-Weisbach összefüggés írja le:

Henry Philibert Gaspard Darcy (1803–1858) Dijon polgára, csőbeli áramlások és vízáteresztő talajokban lejátszódó vízmozgási jelenségek tanulmányozásával foglalkozott. 1856-ban egy Dijonban építendő szökőkúttal kapcsolatban végezte kísérleteit, függőleges, homogén homokszűrőn keresztüli áramlást vizsgált.

Julius Weisbach (1806–1871) sok egyéb mellett a veszteségekkel is sokat foglalkozott, gyönyörű fametszetekkel illusztrálta helyi veszteségekkel és áramlási jelenségekkel kapcsolatos megállapításait. Darcy eredményei nyomán ő írta fel ilyen alakban a csősúrlódási veszteséget, bevezetve a λ dimenzió nélküli tényezőt.

$$h_w = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} [m]$$

- λ [-]: a csősúrlódási tényező;
- d [m]: a cső átmérője;
- $v^2/(2g)$ [m]: a középsebességgel számított sebességmagasság.

Lamináris áramlásban a csősúrlódási tényező csak a Reynolds-számtól függ és azzal fordítottan arányos. Turbulens áramlás csősúrlódási tényezője a Reynolds-számon kívül a cső felületének érdességétől, pontosabban a csőfal relatív érdességétől függ. A csősúrlódási tényező meghatározására kísérletek alapján összeállított grafikonok, táblázatok állnak rendelkezésre.

Az érdességi tényezők meghatározhatók természetes medrek esetében éppúgy, mint csővezetékben. Ezeket műszaki segédletek tartalmazzák, és a méretezés során a szakemberek munkájához is elengedhetetlenek ezek az adatok.

Helyi veszteségek

Helyi veszteségen az egyes konkrét helyhez köthető szerelvények (pl. tolózár) vagy változások (pl. átmérő- és irányváltozások) okozta fajlagos energiaveszteséget értjük. A helyi veszteséget

$$h_l = \zeta \frac{v^2}{2g} [m]$$

alakban írhatjuk fel, ahol:

- ζ [-] a veszteségtényező, amit az adott helyi veszteségre általában kísérleti úton határoznak meg;
- $v^2/(2g)$ [m] általában az adott veszteség konkrét helyét követő csőszakasz középsebességéből számolt sebességmagasság.

Helyi veszteségként kell figyelembe venni például a belépési veszteséget (nagy folyadéktérből való belépés csővezetékbe), ennek ellentettjét: a kilépési veszteséget; a szelvénybővületet vagy szelvényzsűkületet, amelyek lehetnek fokozatos átmenettel kiképzettek vagy hirtelen változóak; az irányváltások okozta veszteségeket (ív, könyök); az elágazások, csatlakozások okozta veszteséget; vagy a szerelvények (tolózár, pillangószelep, szűrő stb.) által okozott veszteségeket.

Az áramlás jellemzése. Viszkózitási jellemzők és alkalmazásuk. A vízszállító keresztiszelvény méretezése és ellenőrzése turbulens áramlás esetén

A víz belső súrlódása miatt a víz elemi részecskéi, mozgásuk következtében egymáshoz surlódnak. Ennek leküzdésére a víz energiát fordít mozgása közben. A víz csőbéli, nyomás alatti áramlását mutatja be a 8. ábra körszelvényű vezetékben. Látható, hogy a víz sebessége a csőfal mentén 0 értékű, attól távolodva nő és a cső tengelyvonalában éri el a maximális értéket. Lamináris áramlaskor, amikor a vízszálak nem keverednek, kisebb a belső ellenállás. Turbulens áramlás esetén a vízszálak keverednek, ezért a sebesség nem fokozatosan nő a cső tengelye felé haladva, hanem hirtelen, az átlagsebesség pedig nagyobb lesz. A csővezetékek méretezésénél figyelembe kell venni ezt a körülményt. Optimális az a csőátmérő, amely a legkisebb veszteséggel a legnagyobb vízhozamot képes elvezetni.

Méretezik a szabad felszínű medreket is. A súrlódási veszteség ebben az esetben is jelen van. Minél kisebb felületen érintkezik a szállított víz a mederfelülettel, annál kisebb veszteség éri. Ennek figyelembe vételére dolgozták ki a hidraulikus sugár elméletét. A hidraulikus sugár: $R = A/K$; a nedvesített keresztiszelvény területének és a vízzel nedvesített kerületének hányadosa. Minél nagyobb ez az érték, annál nagyobb arányban érintkeznek a vízrészecskék a meder falával, és annál nagyobb súrlódási veszteség keletkezik.

- $A [m^2]$: a keresztiszelvény nedvesített területe;
- $K [m]$: a periméter: vagyis a szelvény szilárd fallal határolt nedvesített kerülete, (a teljes keresztiszelvény kerületének hosszából levonjuk a szabad vízfelszín hosszát).

Nyíltfelszínű csatornák esetében a $Re_v [-]$: a hidraulikus sugárral (mint jellemző mérettel számított) Reynolds-számmal dolgozunk, $Re > Re_v$.

Ha $Re_v < 500-600$, az áramlás lamináris, ha nagyobb, az áramlás turbulens.

Csővezetékben a csőátmérővel (mint jellemző mérettel) számított $Re < 2000-2400$ érték a lamináris és turbulens áramlás határaként megfelel ezeknek az értékeknek.

Nyílt medrek esetén. még egy új – a vízmozgás viszonylagos sebességét kifejező fogalomrendszer bevezetése szükséges, nevezetesen az áramló és a rohanó vízmozgásé. A vízmozgásoknak ez a megkülönböztetése a víz sebességének és az úgynevezett gravitációs hullámok haladási sebességének viszonyát tükrözi. Ha a hullámok fölfelé (a vízmozgás irányával szemben) is terjednek, a víz sebessége kisebb, mint a hullámsebesség, a vízmozgás áramló. Ha a hullám csak lefelé (a vízmozgással egyező irányban) terjed, ez a hullámsebességnél nagyobb vízsebességet jelent., A gyakorlatban a rohanó vízmozgást – lehetőség szerint – kerülni próbáljuk, igyekszünk a folyási sebességet lecsökkentve, áramlóvá változtatni a vízmozgást. Ennek oka az, hogy a nagy sebességhez, nagy mozgási energiához tartozó nagy elragadó erő veszélyes a mederfelületre. Az ilyen helyeken a víz megbonthatja a meder felületét, a meder anyagát magával ragadja, illetve veszélyezteteti a megépített létesítményeket.

Szabad felszínű vízmozgás esetén a víz felszínén csupán a légköri nyomás érvényesül, tehát $p_1 = p_2$

Ennek következtében: a szabad felszínű vízmozgás energia egyenletéből mindkét oldalon elmarad a második tag, mert hanyagolható. Az első tag: a sebesség–magasság mindkét szelvényben egyenlő, ha a két vizsgált szelvényben azonos mértékű a szállított vízhozam és a vízszállító keresztmetszvény, vagyis ha

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} = v_2 = \frac{Q}{A_2}$$

mert: $A_1 = A_2$.

A vízhozam (Q) állandóságát a folytonosság egyenlete fejezi ki a két keresztmetszvény között, ami az előző egyenletből következően:

$$v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2$$

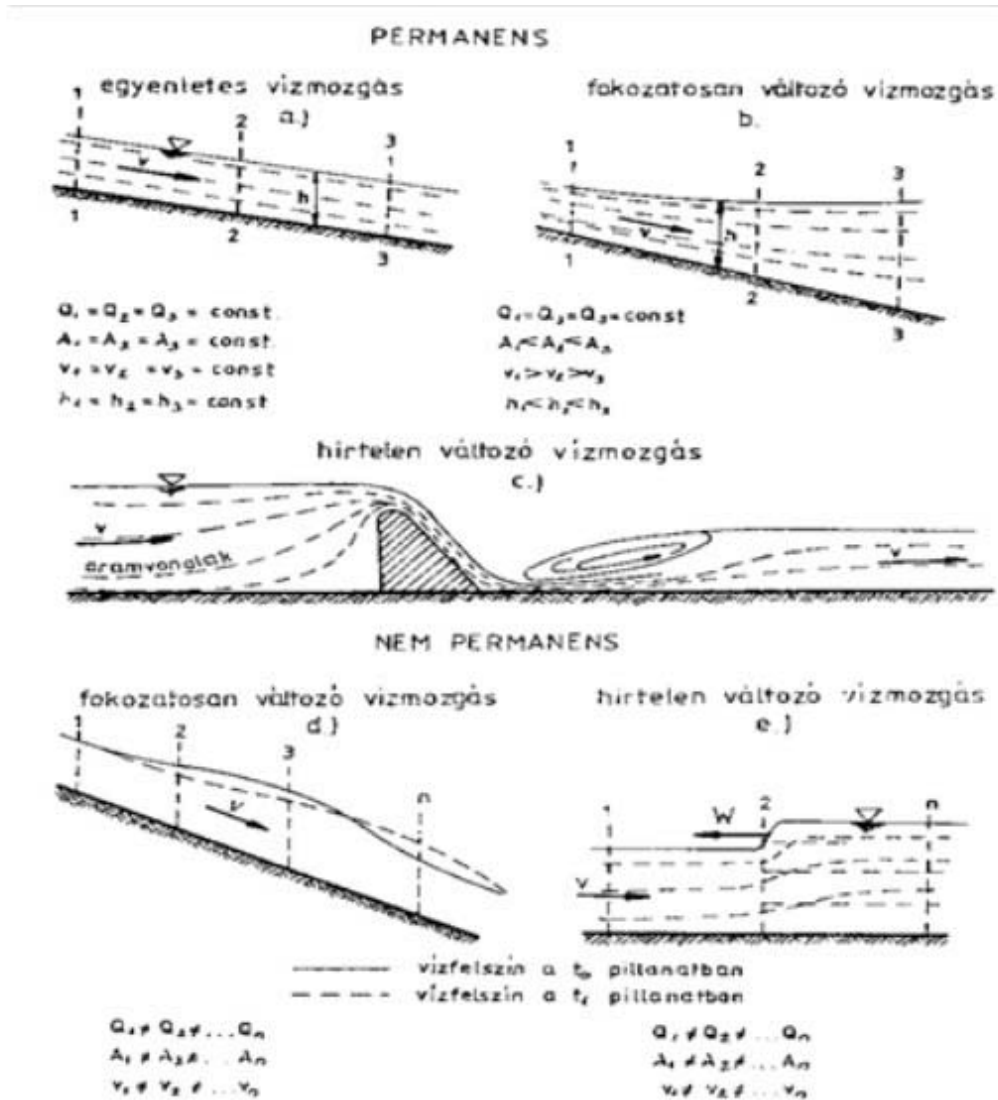
alakban írható fel. Az energiaegyenlet és a folytonossági egyenlet együtt alkalmas a legtöbb vízmozgás számítására közelítésére.

Szabad felszínű vízmozgás fajtái

- permanens, egyenletes, amikor Q is és A is változatlan. Ekkor a vízszín lejtése párhuzamos a mederfenék lejtésével;
- permanens, egyenletesen változó, ha Q állandó és A egyenletesen változó. Ekkor a víz felszínének lejtése eltér a mederfenék lejtésétől. Ilyen eset fordul elő pl. ha egy patak torkolati szakaszába visszaduzzaszt a befogadó magas vízállása, vagy leszív a befogadó alacsony vízállása;.
- permanens, hirtelen változó, ha Q állandó és A hirtelen változó, például bukó esetén.

Összefoglalva: a permanens vízmozgás jellemzője a vízhozam állandósága: $Q = \text{állandó}$.

Permanens, állandó vízmozgás esetén a Bernoulli-egyenlet h_v tagja csupán a vízmozgás következtében fellépő súrlódási veszteséget jelenti. Permanens változó vízmozgás esetén a h_v tartalmazza a felgyorsulás energiaveszteségét ($+\Delta h_v$) ill. a lelassulás energiafeleslegét ($-\Delta h_v$) is.



8. ábra. Permanens és nem permanens vízmozgások

A természetben előforduló vízmozgások általában nem permanensek, mert a vízhozam időben változik. A nem permanens vízmozgásnak olyan állapotait tételezzük fel érvényesnek a hidrodinamikai számítások során, amelyekben megengedhető a permanens vízmozgás feltételezése.

A szabad felszínű vízmozgások tárgyalásakor általában permanens (egyenletes) vízmozgást feltételezünk. Az egyenletesen változó vízmozgások felszín görbéit röviden közelítjük, a hirtelen változó vízmozgásokat pedig csak igen röviden vizsgáljuk tanulmányaink során.

A szabad felszínű vízmozgás egyik érdekes jellemzője, hogy azonos vízhozam ugyanazzal az energiatartalommal áramolva és rohanva képes folyni, különböző vízmélységgel. A határolt vagy nyomás alatti vízmozgás jellegzetessége, hogy a mozgó víz energiatartalmát a víz szintjén és sebességén túl jelentősen befolyásolja a vízszállító csőben uralkodó nyomás. Emiatt a nyomás alatti vízmozgás kissé összetettebb, mint a nyílt felszínű, annak ellenére, hogy a nyomás alatti vízmozgást nem soroljuk egyenletes vagy változó kategóriákba, mert permanens vízmozgást feltételezve nem változtatjuk a csővezeték vízszállító keresztmetszvényének méretét: $A_2 = A_1 = A$.

Csak permanens és nem permanens vízmozgás-változatokat tárgyalunk. Figyelemmel a nem permanens jelenségek összetett jellegére, a nyomás alatti vízmozgást is általában permanensnek tételezzük fel, vagyis a folytonossági egyenlet érvényességével számolunk.

A lamináris áramlás feltételei kút körüli szivárgó vízmozgás esetén

A talajvíz áramlása a talaj hézagrendszerében olyan lassú, hogy a vízszálak általában nem keverednek, tehát lamináris a vízmozgás.

Darcy törvénye szerint a talajvíz mozgás sebessége egyenesen arányos a talajvíz felszínének lejtésével:

$$v = k \cdot I, \text{ ahol:}$$

- v [m/s] a szűrősebesség;
- k [m/s] az átteresztőképességi együttható;
- I a talajvízszín lejtése

A szűrősebesség nem azonos a talajszemcsék között kialakuló tényleges sebességgel. Értékét úgy kapjuk meg, hogy a kiválasztott talajsávban folyó vízhozamot elosztjuk a talajsáv keresztmetszeti területével.

Bármilyen talajvízmozgás vizsgálatához ismerni kell a vízáteresztő-képességi együtthatót. Az átteresztőképesség a talajban lévő szemcsék nagyságától a szemcseeloszlástól és a talaj szerkezetétől függ. A k vízáteresztő-képességi együttható képletekből, laboratóriumi mérésekből és helyszínen végzett kísérletekből állapítható meg.

Kút körüli szivárgás esetén különbséget kell tenni a nyugalmi és a kitermelési időszak között. A kitermelés kezdetén megindul a kút környezetéből a víz áramlása a kút felé, egyre nagyobb körben kapcsolódik be a kút környezete a vízutánpótlásba és kialakul az ún. leszívás. Leszívásnak nevezzük azt a vízálláskülönbséget, amely a nyugalmi vízszint és a leszíváskor a kútban kialakuló leszívási vízszint között mérhető. A leszívás nagysága szerint alakul a kút vízáadó képessége. Ha az áramlás a kútban kialakuló leszívás miatt olyan nagy sebességet ér el, hogy a talaj legfinomabb szemcséit mozgásba hozza, a szemcsék a kút szűrőpalástja körül eltömődést okoznak és kút vízáadó-képessége romlik.

Anyagáram-számítás

Az anyagáram valamely csővezeték, vagy csatorna egy meghatározott keresztmetszetén az időegység alatt áthaladó anyag mennyisége.

- Szükséges a keresztmetszet: A [m²] ismerete:

Kör keresztmetszet esetén a számítás:

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$$

ahol d [m] a kör átmérője. Más síkidom esetében a geometriában tanultak szerint számítandó a keresztmetszeti felület.

- Szükséges továbbá az áthaladó anyag mennyiségének ismerete, amely kifejezhető m³-ben, vagy literben.
- Végül ismerni kell az áthaladás időegységét, ez legtöbbször secundumban van megadva.

A fent ismertetett tényezőkből az anyagáram mértékegysége tehát m³/s vagy l/s, jele Q .

Számítása:

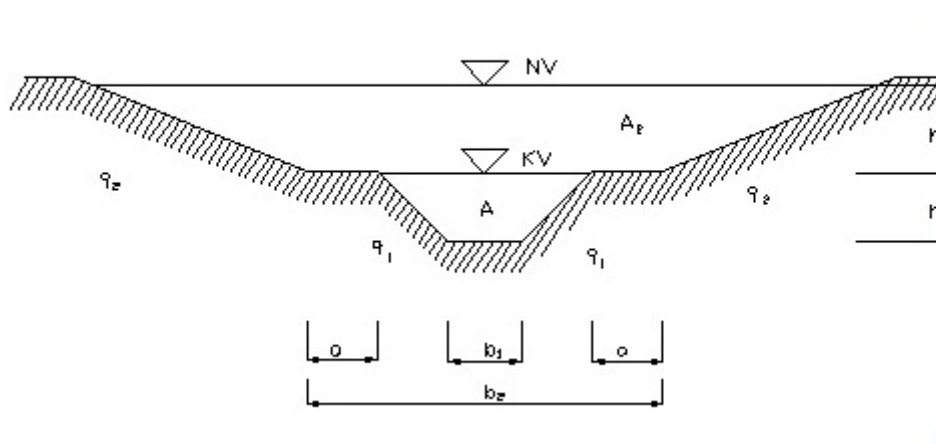
$$Q = v_k \cdot A \text{ [m}^3/\text{s]}$$

v_k = az áramlás középsebessége [m/s].

A = az átfolyási keresztmetszvény területe [m²].

Az áramlási sebesség mérhető a hidrometriában ismertetett módszerekkel, vagy számítható. A hidraulikailag legkedvezőbb keresztmetszvény a félkör, hiszen az A nedvesített keresztmetszeti terület és a K nedvesített kerület, vagy periméter aránya itt a legkedvezőbb. Adott A -hoz a félkör-szélvény ívhosszúsága esetében adódik a legrövidebb nedvesített kerület. A gyakorlatban alkalmazott trapézszélvény ezt közelíti, természetesen megfelelő vízmélység és fenékszélesség esetén. A meder hidraulikai méretezési feladata sokféle lehet attól függően, hogy mi ismert és mit kívánunk meghatározni. A Q vízhozam, a v sebesség, a meder hosszirányú I esése vagy a meder k simasági együtthatója a többi adat ismeretében közvetlenül meghatározható. Ha azonban a keresztmetszvény valamely geometriai adata, például a vízmélység a kérdéses, akkor felvett értékekkel számított adatpárokból közelítő számításal határozhatjuk meg a keresett adatot.

A meder méretezésekor a gyakorlatban figyelembe kell venni, hogy a csatornában a víz sebességének értéke bizonyos alsó és felső korlátok között engedhető meg; az alsó korlátot a lebegtetett hordalék kiüledésének és a szelvényméret csökkenésének veszélye miatt, az általában $v_{\min} = 0,2-0,4$ m/s-nak felvett minimális szükséges szelvény-középsebesség jelenti. A felső korlátot az úgynevezett kimélyülési határsebesség adja, amely az adott talajra jellemző szelvény-középsebesség érték, amelynek meghaladása esetén a talajszemcsék is mozgásba lendülnek, tehát a mederben kimélyülések keletkezhetnek, a keresztstelvény alakja és helyzete megváltozhat. A kimélyülési határsebesség-értékeket különböző mederanyagokra táblázatok adják meg. Például homokmederben kb. 0,6-0,8; agyagban 1-1,2; beton burkolat esetén kb. 7-8 m/s engedhető meg.



9. ábra. Összetett szelvény

Ingadozó vízjárások esetén (kis és nagy vízhozamok váltakozása) gyakori az összetett szelvény alkalmazása (12. ábra). A kis vízhozamok az ún. főmederben A keresztmetszeti területtel folynak le, míg a nagy vízhozam érkezésekor egy szélesebb árvízi meder, az A_2 kiegészítő terület is belép a szállításba. Ilyen szelvényeknél a teljes vízszállító kapacitás számításakor a két mederrészben folyó hozamot külön számítjuk, majd összegezzük. Gondot szokott okozni a főmeder és az ártér eltérő simasága, ezért ezek gondos meghatározást igényelnek.

Az áramlás középsebessége a Chézy-képlet szerint:

$$v_k = C \cdot \sqrt{R \cdot I} \text{ ahol:}$$

R [m] a hidraulikai sugár:

$$R = \frac{A}{K}$$

A [m²] a szelvényterület,

$K[m]$ a nedvesített szelvénykerület, míg $I = \frac{\Delta h}{L}$

a meder lejtése, [m/m], itt:

$\Delta h [m]$ a magasságkülönbség

$L [m]$ az a hossz, amelyen a magasságkülönbséget mérték,

míg a C tényező értékére több szerző is dolgozott ki számítási eljárást. Mi a Manning- féle számítást alkalmazzuk:

$$C = \frac{1}{n \cdot R^{1/6}}$$

ahol: n = a mederérdességi tényező, mely a meder, vagy cső anyagától függően változik és műszaki segédletekből kereshető ki.

Összefoglalás

A folytonossági egyenlet: $Q = v_k \cdot A [m^3/s]$

A lamináris (rétegzett) és a turbulens (keveredő, gomolygó) áramlás határát egy dimenzió nélküli számmal a Reynolds-számmal fejezzük ki:

$$Re = v \cdot d / \nu$$

Szabad felszínű a vízmozgás a folyókban, patakokban, nyílt és zárt csatornák medrében, melyekben a víz sebessége a Chézy képlettel számítható:

$$v_k = C \cdot \sqrt{R \cdot I}$$

Határolt vagy nyomás alatti a vízmozgás vízzel telt zárt vezetékben, erre a vízmozgásra érvényes Bernoulli-energia egyenlete ,mely a következő alakban írható fel:

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + h_v$$

A h_v helyi és hosszmenti veszteségekből tevődik össze.

Darcy törvénye szerint a talajvíz-mozgás sebessége egyenesen arányos a talajvíz felszínének lejtésével

$$v = k \cdot I ; \text{ ahol: } v \text{ a szűrősebesség [m/s].}$$

TANULÁSIRÁNYÍTÓ

1. Feladat

A talajban szivárgó víz sebességére jellemző Reynolds-szám milyen tartományban található?

2. Feladat

Keressen rá a világhálón egy hegyi patak medrének kereszt-szelvényére és a Tisza kereszt-szelvényére (egy alföldi szakaszon). Hasonlítsa össze a kettőt! Mit tapasztal? Melyiknek nagyobb a hidraulikai sugara és a surlódása?

3. Feladat

Milyen akadályok lehetnek a csővezetékben, amelyek helyi veszteséget okoznak?

Megoldások

1. $Re_v = 500-600$
2. A hegyi patak medre V alakú, a Tisza medre az alföldi szakaszokon csésze alakú. A V alakú medernek (adott szelvényterület mellett) kisebb a hidraulikai sugara, ezért a vízszállító képessége is kisebb.
3. Helyi veszteségként kell figyelembe venni például a belépési veszteséget (nagy folyadéktérből belépés csővezetékbe); ennek ellentettjét: a kilépési veszteséget; a szelvénybővületet vagy szelvényshűkületet, (amelyek lehetnek fokozatos átmenettel kiképzettek vagy hirtelen változóak); az irányváltások okozta veszteségeket (ív, könyök); az elágazások, csatlakozások okozta veszteséget; vagy a szerelvények (tolózár, pillangószelep, szűrő stb.) által okozott veszteségeket.

ÖNELLENŐRZŐ FELADATOK**1. feladat**

Hogyan osztályozzuk a vízmozgásokat? Mi az a Reynolds-szám?

2. feladat

Hogyan méretezzük a vízszállító medreket?

3. feladat

Értelmezze a Bernoulli-egyenletet!

MUNKKANYAG

MEGOLDÁSOK

1. feladat

A vízmozgásokat többféle szempontból osztályozzuk. Lamináris vízmozgásról beszélünk, ha a mozgó víz áramvonalai nem keverednek egymással. Ha az áramvonalak keverednek turbulens a vízmozgás. A vízgazdálkodási gyakorlatban általában turbulens vízmozgással foglalkozunk. Megkülönböztetünk még nyomás alatti és szabad felszínű áramlást. A permanens áramlások legfontosabb leggyakoribb típusára, a turbulens áramlásra Reynolds adott magyarázatot. A manchesteri egyetemen végzett kísérleteiben – üvegcsőben különböző sebességgel áramoltatott vízbe egy ponton bevezetett festékcsíkkal – kimutatta a lamináris (rétegzett) és a turbulens (keveredő, gomolygó) áramlás határát. Ezt a határt egy dimenzió nélküli számmal – az azóta róla elnevezett – Reynolds-számmal fejezte ki: $Re = v \cdot d / \nu$; ahol: v [m/s] az áramlás középsebessége; d [m] a cső átmérője; ν [m²/s] a folyadék kinematikai viszkozitási tényezője.

2. feladat

A szabadfelszínű mederben áramló víz hozamának számítása: $Q = v_k \cdot A$ [m³/s], ahol v_k [m/s] az áramlás középsebessége; A [m²] az átfolyási keresztmetszvény területe; míg az áramlás középsebessége:

$$v_k = C \cdot \sqrt{R \cdot I}$$

[m/s] mértékegységben,

R [m] a hidraulikai sugár:

$$R = \frac{A}{K}$$

ahol A [m²] a szelvényterület; K [m] anedvesített szelvény kerület, I [m/m] alejtés, mértéke:

$$I = \frac{\Delta h}{L}$$

ahol: Δh [m] a magasságkülönbség és L [m] az a hossz, amelyen a magasságkülönbséget mérték.

A C tényező értékére több szerző is dolgozott ki számítási eljárást, mi a Manning-féle számítást alkalmazzuk:

$$C = \frac{1}{n \cdot R^{1/6}}$$

ahol: $n [-]$ a mederérdességi tényező, mely a meder, vagy cső anyagától függően változik és műszaki segédletekből kereshető ki.

3. feladat

A Bernoulli-energia egyenlete a következő alakban írható fel:

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + h_v$$

aminek jelentése a következő :

A mozgó víz két, bizonyos távolságra elhelyezkedő keresztshelvényében a víz energiataralmát a sebességmagasság:

$$\frac{v^2}{2g}$$

a nyomómagasság :

$$\frac{p}{\rho g}$$

és a geodéziai magasság: Z együttesen fejezik ki.

A két keresztshelvény között a víz energiájának egy részét a súrlódási és egyéb ellenállások leküzdésére fordítja, ezeknek a kifejezője a h_v , amelyben v az (energia) veszteségét jelzi.

Az egyenlet az áramlás 1., illetve 2. szelvényében megadja az egységnyi súlyú folyadékra vonatkoztatott fajlagos energiataralmat, tehát egyes tagjai ($J/N = Nm/N = m$) hosszúság dimenziójúak, vagyis a szelvénybeli energiaszintet mutatják. A két szelvény energiaszintjének különbsége a veszteség (h_v), vagyis a 2. szelvény fajlagos energiataralma ennyivel kisebb. A Bernoulli-egyenlet tagjainak értelmezése a 9. ábra alapján a következő:

- $Z [m]$ a vizsgált pontban levő vírzészecske geodéziai magassága vagy fajlagos helyzeti energiataralma a vízszintes geodéziai alapsíkhöz viszonyítva;

$p/(\rho g) [m]$ a nyomómagasság vagy a vírzészecske fajlagos nyomási energiataralma;

- $v^2/(2g) [m]$ az egységnyi tömegű víztestre vonatkoztatott fajlagos kinetikai energiataralom, más szóval: sebességmagasság.

A geodéziai- és a nyomómagasság összegét piezometrikus nyomómagasságnak is szokásnevezni, hiszen ha a cső adott szelvényeihez ún. piezométer-csőveket csatlakoztatunk, azokban a víz éppen e szintekig emelkedik.

MŰTÁRGYHIDRAULIKA

ESETFELVETÉS – MUNKAHELYZET

Folyadékmozgás műtárgyak környezetében

A vízgazdálkodás számos területén, vízépítési létesítményeknél, a használat igényeinek megfelelően, különböző vízmozgást befolyásoló, elzáró, áteresztő, szabályozó úgynevezett műtárgyat alkalmazunk, építünk. Bármely ilyen műtárgy „működését” az azt követő mederszakasz vagy csatorna szakasz nagymértékben befolyásolhatja, annak visszahatása az adott műtárgyra, méretezés szempontjából meghatározó. Például egy – későbbiekben részletezendő – zsilip vagy bukó vízhozam-kapacitását kiszámolva, hiába érezzük számítási eredményünket megalapozottnak, precíznek, ha a zsilipet vagy a bukót követő alvízi mederszakasz nem képes a kiszámolt vízhozam szállítására, például kis keresztmetszeti területe miatt.

Hogyan számítható ki a zsilip alatti és az átereszekben történő átfolyás, az átbukó víz hozama? Mi jellemzi a talajban a szivárgást és a kutak vízhozamát? Ezekre a kérdésekre kapunk választ a következőkben.

SZAKMAI INFORMÁCIÓTARTALOM

1. Tiltók és zsilipek



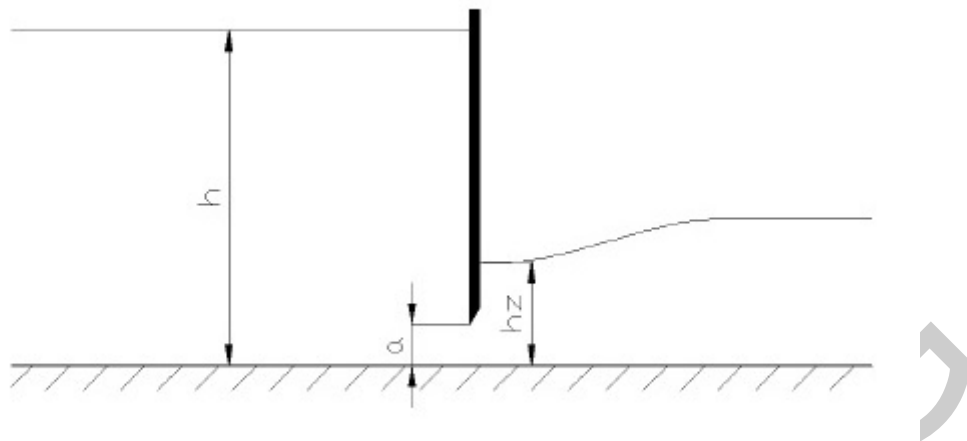
10. ábra. Táblás zsilip

A zsilipek, kisebb méretek esetén tiltók, olyan vízmozgást szabályozó műtárgyak, amelyek alsó vízátbocsátást lehetővé téve – általában a nyílás mindkét oldalát víz borítja – a nyílás méretének változtatásával képesek a kívánt vízszinteket tartani, vagy kívánt vízhozamot át bocsátani. Egy függőleges éles szélű zsiliptábla alatti szabad kifolyást mutat a 13. ábra.

A zsilip felvízi oldala és az alvízi ún. kontrakciós szelvénye között felírt Bernoulli-egyenletből levezethető a derékszögű négyszög szelvényű csatornába épített zsilip alatt átfolyó vízhozamra a

$$Q = \mu \cdot A \sqrt{2g(H - h_c)}$$

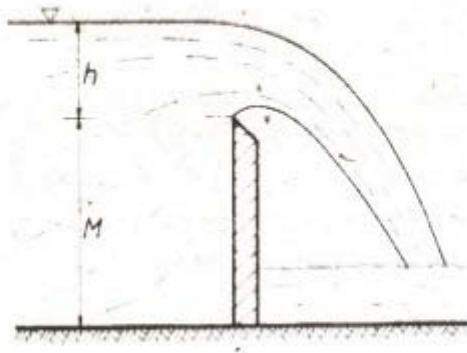
[m³/s]összefüggést kapjuk.



11. ábra. Zsiliptábla alatti átfolyás

2. Bukógátak

A bukók vagy bukógátak felső vagy szabad. felszínű vízátbocsátást lehetővé tevő műtárgyak, mint az a nevükben is benne van: átbukik fölöttük a víz. Kialakításuk lehet fix koronájú bukó vagy szabályozható, állítható koronaszintű bukó.



12. ábra. Bukógát fölötti átfolyás

A csatornatengelyre merőleges derékszögű négyszög nyílású, éles szélű bukó (14. ábra) fölött átbukó vízhozam a

$$Q = \frac{2}{3} \mu \cdot B \cdot \sqrt{2g \cdot H^{3/2}}$$

[m³/s] képlettel számítható, ami Ponceletti-képlet néven is ismert.

3. Átereszek

Az átereszek olyan keresztezési műtárgyak, amelyek valamilyen egyéb létesítmény (például út, vasútvonal) alatt lehetővé teszik a víz átfolyását, vagyis nevüket onnan hapták, hogy „áteresztek” a vizet. Működésük, üzemelésük hidraulikai szempontból különböző lehet, úgymint nyílt felszínű átfolyás vagy nyomás alatti átfolyás. Ebben a fejezetben az utóbbival foglalkozunk. Ez esetben az átereszeket hidraulikailag rövid csőként méretezzük.

4. Folyadékmozgás szemcsés közegben

A szemcsés közegben, talajban történő folyadékmozgást egyszerűen szivárgásnak nevezzük. A szivárgó talajvíz mozgása általában permanensnek tekinthető és a Darcy-törvény szerint alakul.

Darcy – saját kísérleteire alapozott – megállapítása az volt, hogy a szemcsés közegen átfolyó Q vízhozam egyenesen arányos a szemcsés közeg vagy talaj A keresztmetszeti területével és a vizsgált hosszban tapasztalt piezometrikus nyomásszint-különbséggel, valamint fordítottan arányos a szivárgási út hosszával, vagyis:

$$Q = k \cdot A \cdot \frac{\Delta h}{L}$$

[m³/s], ahol k [m/s] arányossági tényező a talaj szerkezetére jellemző, úgynevezett Darcy-féle szivárgási együttható, amely megegyezik az egységnyi esésnél előálló virtuális szivárgási sebességgel.

Valójában a víz nem a talaj „bruttó” keresztmetszetén, hanem csak a szemcsék közötti hézagokon át áramlik. A valódi sebesség tehát $v_v = \frac{v}{n}$, ahol n a talaj hézagtérfogata, (általában 0,25–0,45 között).

A szivárgó vízmozgás leírása csak közelítőleg lehetséges hidraulikai módszerekkel. Ennek több oka van, a Darcy-törvény érvényességi tartományától odáig, hogy a szivárgási jelenségek általában nem jellemezhetők kielégítően a középsebességgel és gyakran három dimenziós, térbeli vizsgálat szükséges.

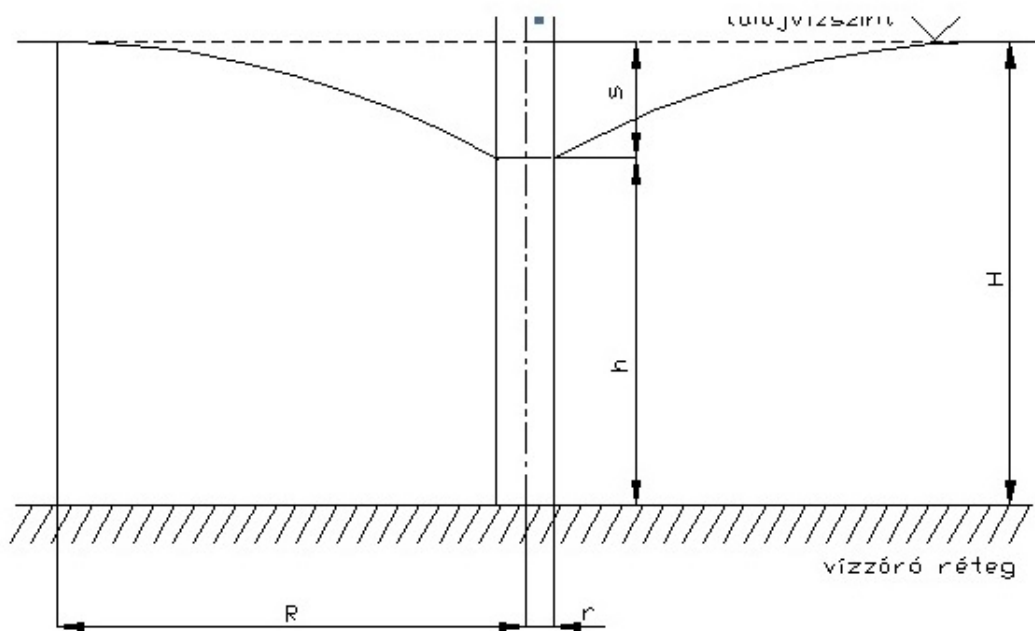
5. Kutak

Leggyakoribb szivárgási problémák közé tartozik a kutak vízszállításának meghatározása. Erre egy viszonylag egyszerű példa a homogén, porózus talajba mélyített kút, amely a vízzáró rétegig leér és teljes hosszában perforált. A kútból tartósan Q vízhozamot kiemelve a talajvíz felszíne és kút vízszintje az ábrán vázolt módon állandósult. Vízhozama a következő képlet alapján számítható:

$$Q = \frac{k \cdot \pi (H^2 - h^2)}{I_n \cdot R / r}$$

[m³/s], ahol:

- k [m/s] a talaj Darcy-féle szivárgási tényezője;
- H [m] a talajvízszint eredeti magassága a vízzáró réteg fölött;
- h [m] a kút vízszintje a vízzáró réteg fölött;
- R [m] a kút hatótávolsága, az a gyakorlati képletekkel számítható távolság, ahol a leszívás már nem érvényesül;
- r [m] a kút sugara.



13. ábra. Teljes kút

Másik gyakran előforduló példa az ún. teljes artézi kút, vagyis két vízzáró réteg között nyomás alatt lévő talajvíz megcsapolása. A víz így a kút felé egy konstans h magasságú hengerpaláston keresztül szivárog. A jelölések megegyeznek az előző összefüggés jelöléseivel.

TANULÁSIRÁNYÍTÓ

Végezzen megfigyelést! Nagyobb esőzések után a vízelvezető árkokban található átereszek nem győzik az összegyűlt vizet átvezetni. Mit tapasztal az áteresz előtt és utána?

ÖNELLENŐRZŐ FELADATOK**1. feladat**

Milyen összefüggéssel számolható a zsiliptábla alatti átfolyó vízhozam?

2. feladat

Írja fel az általános bukóképletet, és értelmezze azt!

3. feladat

Milyen összefüggéssel jellemezhető a talajban szivárgó víz?

4. feladat

Hogyan számítható ki a kutak vízhozama?

MEGOLDÁSOK

1. feladat

A zsilip felvízi oldala és az alvízi ún. kontrakciós szelvénye között felírt Bernoulli-egyenletből levezethető a derékszögű négyszög szelvényű csatornába épített zsilip alatt átfolyó vízhozamra a

$$Q = \mu \cdot A \cdot \sqrt{2g(H - h_c)}$$

[m³/s] összefüggést kapjuk.

2. feladat

A csatornatengelyre merőleges derékszögű négyszög nyílású, éles szélű bukó (14 ábra) fölött átbukó vízhozam a

$$Q = \frac{2}{3} \mu \cdot B \cdot \sqrt{2g \cdot H^{3/2}}$$

[m³/s] Ponceletti-képlettel számítható.

3. feladat

Darcy – saját kísérleteire alapozott – megállapítása az volt, hogy a szemcsés közegen átfolyó Q vízhozam egyenesen arányos a szemcsés közeg vagy talaj A keresztmetszeti területével és a vizsgált hosszban tapasztalt piezometrikus nyomásszint-különbséggel, valamint fordítottan arányos a szivárgási út hosszával, vagyis:

$$Q = k \cdot A \cdot \frac{\Delta h}{L}$$

[m³/s], ahol a k [m/s] arányossági tényező a talaj szerkezetére jellemző, úgynevezett Darcy-féle szivárgási együttható, amely megegyezik az egységnyi esésnél előálló virtuális szivárgási sebességgel.

4. feladat

$$Q = \frac{k \cdot \pi (H^2 - h^2)}{I_n \cdot R / r}$$

[m³/s], ahol:

k [m/s] a talaj Darcy-féle szivárgási tényezője;

H [m] a talajvízszint eredeti magassága a vízzáró réteg fölött;

h [m] a kút vízszintje a vízzáró réteg fölött;

R [m] a kút hatótávolsága, az a gyakorlati képletekkel számítható távolság, ahol a leszívás már nem érvényesül;

r [m] a kút sugara (m).

MUNKANYELV

IRODALOMJEGYZÉK**FELHASZNÁLT IRODALOM**

Benke Lászlóné: Vízügyi szakmai ismeretek, Skandi-Wald Könyvkiadó 2003. (14–26. oldal)

Benke Lászlóné: Vízügyi alapismeretek, Nemzeti Szakképzési Intézet 2005. (27–30. oldal)

Urbanovszky István: Hidrológia és hidraulika, Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, 2002. (78–81., 154–156. oldal)

AJÁNLOTT IRODALOM

Stelczer Károly: A vízkészlet-gazdálkodás hidrológiai alapjai, ELTE Eötvös Kiadó 2000.

Vermes László: Vízgazdálkodás, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, 2001.

MUNKANYELV

A(z) 1214-06 modul 039-es szakmai tankönyvi tartalomeleme felhasználható az alábbi szakképesítésekhez:

A szakképesítés OKJ azonosító száma:	A szakképesítés megnevezése
54 850 01 0010 54 01	Energetikai környezetvédő
54 850 01 0010 54 02	Hulladékgazdálkodó
54 850 01 0010 54 03	Környezetvédelmi berendezés üzemeltetője
54 850 01 0010 54 04	Környezetvédelmi mérés technikus
54 850 01 0010 54 05	Nukleáris energetikus
54 850 01 0010 54 06	Vízgazdálkodó
54 850 02 0000 00 00	Természet- és környezetvédelmi technikus
54 851 01 0000 00 00	Települési környezetvédelmi technikus

A szakmai tankönyvi tartalomelem feldolgozásához ajánlott óraszám:

30 óra

MUNKANYAG

A kiadvány az Új Magyarország Fejlesztési Terv
TÁMOP 2.2.1 08/1-2008-0002 „A képzés minőségének és tartalmának
fejlesztése” keretében készült.

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap
társfinanszírozásával valósul meg.

Kiadja a Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet
1085 Budapest, Baross u. 52.

Telefon: (1) 210-1065, Fax: (1) 210-1063

Felelős kiadó:
Nagy László főigazgató