

Megújuló energiaforrások *Vízerőhasznosítás* *gyakorlat*

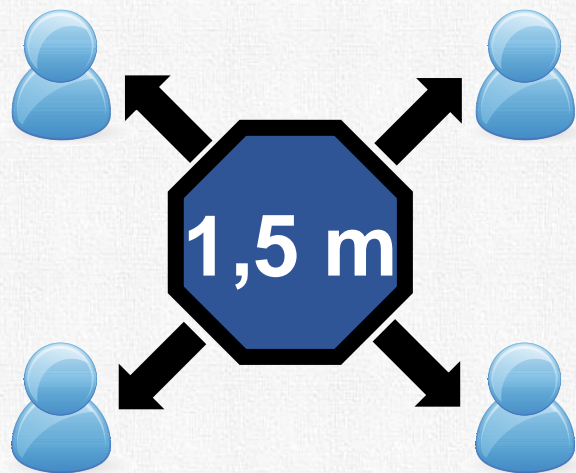


Előadó: Dr. Csizmadia Péter

BME Gépészmérnöki Kar,
Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék

pcsizmadia@hds.bme.hu

FIGYELEM!



**TARTSON
TÁVOLSÁGOT!**

FIGYELEM!



**VISELJEN
MASZKOT!**

Feladat meghatározása

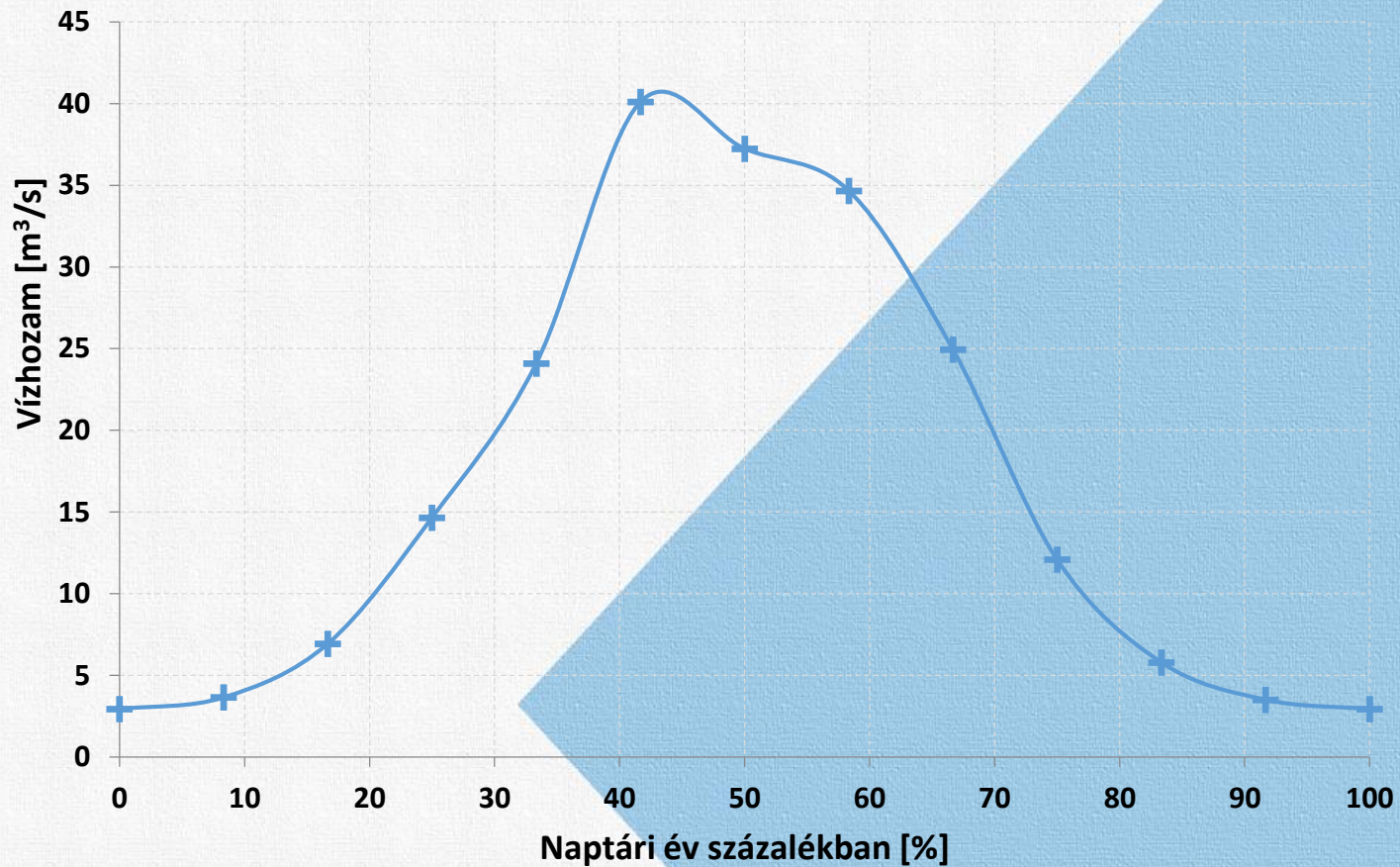
- Vízlépcső terv fő adatainak meghatározása, (Rába folyóra, Ikervárnál)
- A Kárpát-medence folyóinak főbb adatai szakirodalomból ismertek



Magyarország területén és közelében működő ●, illetve megtervezett, de meg nem épített ○ vízerőművek

Rába ismert vízhozama

Időpont [hónap]	Időpont [%]	Átlagos vízhozam [m ³ /s]
0	0	2,93
1	8	3,64
2	17	6,93
3	25	14,65
4	33	24,08
5	42	40,09
6	50	37,24
7	58	34,66
8	67	24,94
9	75	12,08
10	83	5,79
11	92	3,50
12	100	2,93

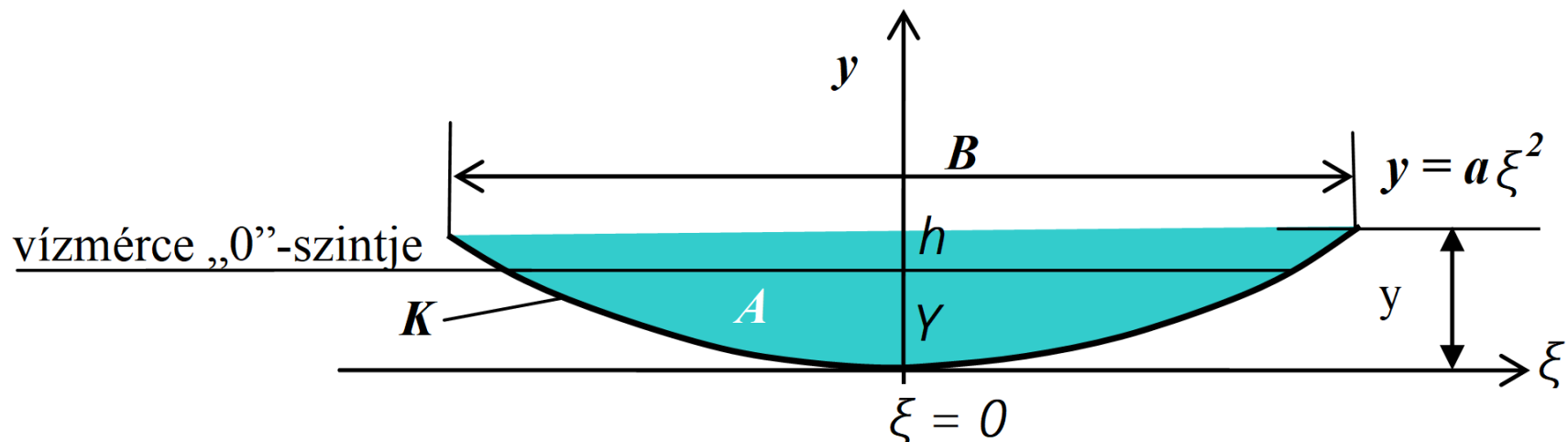


Pl.: 20 m³/s –t eléri a vízhozam 30-70% között, azaz az év 40%-ban.

Ismert adatok

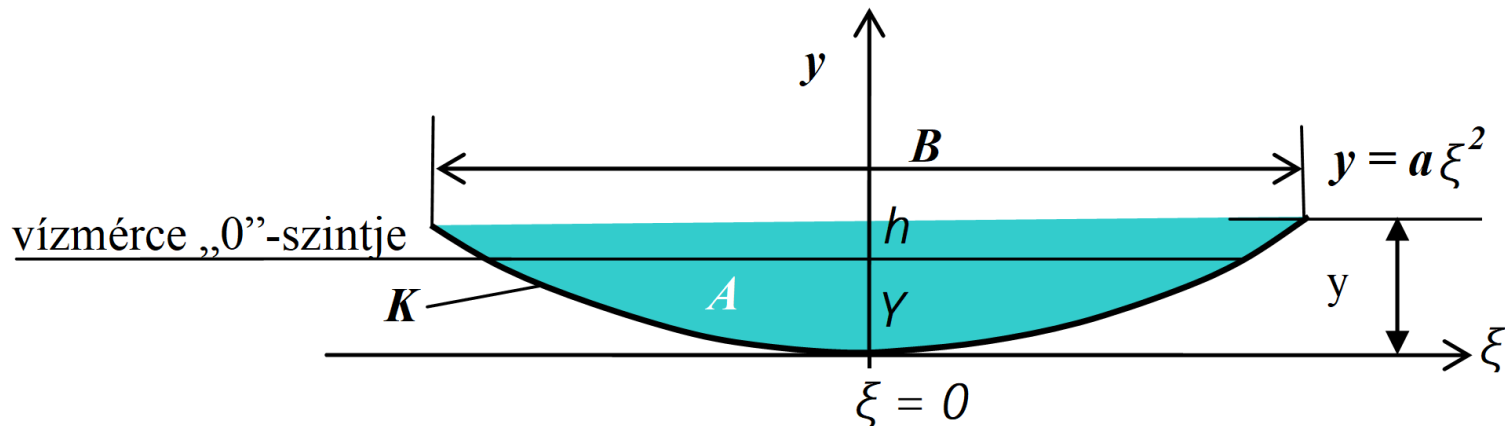
- Q : vízhozam (egész évre ismert az egész folyón)
- $i = 0,0006$ (a mederfenék esése: 0,6 m/km)
- $\bar{h} = 0,8$ m (a folyó közepes vízszintje egy adott vízmércén; ($h = 0$: egy relatív 0 szint))
- $\bar{Q} = 16,4$ m³/s (közepes \bar{h} vízszintnél a vízhozam)
- $\bar{A} = 48,7$ m² (közepes \bar{h} vízszintnél a vízzel telt szelvény keresztmetszete)
- $\bar{B} = 25$ m (közepes \bar{h} vízszintnél a folyó szélessége)
- Cél: a fenti adatokból a különböző konstansok és mennyiségek ($y, A, K, R_h, B, \xi, Y, n$) meghatározása, kiszámítása különböző h vízszintek esetén, majd a Q, H, P görbék felrajzolása.

A folyó keresztmetszete 1.



- A mederfenék alakja kisebb, természetes folyóknál jó közelítéssel 2. fokú parabolával leírható.
- Az y vízmagasság így $y = a\xi^2$ egyenlettel leírható.
- ξ a keresztmetszetre merőleges koordináta.
- A vízmérce $h = 0$ pontját nevezzük el Y -nak.
- Az is belátható, hogy $y = Y + h$ összefüggés is igaz.
- A B szélesség a ξ -vel egyszerűen írható: $B = 2\xi \rightarrow$ Excel

A folyó keresztmetszete 2.



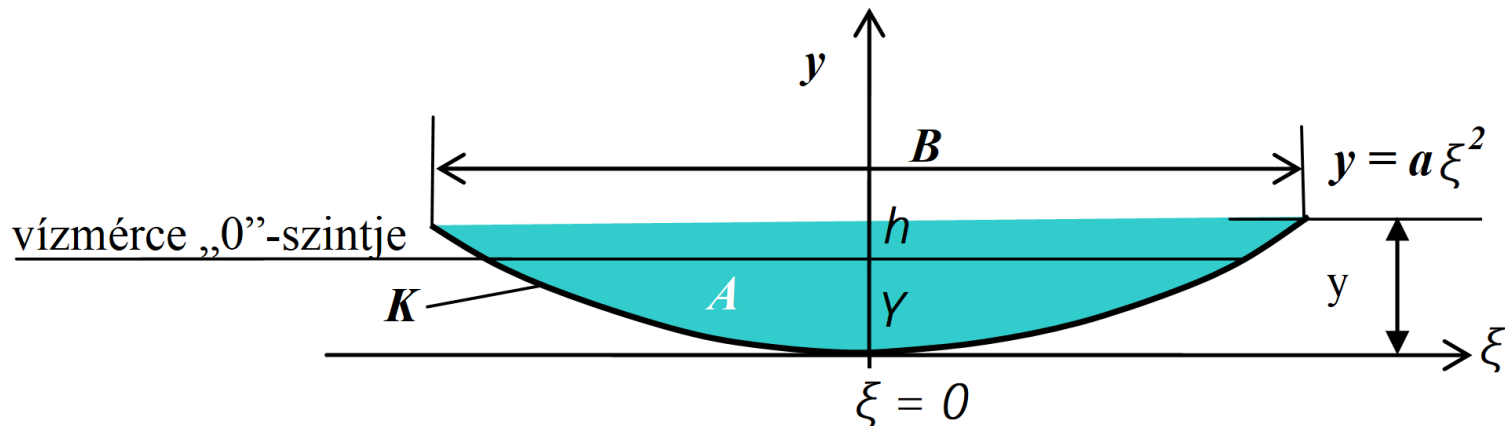
- A folyó keresztmetszete: $A = \frac{2}{3}By \rightarrow$ Excel
mivel egy parabola alatti terület 1/3-a befoglaló téglalap területének; itt a maradék 2/3-ról van szó
- Az „ a ” konstans meghatározása:

$$A = \frac{2}{3}By = \frac{2}{3}B(a\xi^2) = \frac{2}{3}Ba \left(\frac{B}{2}\right)^2 = \frac{aB^3}{6}$$

És mivel van két ismert adatunk \bar{A} és \bar{B} , így

$$a = \frac{6\bar{A}}{\bar{B}^3} = 0,0187 \left[\frac{1}{m}\right]$$

A mederfenék egyenlete



- A fenti „ a ” konstans ismeretével a mederfenék egyenlete az alábbi:

$$y = 0,0187\xi^2$$

- Amiből a ξ koordináta kifejezhető:

$$\xi = \sqrt{\frac{y}{0,0187}}$$

→Excel

Y (konstans) meghatározása

- Közepes \bar{h} vízszint esetén a ξ a \bar{B} szélesség fele:

$$\xi = \frac{\bar{B}}{2} = 12,5 \text{ m}$$

Ekkor az y vízmagasság:

$$y = a\xi^2 = 0,0187 * 12,5^2 = 2,922 \text{ m}$$

Előzőekből ismert:

$$y = Y + h$$

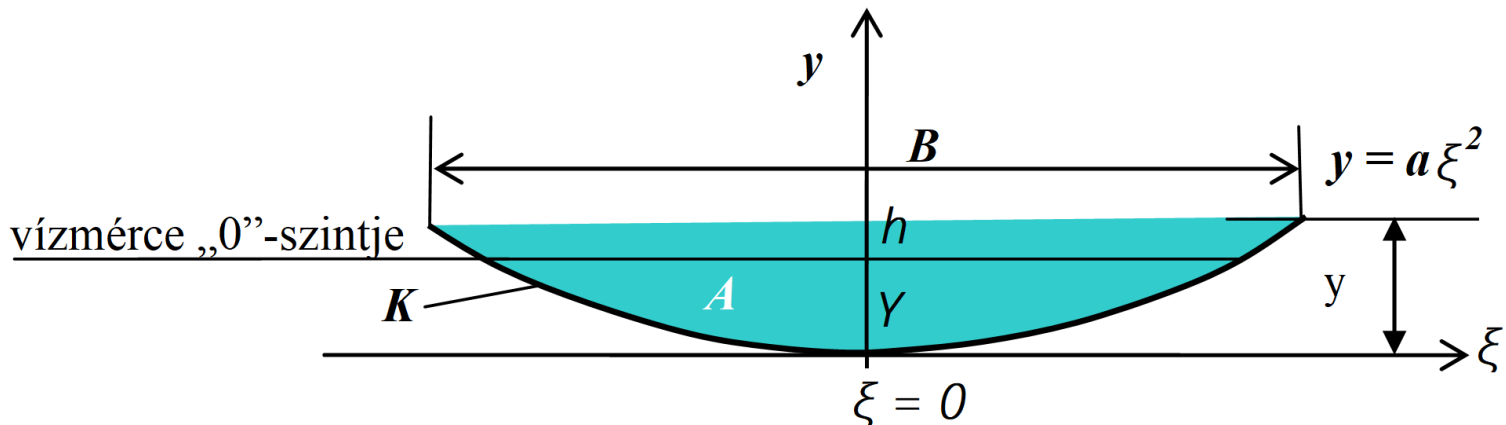
Amiből:

$$Y = y - h = y - \bar{h} = 2,122 \text{ m}$$

Ezzel:

$$y = Y + h = 2,122 \text{ m} + h \rightarrow \text{Excel}$$

A mederfenék kerületének meghatározása



- Azaz mekkora az y görbe ívhossza?!
- Külső ismeret, általánosan: $\text{Ívhossz} = \int_a^b \sqrt{1 + (f'(x))^2} dx$
- Ehhez tekintsük:
 - $y = a\xi^2$
 - $y' = 2a\xi$
 - $(y')^2 = 4a^2\xi^2$
- Valamint emlékeztetőül: Taylor-sor közelítés:

$$\left(1 + \frac{x}{2}\right)^2 = 1 + 2\frac{x}{2} + \frac{x^2}{4} \approx 1+x$$

A mederfenék kerülete, hidraulikai sugár

- Ezek felhasználásával

$$\begin{aligned} K &= 2 \int_0^{\xi} \sqrt{1 + y'^2} d\xi = 2 \int_0^{\xi} \sqrt{1 + 4a^2\xi^2} d\xi = \\ &= 2 \int_0^{\xi} \sqrt{\left(1 + \frac{4a^2\xi^2}{2}\right)^2} d\xi = 2 \int_0^{\xi} 1 + 2a^2\xi^2 d\xi = \\ &= 2\left(\xi + 2a^2 \frac{\xi^3}{3}\right) = \mathbf{2\xi + \frac{4}{3}a^2\xi^3} \quad \rightarrow \text{Excel} \end{aligned}$$

(Számértékileg: közepes \bar{h} vízszintnél : $K = \bar{B} + \frac{4}{3}a^2 \frac{\bar{B}^3}{8} = 25,91 m$)

Megjegyzés: lehetne numerikusan is integrálni.

Ezekkel a hidraulikai sugár: $\mathbf{R_h = \frac{A}{K}} \rightarrow \text{Excel}$

Vízfelszín differenciál egyenlete, n , Q

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

Ahol J a mederellenállás, azaz a veszteséget kifejező tag:

$$J = \frac{n^2 Q^2}{A^2 R_h^{3/4}}$$

A vízszint állandó, ha az esés (i) éppen fedezi a mederellenállást (J), azaz normál vízszint alakul ki az eredeti, duzzasztás nélküli folyón.

$$i = J = \frac{n^2 Q^2}{A^2 R_h^{3/4}}$$

Amiből a \bar{h} közepes vízszint esetén a Manning-állandó:

$$n = \sqrt{\frac{i A^2 R_h^{4/3}}{Q^2}} = \mathbf{0,1108} \rightarrow \text{Excel}$$

A vízhozam pedig: $Q = \sqrt{\frac{i A^2 R_h^{4/3}}{n^2}} \rightarrow \text{Excel}$

Vízszint és duzzasztási szintek vizsgálata

- Vizsgáljuk a következő **vízszint tartományt**:

$$Y \leq y \leq y_{max}, \text{ azaz}$$

$$0 \leq h \leq 2,5\text{m}$$

Ezt tudom változtatni az számításkor („ezzel söprök Excelben”); azaz a folyónak erre a mozgásterére tervezünk.

- Továbbá, Elő kell írni egy **duzzasztási szintet**, ez legyen **$h=8$ méter**.

(Méretezéskor több duzzasztási szint is megvizsgálandó.)



Esés (H), teljesítmény (P)

- Esés: $H = 8 \text{ méter} - h$ → Excel
 - az alvíz vízszintje olyan, mintha az erőmű ott sem lenne;
 - Az erőművön annyi vizet engedünk át, amennyi a folyó pillanatnyi vízhozama, azaz amennyi érkezik.

- Teljesítmény: P

A hasznos villamos teljesítmény becsülhető:

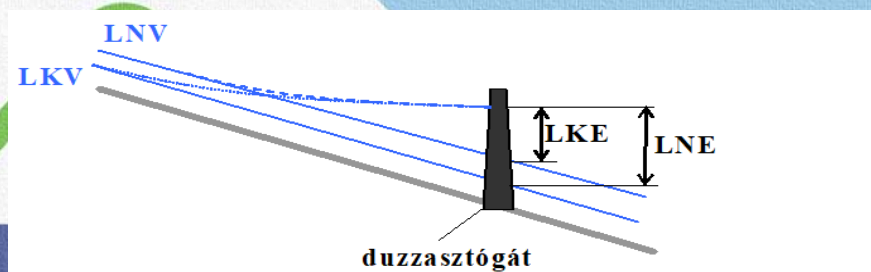
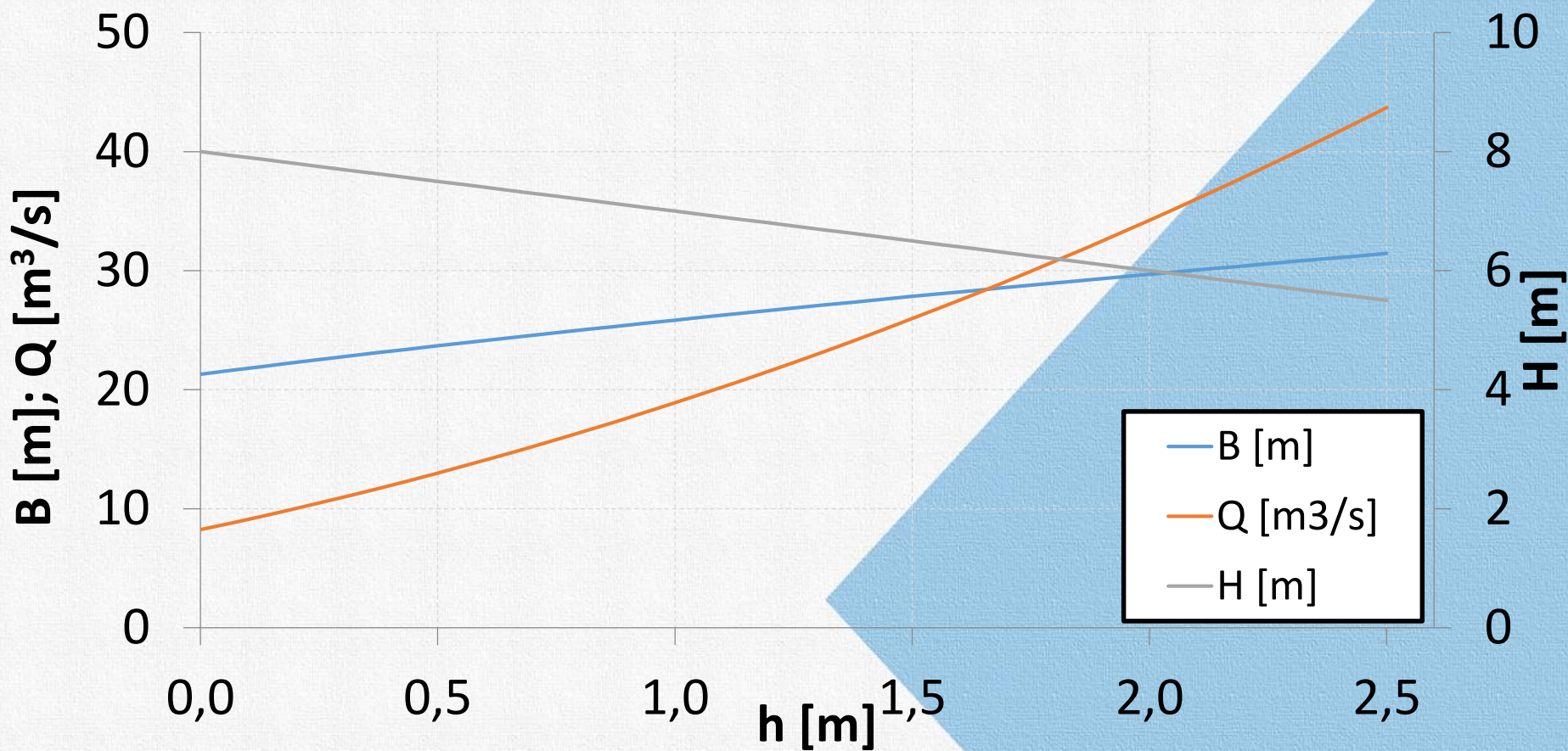
$$P_{\text{hasznos, villamos}} = \eta \rho g Q H \approx 8 Q H \text{ [kW]} \rightarrow \text{Excel}$$

Excelbe beírva...

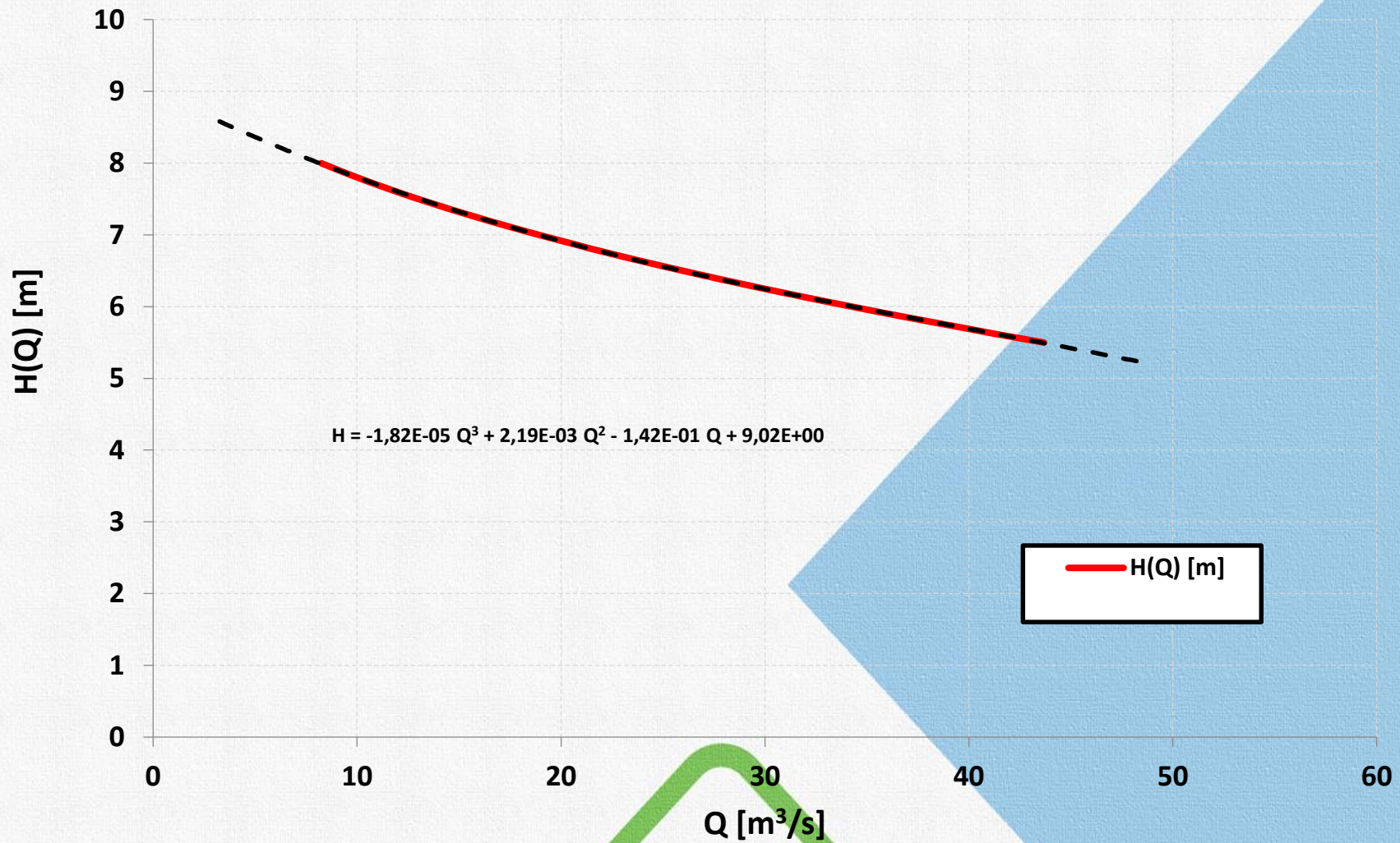
h [m]	$y(h)$ [m]	$\xi(y)$ [m]	$B(\xi)$ [m]	$A(\xi)$ [m ²]	$R_h(\xi)$ [m]	Q [m ³ /s]	$H(y)$ [m]	P [kW]
0,000	2,122	10,653	21,305	30,139	1,378	8,252	8,00	528,1
0,063	2,185	10,808	21,616	31,481	1,418	8,783	7,94	557,7
0,125	2,247	10,962	21,924	32,841	1,457	9,332	7,88	587,9
0,188	2,310	11,113	22,226	34,221	1,497	9,898	7,81	618,6
0,250	2,372	11,263	22,525	35,620	1,536	10,483	7,75	649,9
...
2,438	4,560	15,615	31,230	94,928	2,876	42,443	5,56	1888,7
2,500	4,622	15,722	31,443	96,886	2,913	43,692	5,50	1922,5

- h –val „söprünk”
- Pontonként meghatározzuk a mennyiségeket
- Diagramokban ábrázolhatók
- Ld. „mellékelt” excel fájl

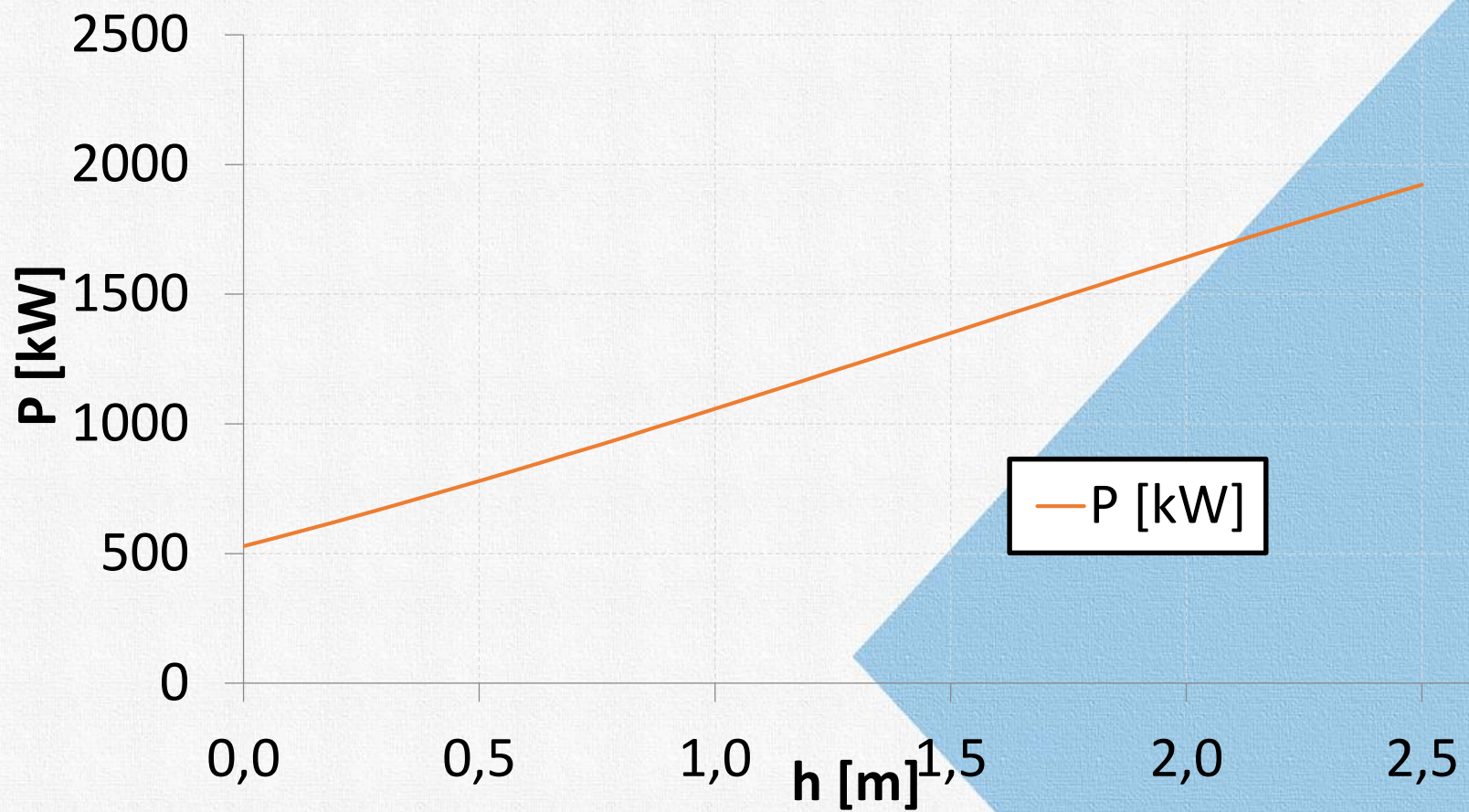
Szélesség (B), vízhozam (Q), esés (H) különböző (h) szinteknél



Az esés(H) különböző (Q) vízhozamoknál (8 m duzzasztási szinten)



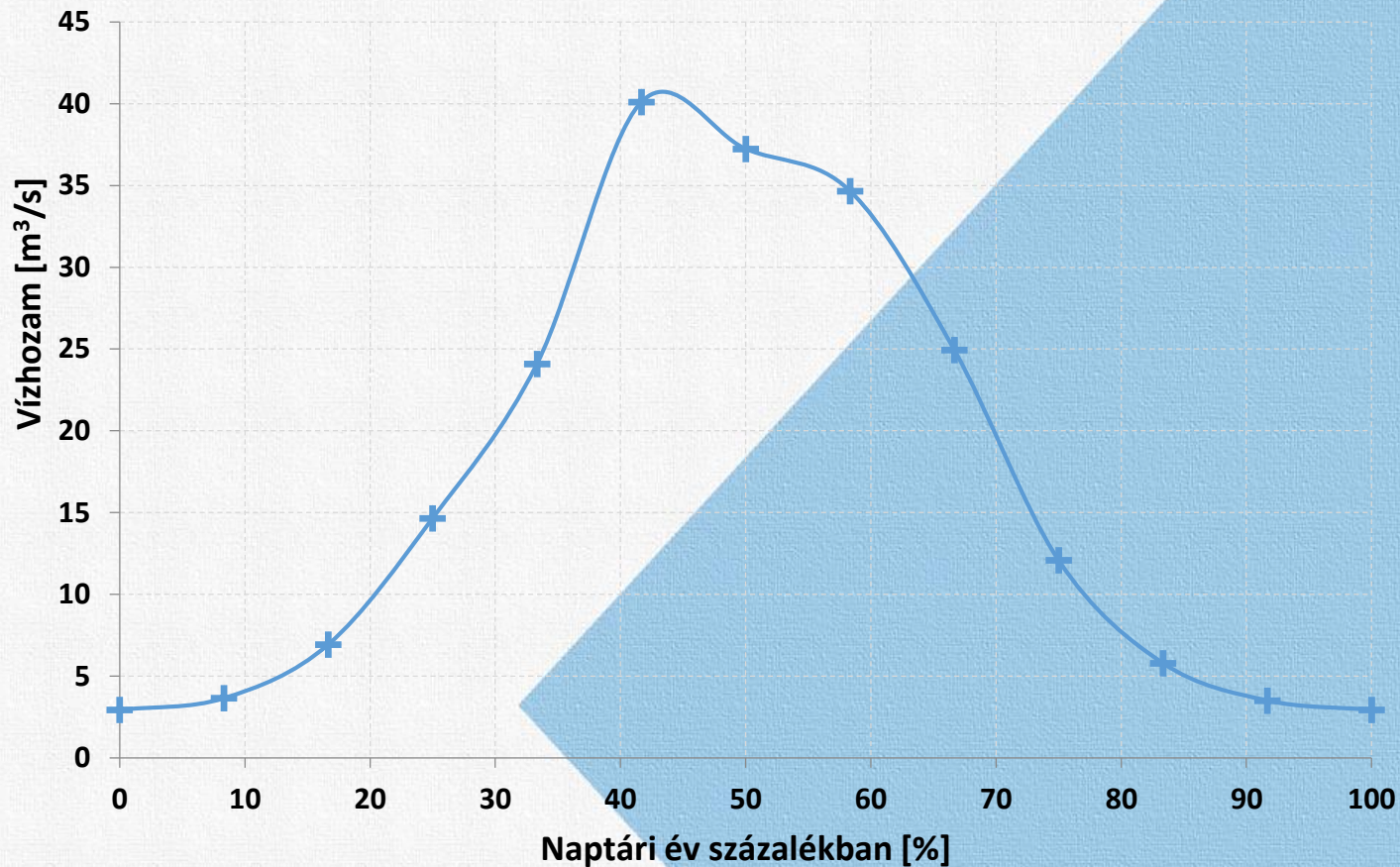
Teljesítmény (P) különböző (h) szinteknél



A vizsgált tartományban a Q jobban nő, mint a H csökken
növekvő h vízszint esetében.

Rába ismert vízhozama

Időpont [hónap]	Időpont [%]	Átlagos vízhozam [m ³ /s]
0	0	2,93
1	8	3,64
2	17	6,93
3	25	14,65
4	33	24,08
5	42	40,09
6	50	37,24
7	58	34,66
8	67	24,94
9	75	12,08
10	83	5,79
11	92	3,50
12	100	2,93

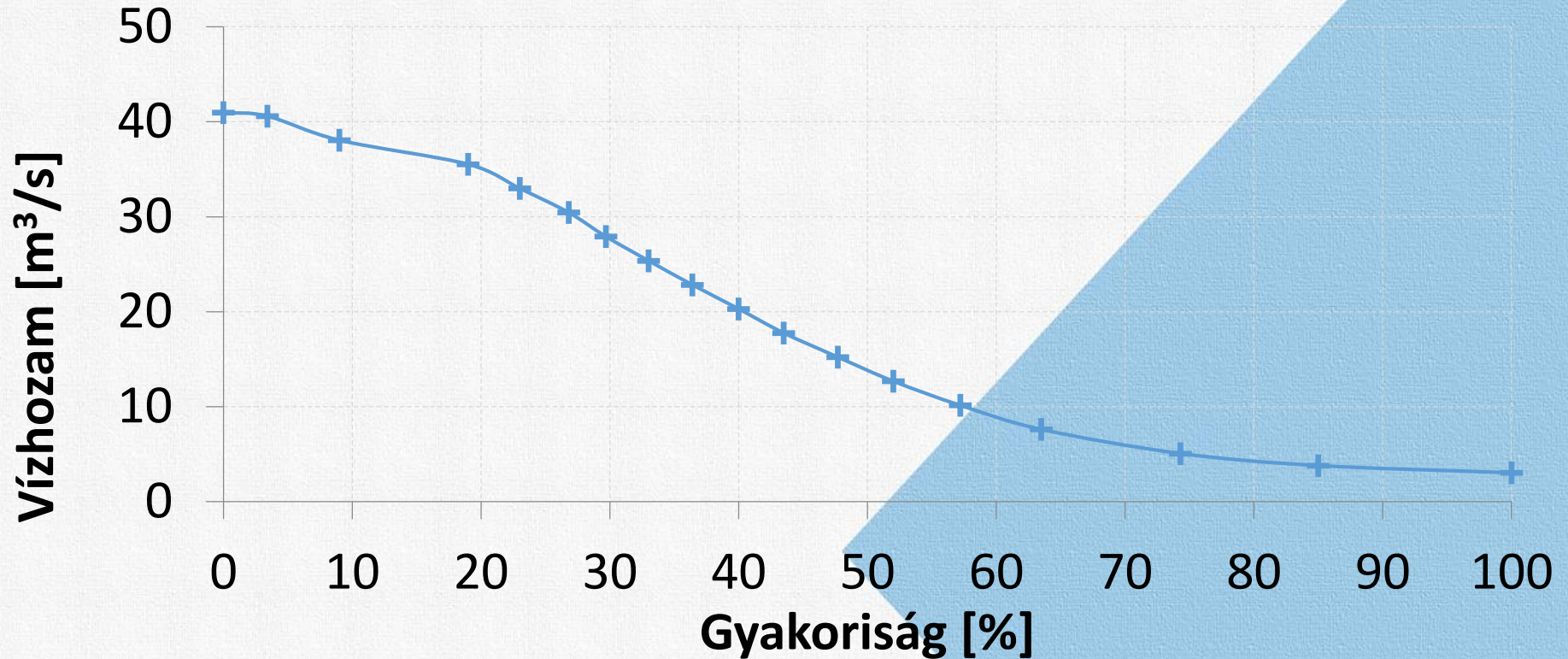


Pl.:

- 20 m³/s –t eléri a vízhozam 30-70% között, azaz az év 40%-ban.
- 30 m³/s –t eléri a vízhozam 36-63% között, azaz az év 27%-ban.

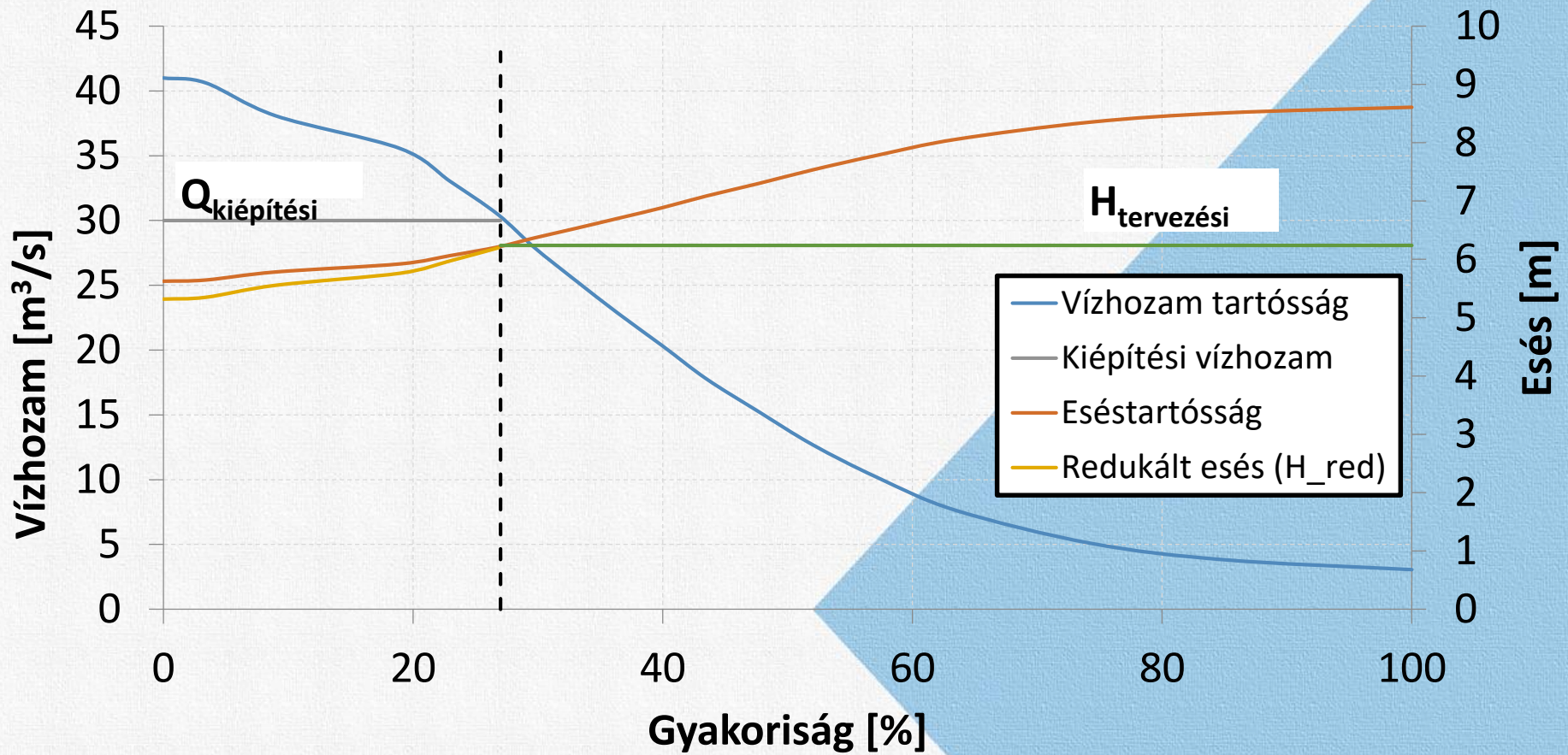
Rába vízhozamtartóssági görbéje

Vízhozamtartóssági görbe



- Kiépítési vízhozam kijelölése (többet is meg szokás vizsgálni).
- Minden pontjában kiszámítható hozzá a H eséstartóssági görbe!

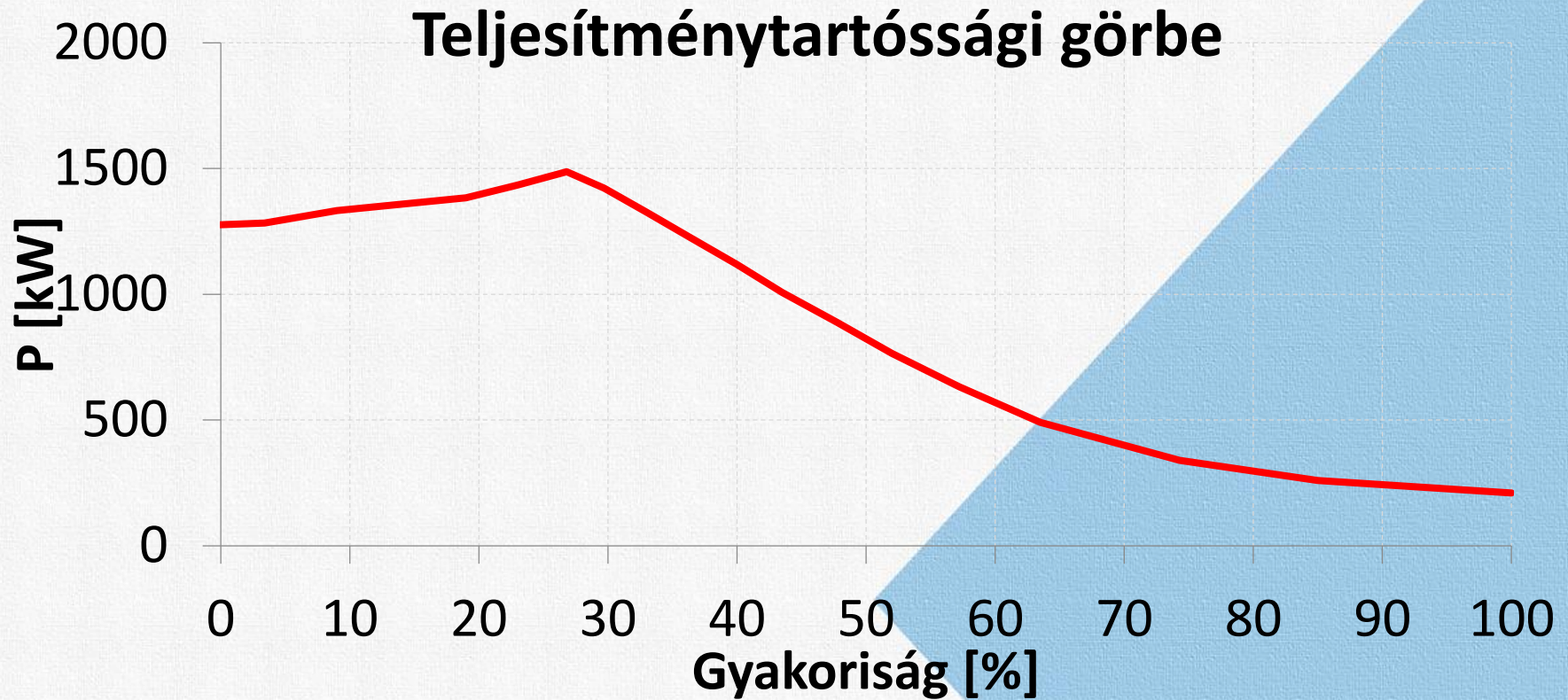
Tartóssági görbék



- Redukálni kell a megnövekedett veszteségek miatt az eséstartóssági görbét a tervezési pont feletti vízhozamoknál

$$H_t = 1,5 H - 0,5 H_{\text{terv}}$$

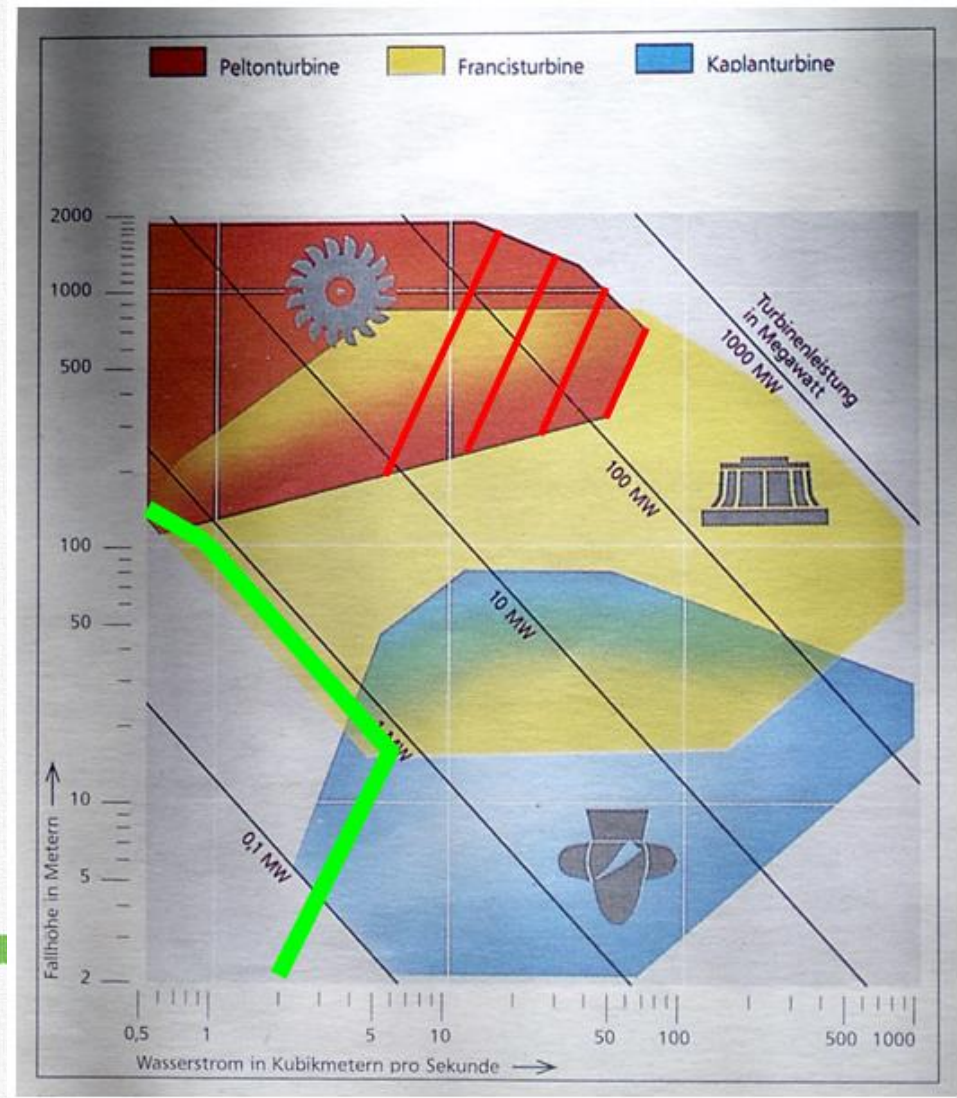
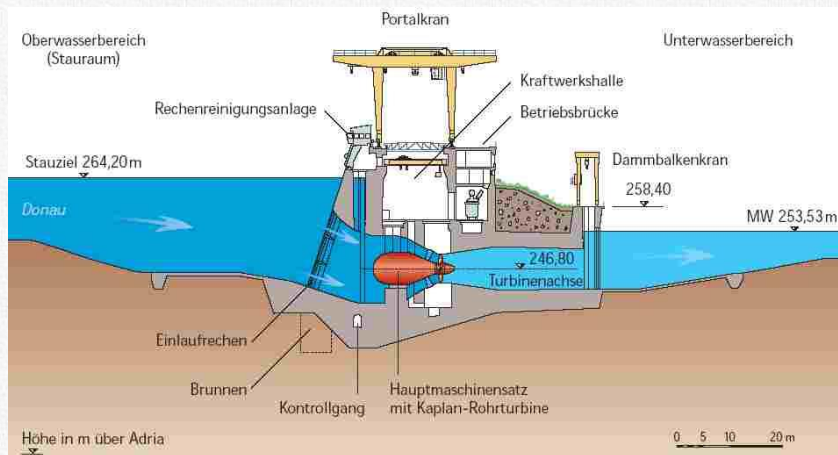
Teljesítménytartóssági görbe



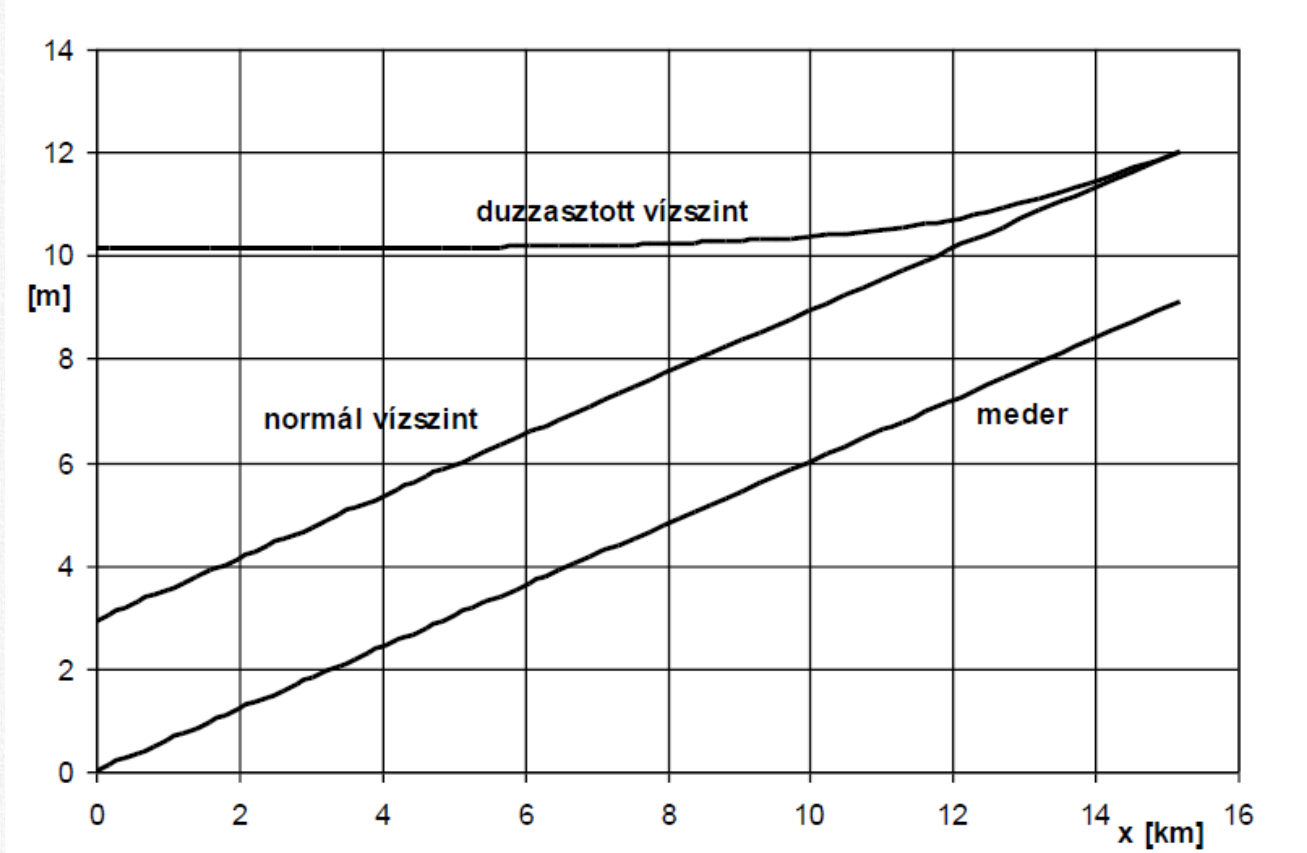
- Jellege: a H és Q szorzata szerepel benne
- A görbe alatti terület a megtermelhető éves villamosenergia
- Rába, Ikervár: 7,36 GWh

Turbinák

- $Q = 8 \dots 44 \text{ m}^3/\text{s}$
- $H = 5,5 \dots 8 \text{ m}$
- Kaplan-turbinák elhelyezése indokolt
Vízszintes vagy függőleges elrendezésben



Duzzasztás hatása, folyadékfelszín alakja



- A folyadékfelszín alakja a leíró egyenletből kiszámítható, numerikus integrálással.
- ≈ 14 km-ig hat vissza a duzzasztás
- $i = 0,6$ m/km

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

Tervezési szempontok

A tervezéskor változtatható:

- Duzzasztási szint (e példában $h = 8$ méter volt)
- $Q_{kiépítési}$ kiépítési vízhozam

Figyelembe kell venni:

- Megtermelhető villamos teljesítmény,
- Környezeti hatások,
- Egyéb bevételi, illetve kiadási költségek,
- Megtérülési idő,
- ... és sok minden más is.



Köszönöm a megtisztelő figyelmet!