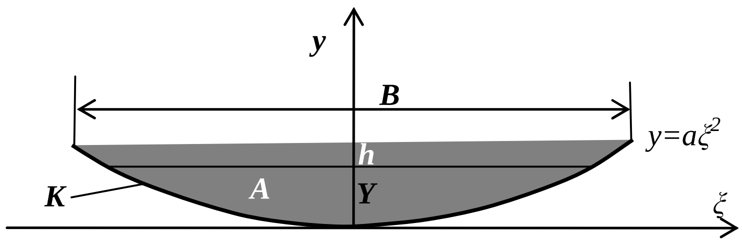
Gyakorló példa – vízlépcső-terv fő adatai a Duna egy közepes mellékfolyójára

Adatok Magyarország, illetve a Kárpát-medence folyóinak vízsebességéről, vízhozamáról, eséséről már több, mint 100 éve hozzáférhetőek, például Viczián Ede: Magyarország vízerői, Pallas Irodalmi és Nyomdai Rt , Budapest, 1905 művében.

A folyó esése a tervezett vízlépcső helyszínén	0,6 m/km, azaz	i = 0,0006.
A folyó közepes vízszintje a vízmércén:	$\overline{h} = 0{,}8m$	
Ekkor a folyó vízhozama:	$\overline{Q} = 16{,}4 m^3 / s$	
A vízzel telt szelvény keresztmetszete:	$\overline{A} = 48{,}7 m^2$	
A folyó szélessége a tervezett vízlépcső helyén közepes vízállásnál:	$\overline{B} = 25 m$	

Közelítsük a mederszelvény alakját másodfokú parabolával, amelynek egyenlete $y = a \cdot \xi^2 = Y + h$. A mederfenék sodorvonalbeli legmélyebb pontja felett Y magasságban van a **vízmérce 0 pont**ja. A vízmércén leolvasott vízszintet jelöli h (ld. az ábrát).



A vízzel telt szelvénykeresztmetszet ***A*** felületének és a nedvesített mederszelvény ***K*** kerületének hányadosa a szelvény ***R_h*** hidraulikai sugara: $R_h = \dfrac{A}{K}$.

Mint ismert, a másodfokú parabola alatti terület a parabolaívet befoglaló téglalap területének harmada, azaz a parabolaív által bezárt terület – az A szelvény keresztmetszet – értéke

$$A = \frac{2}{3} \cdot B \cdot y = \frac{2}{3} \cdot B \cdot a \left(\frac{B}{2} \right)^2 = \frac{aB^3}{6}; \quad \text{a fenti adatokkal} \quad 48{,}7 = \frac{a\, 25^3}{6} = 2604.2\, a\,.$$

Innen a = 0,0187, tehát a mederfenék közelítő egyenlete: **$y = 0{,}0187\ \xi^2$**.

Az ξ = 12,5 m félszélességnél y = 2,922 m, ekkor a vízmérce h = 0,8 m-t mutat, így **$Y = 2{,}122\ m$**

A mederfenék kerülete az $y(\xi)$ görbe ívhossza:

$$K = 2\int_0^{\xi} \sqrt{1 + y'^2}\, d\xi = 2\int_0^{\xi} \sqrt{1 + 4a^2\xi^2}\, d\xi \approx 2\int_0^{\xi} \left(1 + 2a^2\xi^2\right) d\xi = 2\left(\xi + 2a^2 \frac{\xi^3}{3} \right) = 2\xi + \frac{4}{3} a^2 \xi^3,$$

mert az $y = a\xi^2$ függvény deriváltja $y' = 2a\xi$. Így tehát a kerület – észrevéve, hogy az eredménybe beírható az A szelvényfelület –:

$$K = 2\xi + a \cdot A \quad (= 25{,}91 m).$$

Végül az ***R_h* hidraulikai sugár** is számítható képlettel, illetve az ismert adatokkal számszerűen is.

$$R_h = \frac{A}{K} = \frac{A}{2\xi + A \cdot a} = \frac{1}{\dfrac{2\xi}{A} + a} = \frac{1}{\dfrac{2\xi \cdot 3}{4a\xi^3} + a} = \frac{1}{\dfrac{3}{2a\xi^2} + a} = \frac{1}{\dfrac{3}{2 \cdot 0{,}0187 \cdot 12{,}5^2} + 0{,}0187} = 1{,}879\, m\,.$$

A folyó **vízfelszín**ének **differenciálegyenlete** (ld. e folyóiratszám előző cikkében):

$$\frac{dh}{dx} = \frac{dy}{dx} = \frac{i - J(Q, y, n)}{1 - Fr^2}. \qquad (1)$$

A J mederellenállás függ a Q vízhozamtól, az y vízmélységtől és az $\boldsymbol{n}$ meder ellenállási paramétertől, az ú. n. **Manning állandó**tól és így írható fel: $J = \frac{n^2 Q^2}{A^2 R_h^{\frac{4}{3}}}$. A mederben a vizsgált szelvény környezetében akkor állandó (x-től független) a vízszint, ha a vízszint fenti differenciálhányadosa zérus, azaz ha $J = i$, a **mederellenállás** éppen felemészti az **esés**t. Innen tehát kiszámítható egy mérés alapján az n^2 értéke képlettel és az adott szelvényben számértékkel:

$$n^2 = \frac{i \cdot A^2 R_h^{\frac{4}{3}}}{Q^2} = \frac{i \cdot A^2 R_h^{\frac{4}{3}}}{Q^2} = \frac{0{,}0006 \cdot 48{,}7^2 \cdot 1{,}879^{\frac{4}{3}}}{16{,}4^2} = 0{,}01227; \quad n = 0{,}1108.$$

Az y-hoz, mint egyenletes, állandó vízszinthez az $i = J = \frac{n^2 Q^2}{A^2(\xi) R_h(\xi)^{\frac{4}{3}}}$ képlet átrendezésével meghatározható az a **vízhozam**, amely ilyen vízszintnél átbocsátható:

$$Q^2 = \frac{i \cdot A^2 R_h^{\frac{4}{3}}}{n^2} \quad \text{és innen} \quad Q = \sqrt{Q^2}.$$

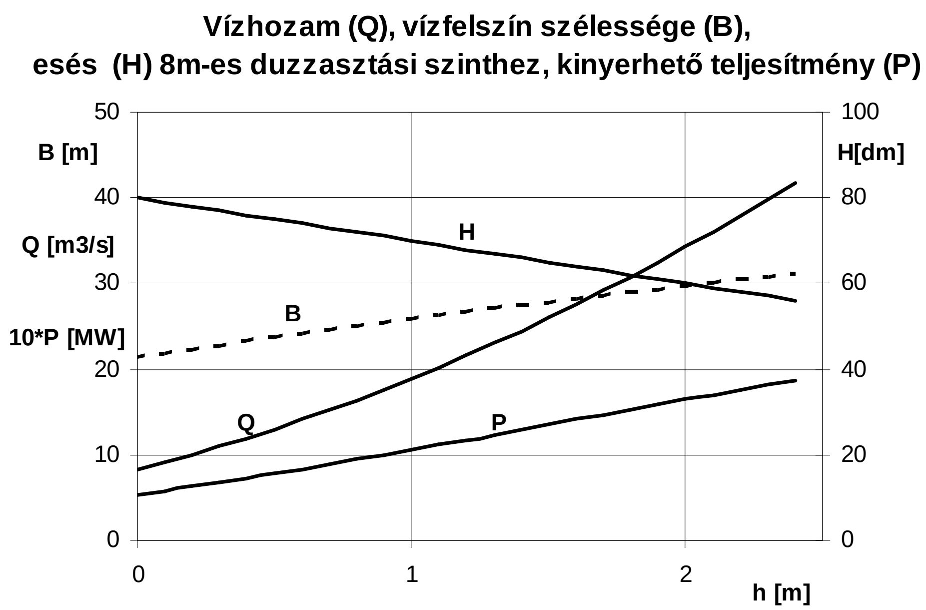
Ezek után – például EXCEL programmal ki kell számítani az **alvíz oldali** y értékeihez egy $2{,}122 \le y \le y_{max}$ intervallumban sorrendben az y, $\xi(y)$, ($B = 2\xi$,) $A(\xi)$, $R_h(\xi)$, Q^2, Q, értékeket.
Ezen túl, amennyiben előírunk egy **duzzasztási szint**et, példánkban legyen ez 8m, akkor a H **esés** is számítható, mint a duzzasztási szint és az alvíz y szintjének különbsége. Példánkban:

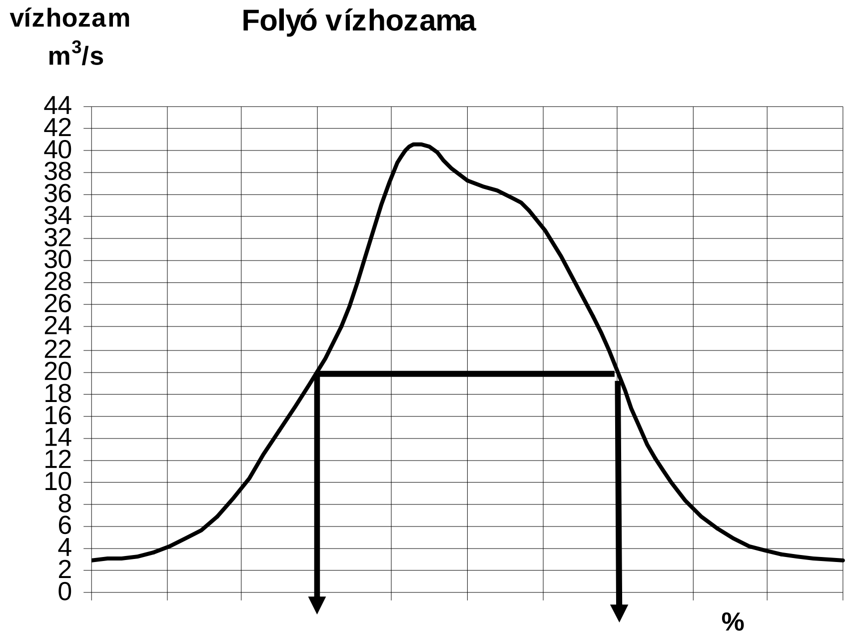
$$H = 8 - h = 8 - y + 2{,}122.$$

Végül a kinyerhető, azaz a **hasznos villamos teljesítmény** az előadásvázlat szerint becsülhető.

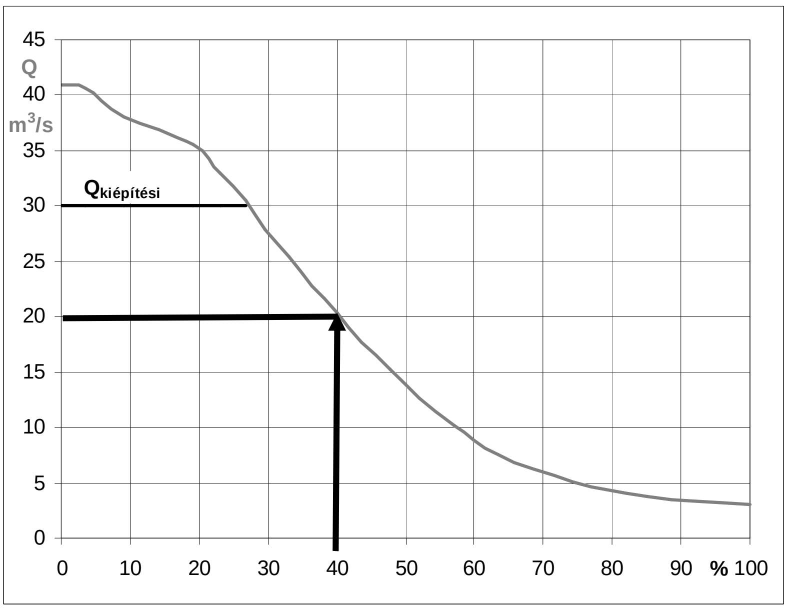
$$P \overset{jel}{=} P_{h,vill} = 8 \cdot Q \cdot H[kW].$$

Egészítsük ki EXCEL táblázatunkat a $H(h)$, P oszlopokkal és rajzoljuk meg a ***Q(h), H(h), P(h)*** és ellenőrzésként még a ***B(h)***grafikont.



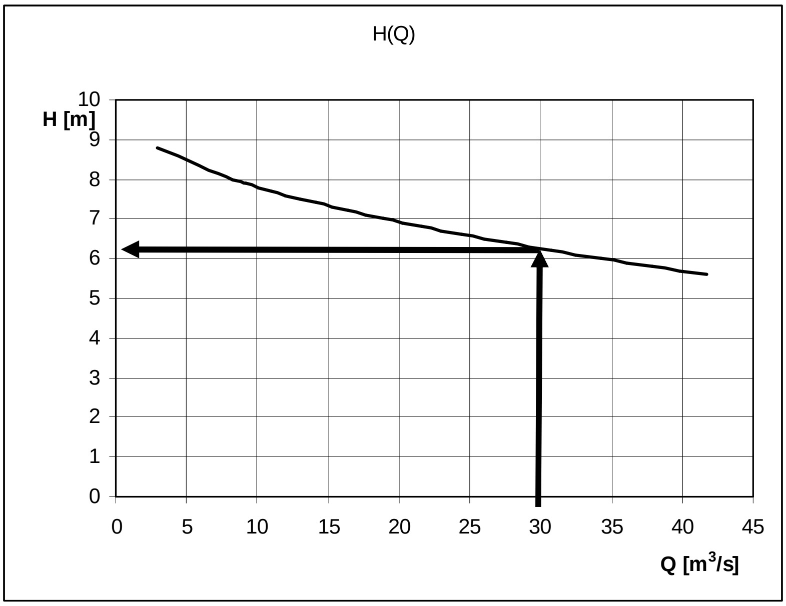


A folyó átlagos vízhozama a naptári év időtartamának százalékában.
Például **20 m^3/s** víz az év **30 – 70 %** -a alatt (a 110. naptól a 256. napig) folyik le, tehát az év **40 %**-ában ennyi a vízhozam



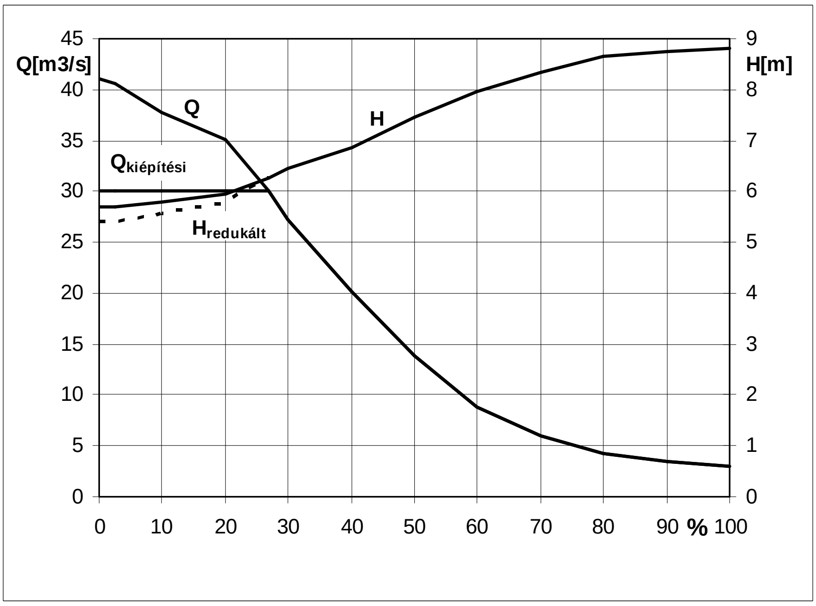
A folyó vízhozam tartóssági görbéje. Az esztendőnek az abszcisszán megadott %-ában a Q[m^3/s] vízhozam legalább az ordinátán megadott érték. Például az év **40 %**-ában a vízhozam eléri a **20 m^3/s** –ot.
A vízhozam tartóssági görbébe berajzoljuk a tervezett $\mathbf{Q}_{\text{kiépítési}}$ vízhozamot

A fenti grafikon alapján megszerkesztjük az esés, H – vízhozam, Q kapcsolatot leíró H(Q) grafikont a tervezett (példánkban 8 m-es) duzzasztási szinthez:

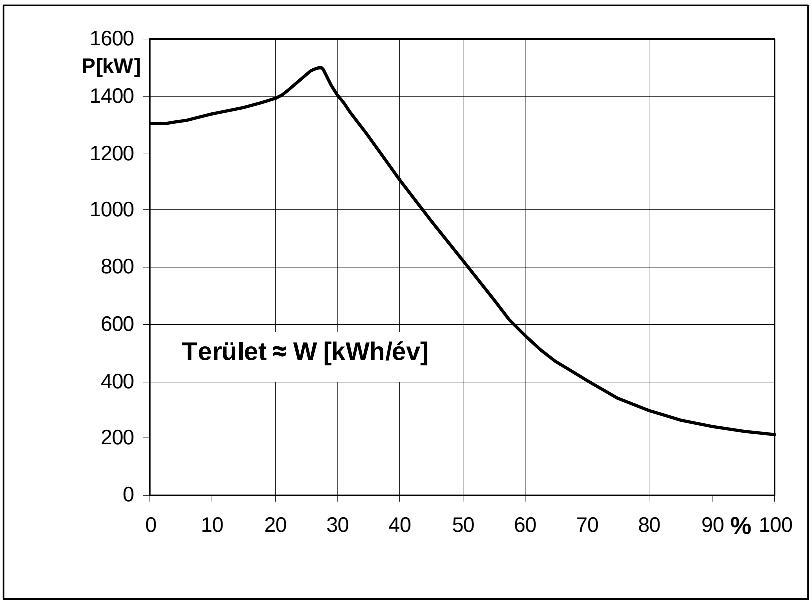


A példabeli $Q_{kiépítési}$ = **30 m³/s** vízhozam esetén a grafikon szerint H = **6,25 m** az esés. Minél nagyobb a vízhozam, annál kisebb az esés, ugyanis emelkedik az alvízszint, miközben a felvízszint nem változik (mert azonos a duzzasztási szinttel).

A vízhozam tartóssági görbe Q ordinátáihoz – nem a $\mathbf{Q_{kiépítési}}$, hanem az eredeti **Q** görbe ordinátáihoz – pontról pontra meghatározható a **H** esés. Ez az alábbi ábra **H** grafikonja. Kis eséseknél még redukálni kell az esés görbét a $\mathbf{H_{redukált}} = 1{,}5 \cdot \mathbf{H} - 0{,}5\ \mathbf{H}(\mathbf{Q_{kiépítési}})$ képletnek megfelelően. Berajzoltuk az ábrába a $\mathbf{H_{redukált}}$ grafikont is, megkaptuk az esés tartóssági görbét.

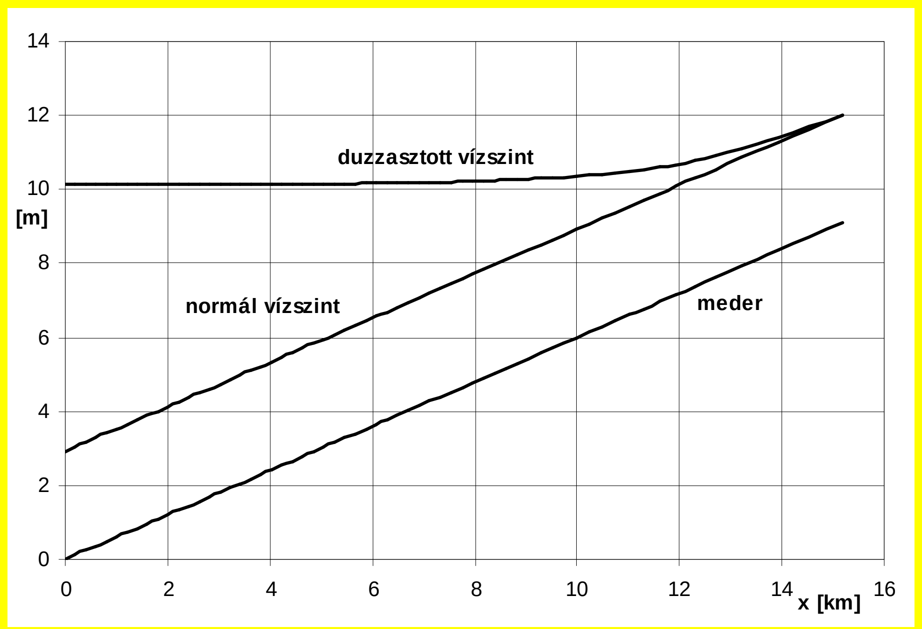


Végül a $\mathbf{P}_{vill} = 8 \cdot Q \cdot H$ [kW] képlet alapján megszerkeszthető pontról-pontra a teljesítmény tartóssági görbe is. A görbe alatti terület a megtermelhető éves villamos energia, hiszen az abszcisszatengelyen valójában idő van az esztendő %-ában kifejezve. Az alábbi grafikon szerint a példabeli folyó a választott kiépítés esetén 7,36 GWh energiát szolgáltat. Ez az előző évtized átlagos adatai alapján megfelel a Rábán Ikervárnál működő erőmű éves energia termelésének.



Teljesítmény tartóssági görbe

A visszaduzzasztott felszín az (1) egyenlet numerikus integrálásával 25º-os töltés rézsűszöget feltételezve kiszámítható, ezt mutatja az alábbi ábra. Látható, hogy a névleges vízhozam esetén a visszaduzzasztási hossz mintegy 14 km.



A duzzasztás hatása a felvíz oldali vízfelszínre. Az ábra bal oldalán van a duzzasztómű

Változtatva a

- duzzasztási szintet és
- tervezési víznyelést,

kapunk változatokat, amelyeknek beruházási költsége eltérő, de az éves megtermelhető villamos energia is különböző, így kiválasztható a leggazdaságosabb változat.

Egyértelműen **Kaplan-**, illetve **csőturbina** kerülhet beépítésre ebben a példabeli esetben.