

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék**

TDK 2013

Ajánlás vízépítési kőművek méretezéséhez



Készítette: Lisovszki Evelin E61OPO

Konzulens: Dr. Csoma Rózsa BME-VVT

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. Alapfogalmak	4
3. Reclamation's Dam Safety and Research and Technology Development	
Program módszere	6
3.1 Általános jellemzők	6
3.2. A szükséges adatok	6
3.3 A tervezés lépései	7
4. 4. Rauhe Rampen in Fließgewässern	12
4.1 Általános jellemzők	12
4.2 Szükséges adatok	12
4.3 A tervezés lépései	13
5. Összehasonlítás	19
6. A két módszer alkalmazása egy tervezett hazai műre	23
6.1. A kógát méretezéséhez rendelkezésre álló adatok	23
6.2. Amerikai – magyar	24
6.3. Német – magyar	25
7. Összefoglaló értékelés	29
8. Irodalomjegyzék	30

1. Bevezetés

A kőszórás a gyakorlatban elősorban burkolatként kerül felhasználásra ott, ahol ezt a rézsű indokolja. A rézsű stabilizálására, erózióvédelmi célokra, és folyószabályozási művek, pl.: partvédő művek kialakítására alkalmazzák. Néhány helyen azonban gátként is beépítettek ilyen műveket. Ennek oka a változó szemléletmód, miszerint egy műtárgynak nemcsak esztétikusnak, hanem tájba illeszhetőnek kell lennie, és az ökológiai szempontoknak is meg kell hogy feleljen. Például az ilyen gátak kialakítása során nem szükséges külön gondoskodni az átjárhatóságról, hiszen számos faj át tud jutni rajta.

Magyarországon az egyetlen ilyen létesítmény a Dunakilitinél 1992 és 1995 között épült fenékküszöb. Feladata, hogy a Szigetköz hullámtéri mellékágrendszerének vízpótlását biztosítsa. Kialakításának módjára nem volt hazai példa vagy tapasztalat, viszont sok szempont volt, amit figyelembe kellett venni. Ilyen szempontok például mivel ideiglenes műnek készült könnyen elbontható kellett, hogy legyen, a közelben található, korábban deponált vízépítési terméskövet kellett felhasználni az építéshez, figyelembe kellett venni továbbá a duzzasztómű hatását is. A kőművet bukóként, illetve surrantóként méretezték (*Haszpra-Zsilák, 2002.*).

Külföldön több módszer is kifejlesztésre került az ilyen jellegű művek tervezésére, méretezésére. A korábban alkalmazott eljárások elősorban kőszórás védelem, ill. burkolat tervezésekor kerültek alkalmazásra, újabban kőszórás surrantókra és gátakra is használják. Ennek egyik előzménye Amerikában a Geneva-gát, melyet 1837-ben építettek a Fox folyón. A fürdőzők és horgászok egyik kedvelt pihenőhelye volt, azonban sok haláleset kötődik a gáthoz. Több probléma felmerült a művel kapcsolatban, pl.: a biztonság, a hallépcső és a hajózás problémája. Ezek miatt, de elősorban életvédelmi céllal 1960-ban és 2006-ban is átépítették. Legutóbbi átépítésekor kőszórást alkalmaztak, melynek méretezésére több eljárást is kifejlesztettek (*Su et al, 2009*).

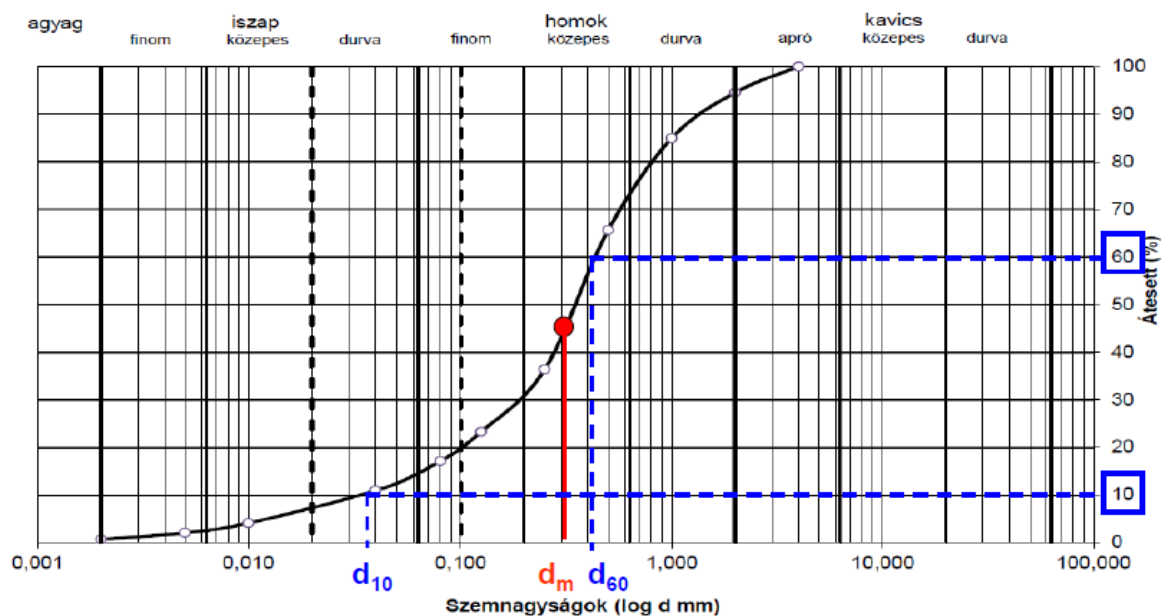
A dolgozat célja ezen gyakorlatban is alkalmazott külföldi módszerek közül néhány bemutatása, egyenkénti értékelése, összehasonlítása, a vizsgált európai és amerikai eljárások alkalmazási feltételeinek bemutatása, majd mindezek alapján javaslatétel arra, hogy mikor, melyiket, esetleg melyiket ne alkalmazzuk és miért. Dolgozatomban összefoglalom az eljárások alapjait, amelyeket minden további módszer alkalmaz, majd ismertetem is az egyes módszereket, végül pedig alkalmazom egy tervezett hazai műre.

2. Alapfogalmak

Az alábbiakban néhány olyan alapfogalmat és mennyiséget foglalkoz össze, melyeket a későbbiekben a vizsgált módszerek alkalmaznak.

Mértékadó szemcseátmérő (d_m): a szemcsehalmazban a legnagyobb relatív gyakorisággal előforduló frakció átlagos átmérője.

Egyenlőtlenlégi mutató (C_u): $C_u = d_{60}/d_{10}$, a 60 %-hoz ill. 10 %-hoz tartozó átmérők hányadosa (lásd x. ábra), mely egyebek mellett a talajok tömöríthetősége szempontjából fontos, megmutatja mennyire jól graduált az adott talaj vagy közethalmaz.



1. ábra: Szemeloszlási görbe

porozitás (n_p): a hézagok részaránya a szilárd részhez képest $n_p = V_p/V_s$ [%]

fajsúly: $\gamma = \rho \cdot g$ [kN/m^3]

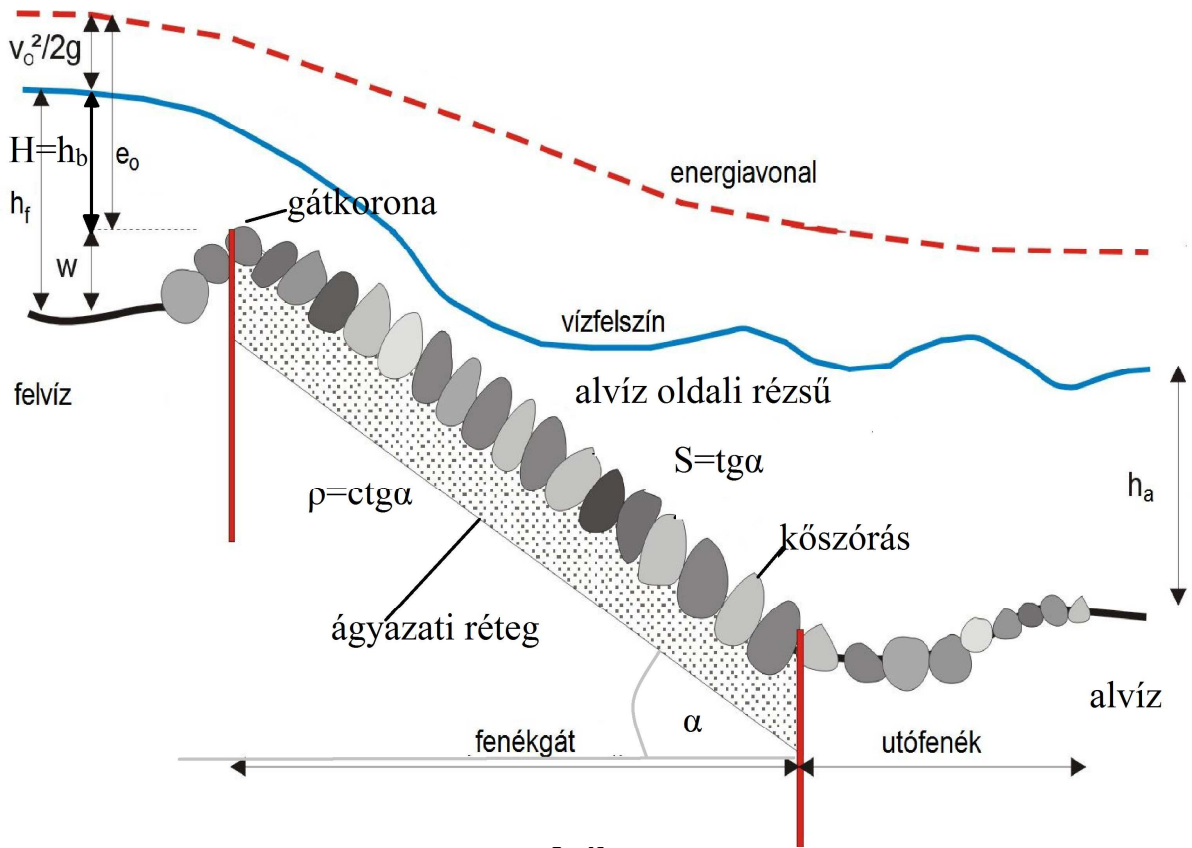
- A kőanyag fajsúlya: $G_s = 2,0\text{-}3,0 \text{ t/m}^3$
- A víz fajsúlya: $G_w = 1,00 \text{ t/m}^3$

Belső súrlódási szög (φ): a szemcsék közötti belső súrlódást fejezi ki.

Közepes vízhozam (KÖQ): valamely meghatározott időszakon belül mért adatok számtani közép értéke [m^3/s]

Fajlagos vízhozam (q): egységnyi hosszon időegység alatt átáramló vízmennyiség $q = \frac{Q}{L}$
 [m³/s/m]

Néhány további fogalmat az alábbi, 2. ábrán szemléltetnek:



2. ábra

Mederképző vízhozam: az a vízhozam, amelynél egy vizsgált hosszabb időszakban a legtöbb hordalékot szállítja a folyó, amely a meder alakulására a legnagyobb hatással van és kialakítja a stabil medret.

3. Reclamation's Dam Safety and Research and Technology Development Program módszere

3.1 Általános jellemzők

Amerikában a Colorado Egyetemen végzett kisminta kísérletek alapján különböző tervezési irányelveket határoztak meg a kutatók, amelyeket a későbbiekben tovább egyszerűsítettek. Az egyszerűsítéshez tartozott a C_u egyenlőtlenségi mutató alkalmazása, így csak három kőméretre volt szükség, D_{60} , D_{10} és a közepes kő méretre (D_{50}). Fontos tényezőként szerepelt még az alvízi rézsűhajlás, melynek kritikus értéke $S=0,25$ (1:4). Az amerikai módszer lényege a gát mértékadó kőméretének becslése. Ha a kő méretét túlbecsüljük, akkor az költségtöbbletet jelent, ha alul, akkor az a gát tönkremeneteléhez is vezethet. Éppen ezért szükség van egy megbízható módszerre, amelynek kifejlesztésére létrehozták a Reclamation's Dam Safety and Research and Technology Development Programot. A program során a kísérletek a kőméret és a rétegvastagság kapcsolatának szabályszerű leírására, valamint meredek rézsűn való alkalmazás esetére terjedtek ki.

A kísérletek során egy négyszög keresztmetszetű csatornába építették be a kőanyagot és vizsgálták az elmozdulását, miközben mérték a vízmélység, vízhozam, fajlagos vízhozam, sebesség adatokat, a kőszórás belsejében is. Ehhez a módszerhez viszonylag sok bemenő adatra van szükség, a hidrológiai és a gát paraméterein kívül a beépítendő anyag jellemző tulajdonságai is (pl. belső súrlódási szög) felhasználásra kerülnek a számításokban. A méretezés menetét a *Simplified design guidelines for riprap subjected to overtopping flow* című (Frizell et al, 1998.) cikkben szereplő példán szemléltetem. Azokat a jelöléseket alkalmazom, amelyek a cikkben már adottak, tehát ezért fordul elő, hogy nem mindenütt SI jelölést alkalmazok.

3.2. A szükséges adatok

A szükséges bemenő paraméterek a 2. pontban megadottakon túl:

- Közepes vízhozam: $KÖQ= 65 \text{ m}^3/\text{s}$
- A gát hossza: $L= 304,8 \text{ m}$
- Fajlagos vízhozam: $q= 0,213 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$
- A kőanyag belső súrlódási szöge: $\phi= 42^\circ$

- Gátkorona szélessége:	$W = 6,1 \text{ m}$
- Vízhozam tényező:	$C = 1,57 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$
- A gát alvíz oldali esése:	$S = 23\% = 0,23$
- A gát alvízoldali rézsűhajlása:	$\alpha = 13^\circ$
- Egyenlőtlenségi mutató:	$C_u = 1,95$
- Porozitás:	$n_p = 0,45$
- A kő fajsúlya:	$G_s = 2,65 \text{ t/m}^3$

A vízhozam, a gáthossz ismertek, a fajlagos hozamot a $q = \frac{Q}{L}$ képlettel számoljuk. A belső súrlódási szög a kő anyagától függ. Kavicsok esetén $37-42^\circ$ között lehet, de nagymértékben befolyásolja, hogy milyen közetről van szó. A gátkorona szélessége szintén adott. A vízhozamtényező a bukóképletből számolható, ebben az esetben adott volt. A gát rézsűhajlását is ismerjük. Az egyenlőtlenségi mutatóhoz, amely $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ képlettel számítható, a szemeloszlási görbe nyújt segítséget. A porozitás ismert, ahogy a kő és a víz fajsúlya is.

3.3 A tervezés lépései

Az amerikai módszer első lépése a gát fölötti átbukási magasság meghatározása:

$$Q = C \cdot L \cdot H^{3/2} \quad (1)$$

$$\text{ebből kifejezve } H = (Q/CL)^{2/3} = \left(\frac{65}{1,57 \cdot 304,8}\right)^{2/3} = 0,262 \text{ m}$$

Második lépésként a módszer leírásában, az idézett cikk 4. ábráján található diagram (3. ábra) alapján meghatároz egy D_{50} átmérőt, amelyhez szükség van az esés és a fajlagos vízhozam ismeretére. A diagramon az egyes görbék a kőgát tönkremenetelének kezdetét adják meg. Mivel a diagramon a szükséges esés ($S=0,23$) nem szerepel, a meglévő görbék között interpoláció szükséges.

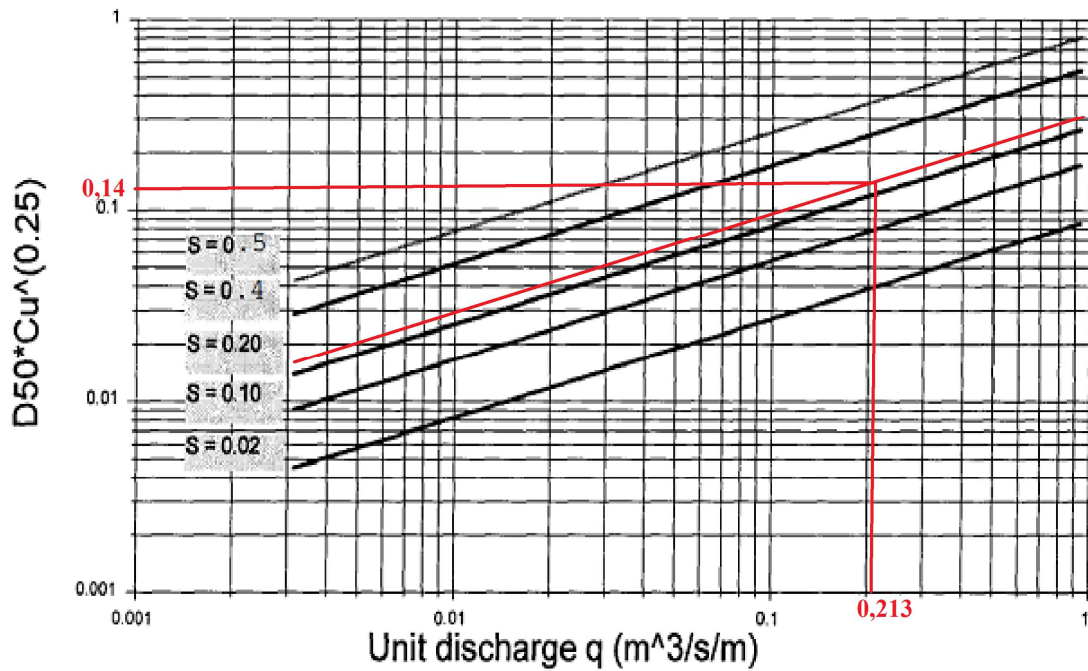


Figure 4. - Design curves to size riprap protection on embankments of various slopes. These curves represent the point of incipient failure as described previously. No safety factor has been included. (Fig4.wpd)

3. ábra

Az ábráról az alábbi paraméter kapható meg:

$$D_{50} \cdot C_u^{0,25} = 0,14 \quad (2)$$

melyből $D_{50} = 0,12$ m

A harmadik lépésként a kőszerkezeten belüli, belső sebesség meghatározása következik:

$$\frac{v_i}{\sqrt{(g \cdot D_{50})}} = 2,48 \cdot C_u^{-2,22} \cdot S^{0,58} \quad (3)$$

$$v_i = 2,48 \cdot (0,23)^{0,58} \cdot (1,95)^{-2,22} \cdot \sqrt{9,81 \cdot (0,12)} = 0,26 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Ebből átlagsebességet számol a porozitást felhasználva:

$$v_{ave} = v_i \cdot n_p = 0,26 \cdot 0,45 = 0,12 \frac{m}{s} \quad (4)$$

Negyedik lépésként meghatározza azt a fiktív mélységet, amely ha túl nagy, tönkremenetelre utal

$$y = \frac{q}{v_{ave}} = 1,78 \text{ m} \quad (5)$$

Majd leellenőrzi, ha ez az érték kevesebb mint $2 D_{50}$, akkor a teljes vízmennyiség a kőgát belsejében folyik át, így a méretezés kész, a kőszórás vastagsága $2 D_{50}$ lesz. Ha azonban ez nagyobb mint $2 D_{50}$, akkor az alvízoldalon, a gát felszínén is lesz vízmozgás, mely esetlegesen nagyobb kőméretet és rétegvastagságot igényel. Így a rézsűhajlás figyelembevételével, maximum $4 D_{50}$ a vastagság ami alkalmazható. A tapasztalatok szerint meredekebb rézsű esetén főként a gát belsejében folyik át a víz, míg laposabb rézsű esetén lesz a felszínen is mozgás. A módszer alapján, ha a rézsűhajlás kisebb mint 25%, akkor a következő lépés egy biztonságos áramlási mélység meghatározása, azonban ha nagyobb mint 25%, az utolsó lépés következik, ahol új D_{50} méretet kell választani.

$$y = 1,78 \text{ m} > 2 \cdot 0,12 = 0,24 \text{ m}$$

A példában nem felelt meg y értéke, és a rézsűhajlás is kisebb volt mint 25%, ezért a kritikus átbukási magasság meghatározása következik. Ez az a mélység, ami még lefolyhat a gát felületen anélkül, hogy kritikus nyírófeszültség keletkezését és ezzel a gát tönkremenetelét okozná.

$$0,97 \cdot h \cdot S = 0,06 \cdot (G_s - G_w) \cdot D_{50} \cdot \tan(\Phi) \quad (6)$$

Ebből h -t kifejezve és behelyettesítve:

$$h = \frac{0,06 \cdot (2,65 - 1,00) \cdot 0,12 \cdot 0,900}{0,97 \cdot 0,23} = 0,048 \text{ m}$$

A 6. lépésben kiszámítja a Manning-féle mederérdességi tényezőt:

$$n = 0,0414 \cdot D_{50}^{1/6} \quad (7)$$

$$n = 0,0414 \cdot 0,12^{1/6} = 0,029 \text{ s/m}^{1/3}$$

Ez után kiszámítja a gát felszínén átáramló víz q_1 fajlagos hozamát, majd azt a q_2 hozamot, ami ténylegesen a kövek között átáramlik.

$$q_1 = \frac{1}{n} \cdot h^{1,67} \cdot S^{1/2} = 0,10 \text{ m}^3/\text{s/m} \quad (8)$$

$$q_2 = q - q_1 = 0,213 - 0,10 = 0,11 \text{ m}^3/\text{s/m} \quad (9)$$

9. lépésben a kövek között áramló víz mélységének meghatározása történik. Az itt kapott érték, ha nagyobb mint $4D_{50}$, tovább kell növelni az átmérőt. Iterálni kell egészen addig, amíg olyan eredményt nem kapunk, ami megfelel a kritériumnak, tehát kisebb lesz mint $4D_{50}$.

$$h_2 = \frac{q_2}{v_{\text{ave}}} = 0,92 \text{ m} > 4D_{50} = 0,48 \text{ m} \quad (10)$$

A módszer összefoglalt eredményeit a következő táblázat tartalmazza:

Step	Parameter	1 st iteration $D_{50} = 0.13 \text{ m}$		2 nd iteration $D_{50} = 0.14 \text{ m}$		3 rd iteration $D_{50} = 0.154 \text{ m}$	
		Value	Comments	Value	Comments	Value	Comments
5	$h \text{ (m)}$	0.052		0.056		0.062	
6	n	0.029		0.03		0.03	
7	$q_1 \text{ (m}^3/\text{s/m)}$	0.117		0.13		0.152	
8	$q_2 \text{ (m}^3/\text{s/m)}$	0.096		0.083		0.061	
9	$v_1 \text{ (m/s)}$	0.271	use Step 3	0.281	use Step 3	0.295	use Step 3
	$v_{\text{ave}} \text{ (m/s)}$	0.122	use Step 3	0.13	use Step 3	0.133	use Step 3
	$h_2 \text{ (m)}$	0.786	$>4D_{50} = 0.52$	0.638	$>4D_{50} = 0.56$	0.466	$<4D_{50} = 0.62$

Tehát az eredmény a megfelelő átmérőre: $D_{50} = 0,154 \text{ m}$

A gát alá egy jól graduált ágyazati réteget kell fektetni, vagy ha ez nem áll rendelkezésre, akkor geotextíliát kell alkalmazni. Az eljárás során a közepes kőméretet becsültk meg, amelynek beépítési vastagsága a közepes kőméret kétszeresétől ($2D_{50}$) a négyszereséig terjedhet ($4D_{50}$). Az eljárásban nem vesznek figyelembe biztonsági tényezőt, ennek alkalmazását speciális esetekben a tervezőre bízzák.

4. Rauhe Rampen in Fließgewässern

4.1 Általános jellemzők:

Napjainkban is egyre fontosabb, hogy a tervezett műtárgy esztétikus és tájbailleszthető legyen, ha lehet minél természetközelibb kialakítással, amely az ökológiai állapotokat kevésbé befolyásolja, ugyanakkor stabilitási tulajdonságaiban is megfelel az elvárásoknak. Az európai módszerben is erre próbáltak törekedni, ezért egyre gyakrabban terveznek, esetleg építenek át, vagy állítanak helyre gátakat kőszórással. A németek különös figyelmet fordítanak az átjárhatóságra, mind a hallépcsők építésének tekintetében, mind pedig abban, hogy eleve átjárható legyen a tervezett mű, nemcsak a halak számára, más élőlények is át tudjanak jutni rajta. A Stuttgarti és a Karlsruhei Egyetem kutatói vizsgálták a kőművek hatásait, pozitív tulajdonságait. Az energiatörés és a hajózásra gyakorolt pozitív hatás mellett a kőművek alkalmazása a vízminőséget is javíthatja, elősegítve az oxigén elkeveredését, továbbá biztosítja az átjárhatóságot a különböző élőlények számára. A német tervezési eljárást modell vizsgálatok és korábbi tapasztalatok alapján fejlesztették ki, ill. a III. szabályozási osztályba tartozó vizekre alkalmazták, bizonyos egyszerűsítések bevezetésével pl. négyszög keresztprofil alkalmazása.

A tervezésnek három szakasza van. Az első annak bizonyítása, hogy a meder képes a mértékadó HQ_{100} (100 éves visszatérési idejű) hozam elszállítására, a második annak a maximális hozamnak a meghatározása, amit elbír a szerkezet, végül a szükséges szemeloszlás megtervezése.

Ez az eljárás egy egyenértékű kőátmérővel dolgozik, majd meghatároz egy kritikus fajlagos hozamot, amihez viszonyítva határozza meg, hogy állékony marad-e a szerkezet vagy sem, és milyen szemeloszlás mellett. Az eljárást a Karlsruhei Egyetem *Rauhe Rampen in Fließgewässern* című oktatási segédletében leírt példán szemléltetem. Jelen példában is a forrásmű eredeti jelöléseit alkalmazom.

4.2 Szükséges adatok:

- | | |
|-------------------------------|---|
| - meder simasági együtthatója | $k_{st} = 25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ |
| - mederszélesség | $b_s = 10 \text{ m}$ |
| - átlagos mederesés | $I_s = 0,3\%$ |
| - jellemző vízhozamok: | $MQ = KÖQ = 17,2 \text{ m}^3/\text{s}$ |
| | $HQ_{100} = Q_{1\%} = 115 \text{ m}^3/\text{s}$ |

- a gátra vonatkozó adatok:

- teljes magasság	$h_R=1,50$ m
- rézsúhajlás (alvizi)	$I_R= 1:15$
- szélessége	$b_R= 10$ m
- hossza	$L= 40$ m
- a kő sűrűsége	$\rho_s= 2000$ kg/m ³
65%-hoz tartozó szemátmérő	$d_{65}= 0,4$ m

4.3 A tervezés lépései:

a, Az első lépésben annak bizonyítását végzi, hogy a meder képes a mértékadó HQ_{100} hozam elszállítására.

Erre két lehetőség van:

1. eset, átbukás nélkül:

- feltételezi, hogy a vízmozgás permanens és teljes hosszban áramló
- kiszámítja az Raudkivi-féle érdességet

Ehhez először választ egy egyenérték átmérőt, d_s , amelyet a $d_{65} = \frac{d_s}{1,06}$ képletből

számol:

$$d_s = 1,06 \cdot d_{65} = 0,424 \text{ m} \quad (11)$$

Ezután a gát simaságát határozza meg külön a szórt:

$$k_{st,R} = \frac{21}{d_{65}^{1/6}} = 24,465 \text{ m}^{1/3}/\text{s} \quad (12)$$

ill. a rakott kőművekre:

$$k_{st,R} = \frac{15,5}{d_{65}^{1/6}} = 18,057 \text{ m}^{1/3}/\text{s} \quad (13)$$

- meghatározza a vízszint helyzetét a Chezy-féle képlettel.

Ezek alapján egy adott mélységhez Q vízhozam számítható, vagy ha a hozamot ismerjük, akkor a hozzá tartozó vízmélység. Ebből kijön egy sebesség érték.

Abban az esetben azonban, mikor a vízmozgás rohanó, akkor ez a lehetőség nem alkalmazható.

2. eset, átbukással:

- átmenet áramló vízmozgásból rohanóba, a koronán éppen kritikus állapottal
- kiszámítja a koronán átbukó vízhozamot Knauss szerint

A számítás részletei:

1. Kiszámít egy fajlagos vízhozamot:

$$q_{R,ist} = \frac{BHQ}{b_R} = 11,5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m} \quad (14)$$

2. A jellemző energiamagasság kiszámítása:

$$H_{E1} = y_{ow} - w + \frac{v_{ow}^2}{2 \cdot g} = 3,57 \text{ m} \quad (15)$$

A képletben $y_{ow}=h_{cr}$ azaz egyenlő a kritikus vízmélységgel, így $y_{ow} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$ képletből

számítható, értéke $y_{ow} = 2,38 \text{ m}$. A sebesség számítható a $v = \frac{q}{y_{ow}}$ képlettel, $v = 4,83$

m/s. A képletben található w értéke, ami a felvízoldalon a gát magassága, elhanyagolhatónak tekinthető, a kőszarrantó méretezése során $w = 0 \text{ m}$ -nek vettem fel.

3. A kőméretre vonatkoztatott Froude-szám (Fr_s) kiszámítása:

$$Fr_s = \frac{q_R}{\sqrt{g} \cdot d_s^{3/2}} = 13,30 \quad (16)$$

majd ez alapján a vízhozam tényező meghatározása (c_q):

- ha $Fr_s \leq 4$ a képlet:

$$c_q = 0,474 + \frac{5,098 \cdot Fr_s}{120 + 6,295 \cdot Fr_s^2} \quad (17)$$

- ha $Fr_s > 4$, akkor $c_q = 0,566$

Ebben az esetben $Fr_s = 13,30$, tehát nagyobb mint 4, ezért $c_q = 0,566$ értéket használom a továbbiakban.

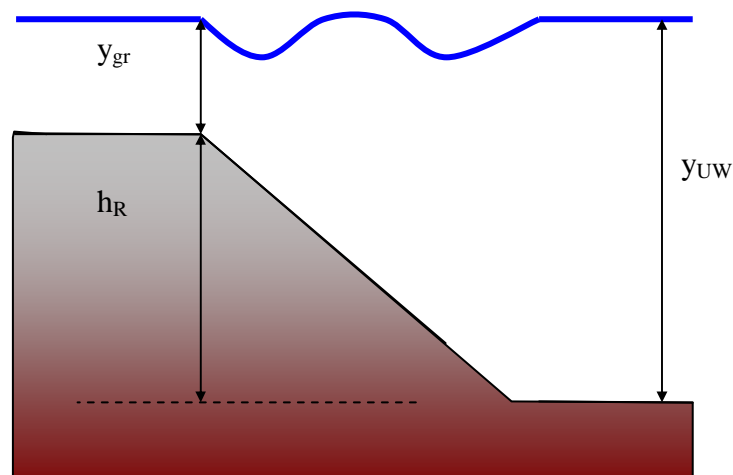
4. A gáton ténylegesen átbukó fajlagos hozam számítása a bukóképlettel:

$$q_R = c_q \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot H_{El}^{3/2} = 11,27 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m} \quad (18)$$

5. Ellenőrzés: $q_{R,ist} \leq q_R$.

Ha kisebb, akkor bizonyítottuk, hogy képes a mértékadó hozam elszállítására. Ha nem felel meg ennek a kritériumnak, akkor az azt jelenti, hogy a gát túl keskeny, az érkező hozamot nem tudja a megadott feltételekkel elszállítani. Így fel kell vennünk egy új gátszélességet és előlről kezdeni a számítást. A felhasznált adatokkal a $q_{R,ist} = 11,5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m} > q_R = 11,27 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$, tehát nagyobb gátszélességet kell választani. A gát szélessége $w = 0 \text{ m}$ –es érték mellett 11 m-re adódott, tehát a szükséges méret $b_R = 11 \text{ m}$.

b, A méretezés második lépése a kömű maximális igénybevételéhez tartozó mértékadó vízhozam meghatározása. BQ mértékadó hozam felső határának megállapításához feltételezik, hogy a gátkoronán kialakuló mélység az alvízi mélységgel egyezik meg $y_{UW} = h_R + y_{gr}$ (4. ábra)



4. ábra

A számítás:

1. Vízhozamgörbe (Q-y kapcsolat) meghatározása az alvízi mederre.
2. A koronán előálló kritikus mélység iterálása.

3. Interpolációs pontok számítása a görbén: $Q = f(y_{gr} + h_R)$, hozzáadjuk h_R értékét a 2. lépésben meghatározott y_{gr} értékhez.

4. Az egyenlet grafikus megoldása.

A Q - y és a $y_{gr} + h_R$ összefüggéseket ábrázoljuk. A két egyenes egy pontban metszi egymást (5. ábra), a pont koordinátái adják a keresett BQ mértékadó hozamot. Ebből számítható:

$$v_R = \frac{Q_0}{A} = \frac{68}{y_{gr} \cdot b_R} = \frac{68}{16,8} = 4,04 \text{ m/s} \quad (19)$$

$$Fr = \frac{v_R}{\sqrt{g \cdot y_R}} = \frac{4,04}{4,05} \approx 1 \quad (20)$$

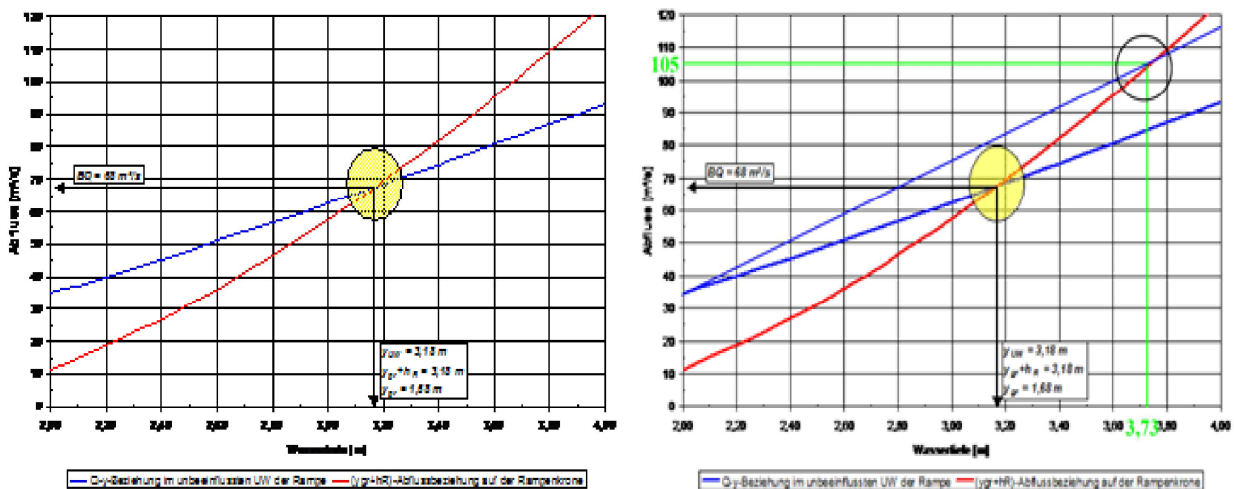
Ha nem metszik egymást a görbék, vagy irreálisan magas BQ-t kapnánk, akkor a más úton meghatározott mederképző vízhozamot feltételezhetjük.

Ha Froude-számmal ellenőrizzük, akkor 1-hez közeli értéket kell kapnunk, mert kritikus vízmozgást feltételeztünk.

A példában $y_{uw} = 1,5 + 1,68 = 3,18$ m. Azonban az új $b_R = 11$ m értékkel ez változik, mivel változik a kritikus mélység értéke is $y_{gr} = 2,23$ m, így

$y_{uw} = 1,5 + 2,23 = 3,73$ m. Ezekhez az értékekhez tartozó sebesség

$$v_R = \frac{Q_0}{A} = \frac{105}{y_{gr} \cdot b_R} = \frac{105}{22,3} = 4,71 \text{ m/s} \text{ és a Froude szám } Fr = \frac{v_R}{\sqrt{g \cdot y_R}} = \frac{4,71}{4,68} \approx 1.$$



5.ábra

c. A harmadik lépés a szórt kőmű méretezése.

1. A sűrűség, az esés és az egyenértékű kőátmérő ismeretében kiszámítunk egy kritikus fajlagos hozamot, ez az az érték, amelynél a kőszórás még éppen stabil marad.

$$q_{\text{crit}} = 0,257 \cdot \sqrt{\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}} \cdot \sqrt{g \cdot d_{65}^3} \cdot I_R^{-7/6} = 4,797 \text{ m}^3/\text{s/m} \quad (21)$$

2. A fenti összefüggést modell kísérletek alapján kapták. Az itt alkalmazott tömör kőszórásnál a valós kőszórás kevésbé állékony, a bizonytalanság miatt a maximális megengedhető fajlagos vízhozamot 20%-kal csökkenteni kell.

$$q_{\text{max}} = 0,8 \cdot q_{\text{crit}} = 3,838 \text{ m}^3/\text{s/m} \quad (22)$$

A következő lépésben a tényleges gáton átáramló hozamot határozzuk meg (az 5. ábráról).

$$q_{\text{ist}} = \frac{BQ}{b_R} = \frac{68}{10} = 6,8 \text{ m}^3/\text{s/m} \quad (23)$$

$$q_{\text{ist}} = \frac{BQ}{b_R} = \frac{105}{11} = 10,45 \text{ m}^3/\text{s/m}$$

Ezután a 4. lépésben bizonyítani kell a kőmű stabilitását. Ha a tényleges hozam kisebb, mint a maximális, akkor a 5. lépéssel folytathatjuk, ha viszont nagyobb, akkor választanunk kell egy másik egyenértékű kőátmérőt és az *a*, rész 2. lépéstől újra elvégezni a számítást. A példában is és saját számításaim során is nagyobb értéket kaptam, mint a maximálisan megengedhető hozam. Az új átmérő $d_s = 0,84 \text{ m}$ ehhez tartozó kritikus hozam $q_{\text{crit}} = 13,31 \text{ m}^3/\text{s/m}$, $q_{\text{max}} = 10,65 \text{ m}^3/\text{s/m}$, ez az érték már nagyobb, mint a tényleges, tehát folytathatjuk a számítást a következő lépéssel.

A kőszórás vastagsága legalább az egyenértékű átmérő kétszerese kell, hogy legyen $t \geq 2d_s$

Az ötödik lépésben a szükséges kötőanyag meghatározását végezzük, mekkora annak a kőnek a tömege, amit nem visz el a víz.

A régi d_s -el számítva:

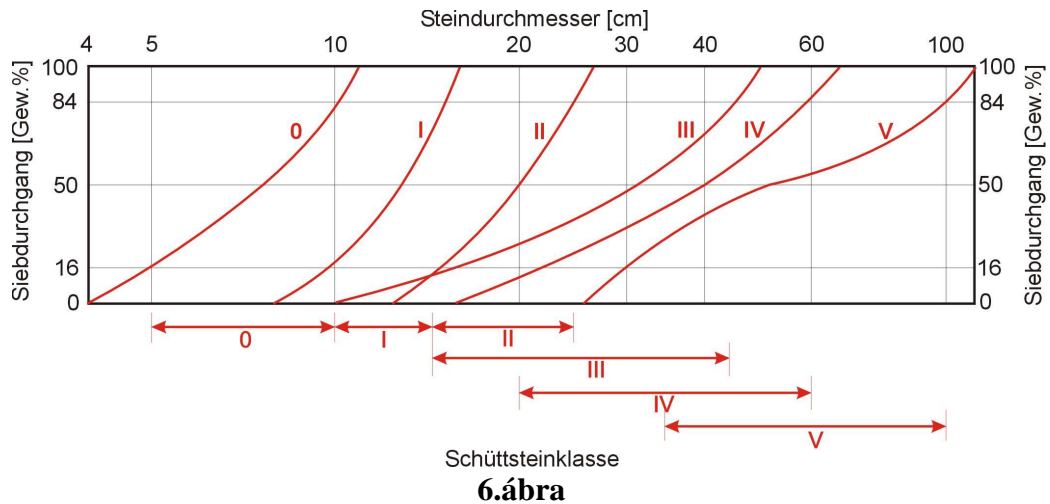
$$m_s = \frac{\rho_s \cdot \pi \cdot d_s^3}{6} = 79,82 \text{ kg} \quad (24)$$

Az új választott $d_s = 0,84 \text{ m}$ -el számítva $m_s \approx 620 \text{ kg}$

Utolsó lépés a német előírások szerinti kőosztály becslése. Itt kiszámítjuk d_{50} értékét, megkeressük a szemeloszlási görbén (6. ábra), majd meghatározzuk melyik osztályba tartozik.

$$d_{50} = \frac{d_s}{1,25} = 0,67 \text{ m} \quad (25)$$

$D_{50}=0,67 \text{ m}$ és a V. kőosztályba tartozik.



5. Összehasonlítás

A német számítási eljárás során rendelkezésre álló adatokat behelyettesítettem az amerikai módszerbe. A hiányzó paramétereket, becsléssel, táblázatokból, vagy számítással határoztam meg.

Paraméterek	Amerikai	Német
Q [m ³ /s] (KÖQ)	65	17.2
L [m]	304.8	10
q [m ³ /s/m]	0.213	1.720
φ [°]	42	40
W [m]	6.1	
C [m ^{1/2} /s]	1.57	1.772
S	0.23	0.0667
α [°]	13	
Cu [-]	1.95	2.533
n _p [-]	0.45	0.41
G _s [g/cm ³]	2.65	2
G _w [g/cm ³]	1	1
d _{eq}	d ₅₀	d _s =1.06*d ₆₅
k [m ^{1/3} /s]	n	szórt= 21/d ₆₅ ^{1/6}
		rakott=15.5/d ₆₅ ^{1/6}
H [m]		1.5

Ahogy az elején már részleteztem, az első lépés az átbukási magasság meghatározása, amelyhez szükség van egy C vízhozamtényezőre. A német módszerben nem állt rendelkezésre ez az adat, ezért itt számítani kellett az értékét a $C = \frac{2}{3} \mu \cdot \sqrt{2g}$ képlet alapján.

Ehhez azonban még szükség volt a μ értékére. A *Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK) Fish passes – Design, dimensions and monitoring* című anyagában találtam ajánlást μ értékére, amely 0,5-0,6 szögletesebb köveknél, 0,6-0,8 közötti érték

kerekesebb köveknél. Számításaim során 0,6-nak vettem μ értékét, ez jól egyezik a német módszerben az adott gátra számított $c_q = 0.566$ -tal. Miután behelyettesítettem a vízhozamtényező képletébe, $C=1,772 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ értéket kaptam. Az amerikai módszerben $C=1,57 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ volt, de elsősorban nem a vízhozamtényező befolyásolja az eredményeket.

Miután a kapott vízhozamtényező értékét is visszahelyettesítettem az átbukási magasság meghatározásának képletébe, $H=0,98 \text{ m}$ értéket kaptam.

A második lépés a közepes kőméret meghatározása, ehhez az 3. ábra görbéit használtam fel. A német adatoknak megfelelő görbe egyenlete a következő:

$$D_{50} * C_u^{0,25} = 0,19$$

Az egyenlet átrendezése után $D_{50}=0,151 \text{ m}$.

Következő lépés a sebességek meghatározása. A behelyettesítések eredménye: $v_1=0,08 \text{ m/s}$ és $v_{ave}=0,033 \text{ m/s}$. A nagyságrenddel kisebb sebességeknek valószínűleg a kisebb rézsű hajlás az oka, az amerikaiak meredek rézsűn kísérleteztek (1:4-es hajlás), míg a németek 1:15 rézsűhajlást alkalmaztak. Ennek megfelelően várható, hogy a gát felszínén lefolyó vízmennyiség lesz a nagyobb. Az egyenlőtlenségi mutató is nagyobb mint az amerikai módszernél, tehát jobban graduált a második esetben alkalmazott kőanyag.

A negyedik lépés a tönkremenetel pillanatában a mélység meghatározása $y=52,177\text{m}$, amely nyilvánvalóan lényegesen nagyobb mint $2D_{50}$. Ez valószínűleg a laposabb alvíz oldali rézsűnek köszönhető. Tehát ezután annak a mélységnek a meghatározása következik, amely nem okoz kritikus nyírófeszültséget a felületen való átáramlás során. Ehhez szükség van a kő és a víz fajsúlyára, a német módszernél kisebb a kő fajsúlyja mint az amerikaiban, ill. egy fontos tényezőre a belső súrlódási szögre (φ). Behelyettesítés után $h=0,117 \text{ m}$. A φ -t a német módszerben nem veszik figyelembe, azonban a szög változtatásával a későbbi eredményekben aránylag nagy különbségek is lehetnek. *Gálos Miklós – Vásárhelyi Balázs Köztestek osztályozása az építőmérnöki gyakorlatban* című könyvének egyik részlete alapján először a belső súrlódási szöget 37° -nak választottam, ez az érték volt, ami a megadott összes közettípusnak megfelelt, tehát egy általános értéknek jó. 37° -os belső súrlódási szög mellett 0,60 m-es kőátmérőre lenne szükség. Azonban ha növeljük a belső súrlódási szög értékét, változik a h , q_1 , q_2 , h_2 érték és kisebb kőméret is alkalmazható pl. 45° -os φ esetén a szükséges kőméret 0,45 m. *Dr. Kovács Miklós: Földművek, támfalak tervezése és építése* című előadása alapján a zúzott kövek belső súrlódási szöge 40° , végül ezzel az értékkel számoltam tovább. Az alkalmazott kőanyag tulajdonságai tehát nagymértékben befolyásolják a méretezést.

A hatodik lépés a Manning-féle mederérdességi tényező meghatározása. A német módszerben a simasági tényezőt használták, attól függően, hogy szórt vagy rakott kőműről van szó. A mederérdességi tényező tehát többféleképpen számítható: $n = \frac{1}{k}$ ill. az amerikai módszerben alkalmazott $n = 0,0414 * D_{50}^{1/6}$ képlettel. Mindkét esetet kipróbáltam.

$$\text{Rakott kőműveknél } k_{st,R} = 18,94 \text{ m}^{1/3} / \text{s}, \quad n = \frac{1}{k_{st,R}} = 0,0528 \text{ s/m}^{1/3}$$

$$\text{Szórt kőműveknél: } k_{st,R} = 25,67 \text{ m}^{1/3} / \text{s}, \quad n = \frac{1}{k_{st,R}} = 0,0390 \text{ s/m}^{1/3}$$

$$n = 0,0414 * D_{50}^{1/6} \text{ képletbe helyettesítve} \quad \mathbf{n=0,03 \text{ s/m}^{1/3}}$$

Így a szükséges kőméret szórt kőműveknél 61 cm, rakott kőműveknél ez az érték 71 cm-re adódott $\varphi=37^\circ$ mellett. Ha $\varphi=45^\circ$, akkor szórt esetén 47 cm, rakott kőmű esetén 55 cm az átmérőre kapott érték. A továbbiakban a módszerrel meghatározott képlet alapján számított értéket használtam fel, mivel ebben D_{50} -re van szükség, míg a német esetben D_{65} kell a k értékek kiszámításához.

A 7-8. lépés a gát felszínén átáramló és a gáton keresztül folyó vízhozam meghatározása.

$$\mathbf{q_1=0,238 \text{ m}^3/\text{s/m} \text{ és } q_2=1,482 \text{ m}^3/\text{s/m}}$$

Utolsó előtti lépésként a kövek között áramló víz mélységét határozzuk meg, melynek értéke kisebb kell hogy legyen, mint $4D_{50}$.

$$\mathbf{h_2=44,95 \text{ m} > 4D_{50} = 0,602 \text{ m}}$$

Utolsó lépésként iterálás következik, nagyobb kőméretet választunk.

A szükséges kőméret $D_{50} = 0,54 \text{ m}$, az ezzel az értékkel számított eredményeket a következő táblázat tartalmazza:

	Amerikai	Német
H [m]	0.264	0.980
D_{50} [m]	0.12	0.54
$2D_{50}$ [m]	0.24	1.08
$4D_{50}$ [m]	0.47	2.16
v_i [m/s]	0.26	0.15
v_{ave} [m/s]	0.12	0.06
y [m]	1.78	27.55
h [m]	0.048	0.42
n [s/m ^{1/3}]	0.029	0.037
q_1 [m ³ /s/m]	0.10	1.62
q_2 [m ³ /s/m]	0.11	0.10
h_2 [m]	0.92	1.52

Alapvető különbség van a két módszer adatigényében, az európai módszerben a 100 éves előfordulási valószínűségű hozamot, míg az amerikaiak a közepes vízhozam értékét használják fel a fajlagos hozamok számítására. Nem okoz jelentős különbséget, de az egyik módszerben a mederérdességi tényező, míg a másikban a simasági tényező kerül alkalmazásra. A német módszerben egyenértékű átmérőt alkalmaz és később ebből határozza meg a szemeloszlást, az amerikaiak ennek leírására az egyenlőtlenességi mutatót használják. Mindkét esetben az alkalmazható minimális kőszórás vastagság a közepes kőméret kétszerese, $2D_{50}$.

Összefoglalva a két módszer eredményei között nincs nagy különbség, tehát hasonlóak, hasonló eredményre vezetnek. Az amerikai módszer azonban részletesebben figyelembe veszi az alkalmazott anyag tulajdonságait. A német ezzel szemben elsősorban a hidrológiára és a hidraulikára hagyatkozik.

6. A két módszer alkalmazása egy tervezett hazai műre:

Ebben a pontban ellenőrzöm, hogy a Mosoni-Dunán tervezett mű megfelel-e az egyes eljárások alapján.

6.1. A kógát méretezéséhez rendelkezésre álló adatok:

Vízhozamok a Mosoni-Dunán

Kisvíz	$KQ = 17.7 \text{ m}^3/\text{s}$
Középvíz	$KöQ = 87.7 \text{ m}^3/\text{s}$
1%-os nagyvíz	$NQ_{1\%} = 730 \text{ m}^3/\text{s}$
Dunai MÁSZ esetén érkező hozam	$Q_{MÁSZ} = 300 \text{ m}^3/\text{s}$

Vízszintek a Mosoni-Duna torkolata környezetében

Tervezett duzzasztási szint	$DV = 109.00 \text{ m B.f.}$
Mosoni-dunai $NQ_{1\%}$ -hoz tartozó dunai szint	$Z_{20\%} = 112.97 \text{ m B.f.}$
Mértékadó árvízszint	$MÁSZ = 114.73 \text{ m B.f.}$
Kisvíz a Dunán	$KV = 105.91 \text{ m B.f.}$

Kógát fő méretei

A gát szélessége	$b = 40 \text{ m}$
A gát esése	$S = 1:15 = 0.0667$
Felvízi fenékszint	$Z_{ff} = 105.50 \text{ m B.f.}$
Alvízi fenékszint	$Z_{fa} = 104.40 \text{ m B.f.}$
A gát koronaszintje	$Z_k = 107.80 \text{ m B.f.}$
A gát magassága az alvízi fenék fölött	$M = Z_k - Z_{fa} = 3.4 \text{ m}$
A gát hossza	$L = M/S = 51 \text{ m}$
A gát magassága a felvízi fenék fölött (bukó magassága)	$w = Z_k - Z_{ff} = 2.3 \text{ m}$
Felvízi mélység DV esetén	$h_f = DV - Z_{ff} = 3.5 \text{ m}$
Alvízi mélység KV esetén	$h_a = KV - Z_{fa} = 1.51 \text{ m}$

A kőanyag jellemzői

egyenértékű kőátmérő	$d_s = 0.4 \text{ m}$
64%-os kőátmérő	$d_{64} = d_s/1.06 = 0.38 \text{ m}$
50%-os kőátmérő	$d_{50} = d_s/1.25 = 0.32 \text{ m}$
Kőanyag becsült sűrűsége	$\rho_{k\acute{o}} = 2600 \text{ kg/m}^3$

6.2. AMERIKAI – MAGYAR:

Először az amerikai módszer szerint ellenőrzöm a tervezett kőművet. A 3. pontban már ismertettem a módszer lényegét, ebben a pontban csak az új adatok behelyettesítésével kapott eredményeket szemléltetem.

Először meghatároztam azoknak a hiányzó adatoknak az értékét, amelyek bemeneti paraméterként szükségesek a további számításokhoz. Ilyen adat például a fajlagos vízhozam $q=2,19 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$, melyet a Mosoni-Duna közepes vízhozamából számítottam. A vízhozamtényező a felvett $\mu=0,6$ értékkel $C=1,772$. Az egyenlőtlenségi mutató ($C_u= 2,4$) értékéhez szükséges $d_{60}= 36 \text{ cm}$ és $d_{10}= 15 \text{ cm}$ szemátmérőket a kőanyag jellemzőinél adott d_{50} és d_{65} értékeket felhasználva interpoláltam, de ha a német eljárásból rendelkezésre álló szemeloszlási görbékről olvastam volna le, azzal a feltételezéssel, hogy a III. kőzet osztályba tartozik a vizsgált közethalmaz, akkor is ezeket az értékeket kaptam volna.

Miután már minden szükséges adatot ismerek, meghatározom az átbukási magasságot $H=1,15 \text{ m}$. Itt már van egy adott D_{50} közepes szemátmérő, azonban ez az egyenérték átmérőből van számolva. A továbbiakban az amerikai módszernek megfelelően a rézsűhajlás és a fajlagos vízhozam ismeretében határozom meg annak a görbének az egyenletét (1. ábra), amelyből kifejezem a szükséges D_{50} értéket $D_{50} * C_u^{0,25} = 0,23 \rightarrow D_{50}=0,185 \text{ m}$.

Ezek alapján a sebességek: $v_i= 0,099 \text{ m/s}$ és $v_{ave}= 0,042 \text{ m/s}$. A tönkremenetel pillanatában előálló mélység $y= 52,743 \text{ m}$ lenne, amely egy elméleti tájékoztató jellegű érték, a kritikus nyírófeszültséget még nem okozó mélység $h= 0,207 \text{ m}$. Ennél az összehasonlításnál $\varphi= 37^\circ$ -os belső súrlódási szöggel számoltam. A Manning-féle mederérdességi tényező $n=0,031 \text{ s}/\text{m}^{1/3}$. Következő lépésként a gát felszínén $q_1= 0,59 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ és a gáton átáramló $q_2= 1,6 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ vízhozamokat számítottam ki. A kövek között kialakuló mélység $h_2= 38,46 \text{ m}$ lenne, a maximális $4D_{50}$ és $2D_{50}$ közötti érték helyett.

Egyértelműen nagyobb kőméret választása szükséges. Az iteráció elvégzése után a szükséges közepes kőméret $D_{50}= 0,43 \text{ m}$, amelyhez tartozó jellemző értékeket a következő táblázat tartalmazza:

	Amerikai	Magyar
H [m]	0.264	1.153
D ₅₀ [m]	0.12	0.43
2D ₅₀ [m]	0.24	0.86
4D ₅₀ [m]	0.47	1.72
v _i [m/s]	0.26	0.15
v _{ave} [m/s]	0.12	0.06
y [m]	1.78	34.58
h [m]	0.048	0.48
n	0.029	0.036
q ₁ [m ³ /s/m]	0.10	2.11
q ₂ [m ³ /s/m]	0.11	0.08
h ₂ [m]	0.92	1.24

6.3. NÉMET – MAGYAR:

Dr. Csoma Rózsa korábban elvégzett számításait használtam föl az összehasonlítás során. A német eljárás alapján, először egyenérték átmérőt választunk $d_s=0,4$ m, ebből kiszámítható $d_{65} = \frac{d_s}{1,06} = 0,38$ m és $d_{50} = \frac{d_s}{1,25} = 0,32$ m értéke. Laza, szórt kőgát kialakítással méretezzük a művet.

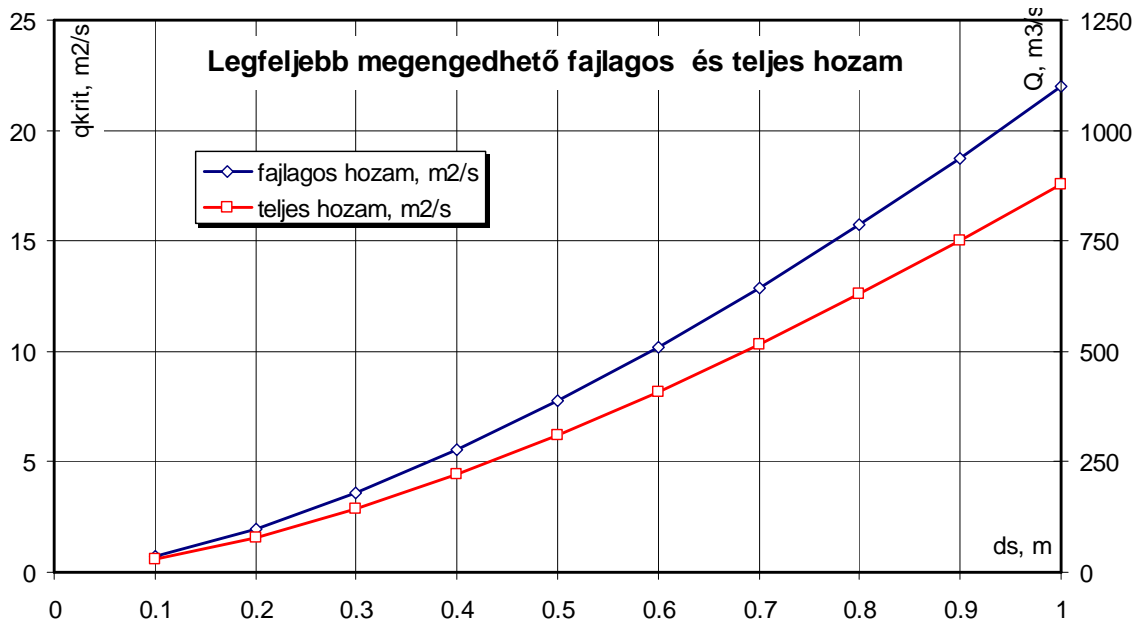
I. A kőszórás stabilitásának vizsgálata:

Mielőtt a számítást elkezdenénk, feltételezzük, hogy: a gáton átbukó hozam éppen kritikus vízmozgással vonul le, és a kő helyettesítő átmérője gömb alakú. Meghatározunk egy kritikus fajlagos hozam és egy kritikus vízhozam értéket, melyeknél még nem lép fel erózió, amely károsítaná a szerkezetet.

$$q_{\text{crit}} = 0,257 \cdot \sqrt{\frac{\rho_s - \rho_w \cdot g \cdot d_{65}^3}{\rho_w}} \cdot S^{-7/6} = 5,56 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Q_{\text{krit}} = b \cdot q_{\text{krit}} = 222,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

Egyéb kőméretek esetén a 7. ábráról is le tudjuk olvasni a jellemző vízhozamokat.



7. ábra

Megvizsgáljuk az egyes kövek stabilitását, elvégezzük az egyedi elemek stabilitás vizsgálatát.

Ehhez további feltételezésekkel élünk:

- az egyedi kő a kőszórásba félig be van fogva
- a kiálló részre a közegellenállási erő hat, melynek hatásvonalja vízszintes és támadáspontja a kiálló rész felében (azaz a kőméret negyedében) van
- a lehetséges elbillenés az alvíz oldal felé következik be
- az ellenállás az egyes kövek vízalatti súlyának nyomatókaiból áll elő

Ezek után az első lépés a kritikus mélység és sebesség meghatározása következik:

$$h_{kr} = \sqrt[3]{\frac{q_{krit}^2}{g}} = 1,47 \text{ m és } v_{kr} = \sqrt{g \cdot h_{kr}} = 3,79 \text{ m/s}$$

Majd kiszámítjuk a közegellenállási erőt a következő képlettel

$$F = c_w \cdot \rho_w \cdot A_a \cdot v_{kr}^2 = 602,4 \text{ N}$$

ahol:

c_w : a közegellenállási tényező $c_w = 0,5$ [-]

ρ_w : a víz sűrűsége $\rho_w = 1000$ [kg/m³]

A_d : az áramlásba érő, a sebességre merőleges felület [m²]

$$\text{kiszámítása: } A_d = \frac{d_s^2 \cdot \pi}{6} = 0,0838 \text{ m}^2$$

v_{kr} : a kritikus sebesség

3. lépésként számítjuk F erő karját: $k_F = \frac{d_s}{4} = 0,1 \text{ m}$.

Így az erő és az erőkar ismeretében meg tudjuk határozni mekkora elbillentő nyomaték hat az elemre. $M_F = F \cdot k_F = 60,24 \text{ Nm}$.

Ezután az egyes elemek ellenállását vizsgáljuk, ehhez kiszámítjuk az elemek víz alatti súlyát, utána a hozzá tartozó erőkart, végül pedig a kettő szorzataként megkapjuk a stabilizáló nyomaték értékét.

$$G' = (\rho_{kő} - \rho_w) \cdot g \cdot \frac{d_s^3 \cdot \pi}{6} = 526,0 \text{ N} \quad k_G = \frac{d_s}{2} = 0,2 \text{ m}$$

$$M_G = G' \cdot k_G = 105,2 \text{ Nm}$$

Végül összehasonlítjuk az elbillentő és a stabilizáló nyomaték értékeit, kiszámítjuk a biztonságot, ha a két érték hányadosa nagyobb mint 1, akkor megfelel, tehát stabil marad a kő.

$$n = \frac{M_G}{M_F} = 1,75 > 1, \text{ tehát megfelel.}$$

II. A kőszurrantó vízszállítása és átbukás a gátkoronán:

Négyszög szelvénnel közelítjük a medret. Számolok egy fajlagos hozamot és egy kritikus mélységet.

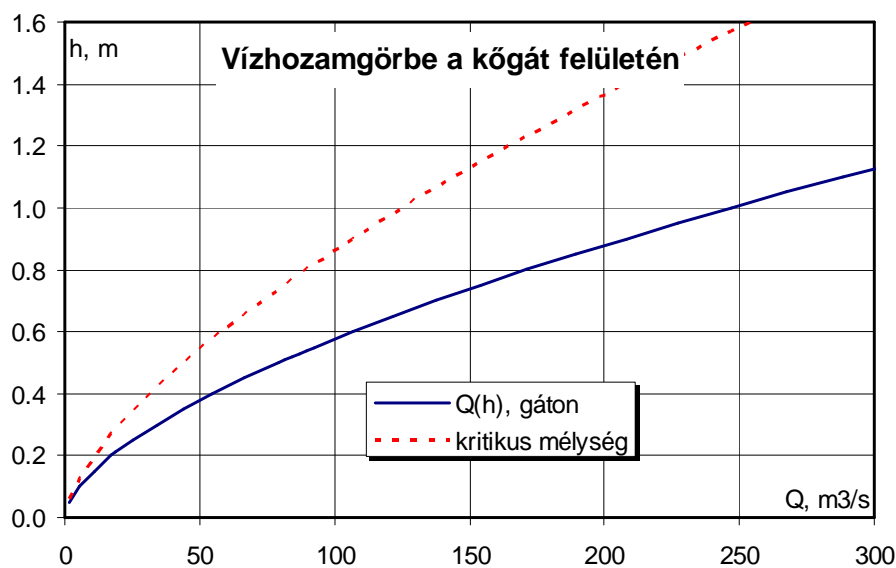
$$q_{R,ist} = \frac{NQ_{1\%}}{b} = \frac{730}{40} = 18,25 \text{ m}^2/\text{s}, \quad h_{kr} = \sqrt[3]{\frac{q_{R,ist}^2}{g}} = 3,24 \text{ m}$$

Így a jellemző energiamagasság is meghatározható:

$$H_{E1} = h_{kr} - w + \frac{v^2}{2 \cdot g} = 3,24 - 2,3 + \frac{18,25^2}{2 \cdot 9,81} = 26,84 \text{ m}$$

A következő lépés a Froude szám meghatározása a korábban alkalmazott 16-os számú képlet alapján $Fr = 23,03$, ami nagyobb mint $Fr = 4$, tehát ebben az esetben is $c_q = \mu = 0,566$ értékkel számolok tovább.

Meghatározom a bukón ténylegesen átáramló fajlagos vízhozamot a 18-as számú képlet felhasználásával, melynek értéke $q_R = 232,44 \text{ m}^2/\text{s}$, ez nagyobb mint a meder $q_{R,ist} = 18,25 \text{ m}^2/\text{s}$ hozama, tehát a gát szélessége megfelel. A következő lépésben az alvíz mélységének értéke megegyezik a gát magasságának és a kritikus mélységnek az összegével, tehát $y_{uw} = 5,54 \text{ m}$. Ehhez az értékhez kellene a vízhozamgörbéről (8. ábra) leolvasni egy vízhozam értéket, amiből a v_R és a Froude-szám számítható a 19-es és a 20-as számú képletnek megfelelően. A leolvasott hozamból utána egy fajlagos vízhozam értéket kellene számítani, hogy össze tudjuk hasonlítani az elején a kő stabilitásának vizsgálatánál kiszámolt kritikus hozam értékével. Ez alapján tudjuk megmondani, hogy a kőszórás kibírja-e az érkező terhelést, vagy sem.



8.ábra

Azonban a kritikus mélységére nagyobb értéket kaptam, mint a vízhozamgörbén található legnagyobb érték. A görbékhez nem áll több adat a rendelkezésemre, ezért nem végzek leolvasást. Nagy valószínűséggel megfelelő a $d_s = 0,4 \text{ m}$ -es kőméret, mivel a 6.2-es pontban is, az amerikai módszerrel hasonló értéket kaptunk.

7. Összefoglaló értékelés

Az alapvető probléma az volt, hogy Magyarországon nincs egy kialakult, egyértelmű módszer az ilyen jellegű kőgátak méretezésére. Dolgozatomban a vizsgált két külföldi módszer alapján próbálok ajánlást tenni, melyiket lenne célszerű alkalmazni ilyen művek tervezésekor. Európában célszerű lehet európai módszert alkalmazni, mivel itt fejlesztették ki az eljárást. Magyarország közelebb is áll a német szemléletmódhoz, a Dunakiliti fenékküszöböt is hasonló elvek alapján méretezték.

A német módszer fő jellemzője, hogy surrantóként méretez. Összehasonlítja, hogy a gát képes-e a mederből érkező 100 éves előfordulási valószínűségű hozamból érkező terhelés elviselésére, megvizsgálja mekkora hozam mellett megy tönkre, mi az a hozam, amit a kövek kibírnak. A méretezés végén jut el a szemeloszlás meghatározásáig, addig egy egyenérték átmérővel (d_s) dolgozik. A grafikus megoldáshoz szükséges egy vízhozam idősor, ami nem biztos hogy mindig elegendő adattal áll a rendelkezésünkre. Külön vizsgálja a különböző vízmozgások eseteit (áramló, rohanó). Biztonsági tényezőt is figyelembe vesz.

Az amerikai eljárás számomra egyszerűbbnek tűnik, bár itt az eredményeket jobban befolyásolják az alkalmazott anyag tulajdonságai. Közepes vízhozammal számol, és már az elején fontos a kőzethalmaz graduáltsága, ezért használja az egyenlőtlenességi mutató értékét. Ebből az értékből és a 3. ábrán rendelkezésre álló görbék alapján meghatároz egy közepes kőméretet (d_{50}). Fontos adat a belső súrlódási szög (φ) és a porozitás (n_p). Ez a módszer az, ami ténylegesen gátként kezeli a szerkezetet. Figyelembe veszi, hogy nemcsak a gát felszínén, hanem a gáton belül is van átáramlás. Nem veszi figyelembe a különböző vízmozgás eseteket, viszont nem szélsőségeket vizsgál.

Úgy gondolom, ha gátat méretezünk, az amerikai eljárás a célnak megfelelő, a fent említett jellemzői miatt. A két módszer különbségeit röviden összefoglalva a fenti táblázat tartalmazza.

	Amerikai	Német
adatigény	több	kevesebb
kőméret	d_{50} , C_u	d_s , d_{65}
egyéb kőanyag jellemzők	φ , n_p	-
mértékadó vízhozam	KÖQ	$HQ_{100}=NQ_{1\%}$
kőfelszín-érdesség	n	k, külön érték szórt vagy rakott kőmű esetére
vízmozgás (áramló/rohanó)	nem veszi figyelembe	vizsgálja
átáramló hozam	felszínen és a kőrakatban is	csak a felszínen
biztonsági tényező	nincs	van

8. Irodalomjegyzék

1. Kathleen H. Frizell, James f. Ruff, and Subhendu Mishra: Simplified design guidelines for riprap subjected to overtopping flow, Proceedings of the Annual Conference of the Association of State Dam Safety Officials. Las Vegas, 1998.
2. Rauhe Rampen. Berechnungsbeispiel. Umdruck zur Vorlesung "Naturnaher Wasserbau und Gewässerpflege. TU Karlsruhe Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik. Karlsruhe, 2001.
3. Gálos Miklós – Vásárhelyi Balázs: Közvetestek osztályozása az építőmérnöki gyakorlatban
4. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Durchgängigkeit für Tiere in Fließgewässern - Leitfaden Teil 2 - Umgehungsgewässer und fischpassierbare Querbauwerke
5. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg Oberirdische Gewässer, Gewässerökologie 75 Hydraulik naturnaher Fließgewässer Teil 2 – Neue Berechnungsverfahren für naturnahe Gewässerstrukturen
6. Haszpra Ottó - Zsilák Endre: A dunakiliti fenékgát. Hidrológiai közlöny. 82. évf. 4. sz. 2002
7. DVWK Fish passes – Design, dimensions and monitoring, 2002.
8. Dr. Csoma Rózsa: Mosoni-Duna torkolati mű Előzetes számítások, BME-VVT 2009.
9. Dr. Mahler András: Talajmechanika, Talajazonosítás - Szemcsés és szerves talajok azonosítása
10. . Dr. Kovács Miklós: Út szakmérnök anyaga II. rész: Földművek, támfalak tervezése és építése
11. Su, Y., Wobig, L., Winters, B., He, X., and Williams, D. (2009) The Geneva Dam, IL, Hydraulic Roller Problem: Design of a Temporary Steep Riprap Ramp. World Environmental and Water Resources Congress 2009: