

HUBA TERVEZŐ BT.

A Gödöllői szennyvíztisztító telepen található Parshall vízhozammérő csatorna hitelesítése

2015. Július

Megbízó: A-Híd Zrt.

A Gödöllői szennyvíztisztító telepen található Parshall vízhozammérő csatorna hitelesítése

A Gödöllői szennyvíztisztító telepen található Parshall vízhozammérő csatorna hitelesítése

Készítette:

Dr. Baranya Sándor, okleveles építőmérnök, ügyvezető igazgató

Közreműködő:

Lükő Gabriella, BSc hallgató, BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

Fleit Gábor, BSc hallgató, BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

Feladat meghatározása

Jelen szakértői tanulmányt az A-Híd Zrt. megbízásából a HuBa Tervező Bt. készítette. A feladat célja a Gödöllői szennyvíztisztító telepen, a tisztított szennyvíz elvezető csatornáján, a telep korszerűsítése során átalakított Parshall vízhozam-mérő csatorna újratervezése volt. A feladat végeredményeként a Parshall-csatornára jellemző vízhozam-vízmélység kapcsolatot kellett felállítanunk a két paraméter egyidejű mérésével.

Alapadatok

A megbízó által szolgáltatott adatok:

- A Parshall-csatorna jelenlegi vízhozamgörbéje
- Tipikus napi vízhozam idősor
- A Parshall-csatorna műszaki rajzai

A mérőcsatorna hitelesítéséhez felhasznált mérőműszerek

Akusztikus Doppler-elvű sebességmérés

A csatornán átáramló vízhozam meghatározásához pontbeli sebességméréseket hajtottunk végre egy akusztikus elven működő sebességmérő eszközzel (ADV – Acoustic Doppler Velocimeter). A műszer a Doppler jelenséget felhasználva végzi a méréseket, mely a következő: ha egy hangforrás a vevőhöz képest mozog, akkor a vevő által fogadott hang frekvenciája eltolódik a kibocsátott hang frekvenciájához képest. A frekvencia változása és a víz sebessége közti kapcsolatot a következő egyenlet írja le:

$$f_{\text{doppler}} = 2 \cdot f_{\text{forrás}} \cdot \frac{v}{c}$$

ahol f_{doppler} a frekvenciaváltozás a vevőnél; $f_{\text{forrás}}$ a kibocsátott hang frekvenciája; v a részecske relatív sebessége; c a hang terjedési sebessége vízben.

A mérés során a négy jellevős ún. Vectrino műszert alkalmaztuk:



Vectrino

A Vectrino négy egymással 90°-os szöget bezáró jellevője a háromdimenziós sebességvektorok mérésén túlmenően csökkenti a vízszintes irányú komponensek bizonytalanságát, ugyanis két jellevő is a műszer tengelyében kialakuló áramlási sebességvektorokat rögzíti. A Vectrino mérési sűrűsége 1 és 25 Hz között definiálható.

Vízmélység mérése

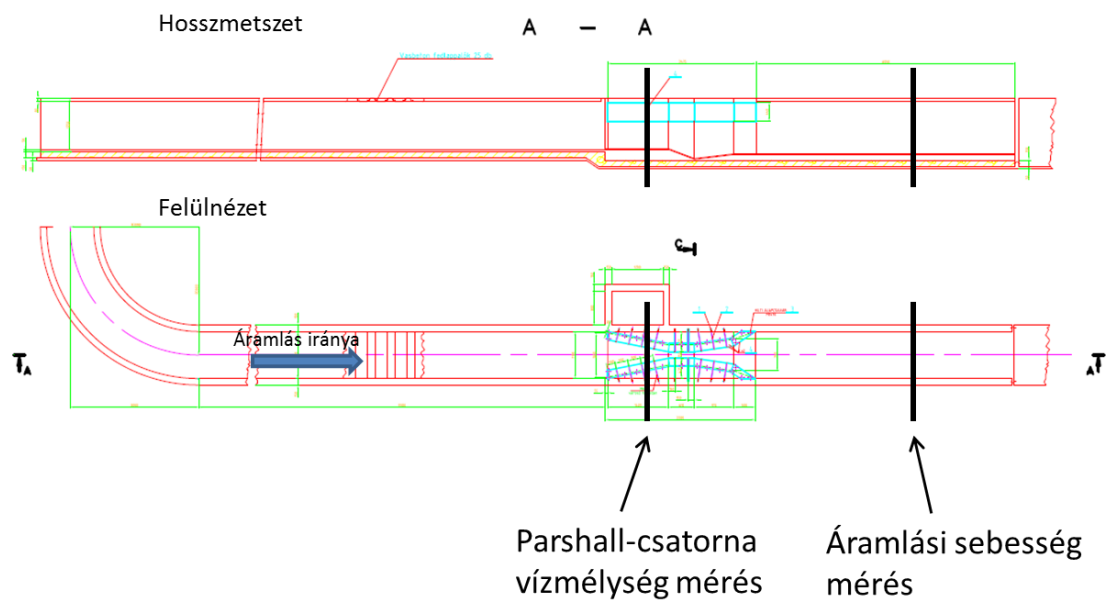
A mérések során szükség volt mind a vízhozam mérési szelvény mind a Parshall csatorna megfelelő szelvényében kialakuló vízmélységek rögzítésére. Ezek meghatározására egy Leica Sprinter 50 típusú digitális szintezőt használtunk (http://www.leica-geosystems.hu/hu/Leica-Sprinter-50_69225.htm).



Leica Sprinter 50

A mérőcsatorna hitelesítéséhez elvégzett mérések ismertetése

A Parshall csatorna vízhozam-vízmélység kapcsolatának felállításához egy egynapos mérési kampányt hajtottunk végre 2015. július 15-én, aminek a keretében fél órás időközökkel végeztük el a csatorna mérőműtárgy alatti szelvényében az áramlási sebességek mérését és a vízmélység meghatározását a sebességmérési szelvényben és a Parshall csatornában. Utóbbi a folyásirány felől nézve a mérőtorok belépési éle előtt a rávezető csatorna 2/3 részében végeztük, mivel a Parshall mérőműtárgy működéséből adódóan a hitelesítés erre a szelvényre vonatkozik.



A Parshall csatorna hosszmetszete és felülnézete a mérési szelvények jelölésével



A Parshall csatornán kialakított vízmélység rögzítési szelvényt mérőrúddal jelöltük



A Parshall csatorna rohanó vízmozgású, alvízi szakaszán hajtottuk végre a pontbeli sebességméréseket

A sebességmérés helyéül a műtárgy alatti szakaszt jelöltük ki, mert itt kis vízmélységű (8-12 cm) rohanó vízmozgás alakul ki, és a pontbeli sebességmérést nem szükséges a vízoszlop mentén több helyen elvégezni (így rövidíthető a mérési idő anélkül, hogy az a pontosság rovására menne). A csatorna tengelyére merőleges irányban viszont változó sebességviszonyok jellemezték az áramlást, így öt, egymástól egyenlő távolságban lévő pontot jelöltünk ki a mérésre, az alábbi ábra szerint:



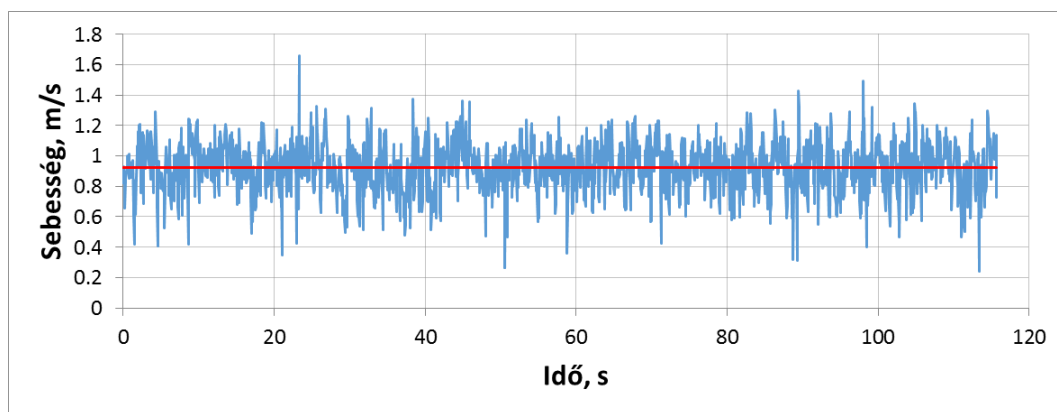
**Sebességmérési
pontok**

A Parshall csatorna rohanó vízmozgású, alvízi szakaszán kijelölt sebességmérési pontok

Mivel a rohanó, turbulens áramlást nagy sebesség-ingadozás jellemzi, egy-egy pontban hosszabb ideig szükséges a méréseket végezni ahhoz, hogy egy stabil átlagérték beálljon. A mérést megelőző teszteken azt tapasztaltuk, hogy pontonként kb. két perc mérési idő szükséges, így a mérési kampány során minden esetben így jártunk el. Egy „pillanatnyi” vízhozam meghatározása kb. 12 percet vett igénybe, figyelembe véve a mérési pontok között a műszer áthelyezését is.

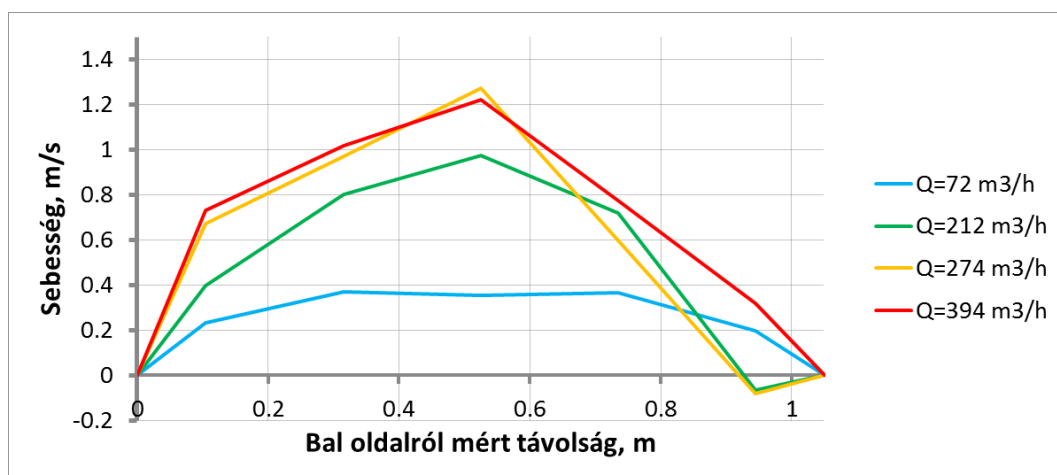
A megbízótól kapott karakterisztikus napi vízhozam idősor alapján látható volt, hogy a csatornán átfolyó vízhozam kb. 100-400 m³/óra között változik, napi egy minimummal és 2-3 maximummal. A legalacsonyabb vízfogyasztás jellemzően hajnali 2 és 5 óra között figyelhető meg, a maximum pedig délelőtt 10 óra körül. A lehető legszélesebb vízhozam tartomány felmérésére ezért a 4-14 óra közötti időszakot jelöltük ki. Ez alatt az időszak alatt összesen 19 mérést hajtottunk végre, ami így ugyanennyi pontot eredményezett a Parshall csatorna vízhozamgörbéjén.

A sebességmérést a teljes vízoszlop magasság felében végeztük, ami egy, a teljes mérési függélyre reprezentatív sebességadatot eredményezett. Egy tipikus sebesség idősort mutat be az alábbi ábra, amin jól látható a turbulencia okozta intenzív sebességingadozás, ami egy jól kivehető átlagsebesség körül történik (utóbbi piros vonallal jelölve). A vízhozam számításához csak a csatorna tengelyével párhuzamos sebesség összetevőt használtuk fel, mert a vízszállítás csak ebben az irányban történik.



A Parshall csatorna alvízi szakaszán rögzített tipikus áramlási sebesség idősor (kék: pillanatnyi értékek, piros: időátlagolt érték)

Igazolandó, hogy szükséges a keresztmetszvény menti több mérési pont felvétele mutatjuk be az alábbi ábrát, amely a szelvény menti sebességeloszlásokat ábrázolja négy különböző esetén. Jól látható, hogy a szelvény menti eloszlás nem egyenletes, mert míg a legkisebb és legnagyobb vízhozamoknál középen jelentkeznek a legnagyobb sebességek, a kettő közötti tartományban még visszaforgó áramlás is kialakult és a vízszállítás nagyobb része a csatorna bal oldala felé mozdult el.



A vízhozam mérési szelvényben kialakuló keresztmetszvény menti sebességeloszlások négy kiragadott vízhozam érték esetén

Eredmények

Minden keresztaszvéný menti sebességmérés előtt és után rögzítettük a vízmélységet a mérési szelvényben és a Parshall csatorna mérőpontján is. A vízhozamok meghatározását a sebességek keresztaszvéný menti integrálásával határoztuk meg, ahol a vízmélységet a mérés előtti és utáni mélység átlagával adtuk meg, ami egyszerűsítések után a következő képlettel adható meg:

$$Q = \bar{v} \cdot \bar{h} \cdot B$$

ahol:

$\bar{v}$ = keresztaszvéný menti átlagsebesség [m/s]

$$\bar{v} = \sum_{i=1}^5 v_i$$

v_i = 2 perces időátlagolt sebességek az öt mérési pontban

$\bar{h}$ = átlagos vízmélység a szelvényben [m]

$$\bar{h} = \frac{h_1 + h_2}{2}$$

h_1 és h_2 a közvetlenül a sebességmérés elején és végén rögzített vízmélység a mérési szelvényben

B = csatorna szélessége ($B = 1,05$ m)

A mérések során kapott átlagsebességeket, vízmélységeket és a fenti összefüggés segítségével számított vízhozam adatokat mutatja be a következő táblázat. Felhívjuk a figyelmet arra, hogy a 10 órán keresztül végzett mérések során a legkisebb detektált vízhozam $72 \text{ m}^3/\text{h}$, a legnagyobb pedig $394 \text{ m}^3/\text{h}$ volt. A Parshall csatornára a következőkben megadott vízhozam-vízmélység kapcsolat így erre a tartományra ad jó értékeket, ezek alatt és felett a megadott függvény alapján extrapolálunk.

A mérési kampány során kapott időátlagolt sebesség, vízmélység és számított vízhozam adatok összesítő táblázata

mérés száma	v_1 [m/s]	v_2 [m/s]	v_3 [m/s]	v_4 [m/s]	v_5 [m/s]	h_1 [m]	h_2 [m]	B [m]	$v_{\text{átl}}$ [m/s]	$h_{\text{átl}}$ [m]	Q [m ³ /s]	Q [m ³ /h]
1	0.20	0.21	0.36	0.33	0.11	0.09	0.08	1.05	0.24	0.085	0.0215	77
2	0.42	0.37	0.29	0.27	0.26	0.035	0.087	1.05	0.32	0.061	0.0206	74
3	0.23	0.37	0.35	0.37	0.20	0.075	0.051	1.05	0.30	0.063	0.0201	72
4	0.24	0.37	0.26	0.35	0.18	0.07	0.095	1.05	0.28	0.0825	0.0243	87
5	0.27	0.33	0.57	0.45	0.00	0.062	0.067	1.05	0.32	0.0645	0.0219	79
6	0.53	0.47	0.46	0.42	0.13	0.071	0.086	1.05	0.40	0.0785	0.0333	120
7	0.55	1.00	1.25	0.50	-0.04	0.068	0.088	1.05	0.65	0.078	0.0534	192
8	0.40	0.80	0.97	0.72	-0.07	0.11	0.089	1.05	0.57	0.0995	0.0591	213
9	0.74	1.05	1.26	0.74	-0.09	0.092	0.074	1.05	0.74	0.083	0.0643	232
10	0.58	1.04	0.99	0.57	0.03	0.094	0.091	1.05	0.64	0.0925	0.0622	224
11	0.75	1.04	0.81	0.53	-0.07	0.09	0.107	1.05	0.61	0.0985	0.0633	228
12	0.66	1.00	0.83	0.81	0.04	0.093	0.132	1.05	0.67	0.1125	0.0789	284
13	0.78	0.95	1.06	0.76	-0.08	0.091	0.091	1.05	0.70	0.091	0.0664	239
14	0.67	0.97	1.27	0.60	-0.08	0.106	0.105	1.05	0.69	0.1055	0.0760	274
15	0.73	1.02	1.22	0.78	0.32	0.157	0.099	1.05	0.81	0.128	0.1093	394
16	1.48	1.28	0.81	0.55	0.00	0.065	0.079	1.05	0.82	0.072	0.0622	224
17	0.71	0.55	1.26	1.08	1.33	0.101	0.109	1.05	0.98	0.105	0.1086	391
18	0.65	0.92	0.82	0.46	-0.13	0.092	0.102	1.05	0.55	0.097	0.0556	200
19	0.58	0.80	0.60	0.84	-0.12	0.131	0.083	1.05	0.54	0.107	0.0605	218

A sebességmérésekkel párhuzamosan a Parshall csatorna hitelesítő szelvényében végrehajtott vízmélység mérések eredményeit közli a következő táblázat. Hasonlóan a fentiekhez, ebben a szelvényben is minden sebességmérés előtt és után rögzítettünk vízmélységeket és a kettő átlagával adtuk meg a kérdéses vízhozamhoz tartozó mélységet.

A mérési kampány során számított vízhozam és a Parshall csatornán mért vízmélység adatok összesítő táblázata

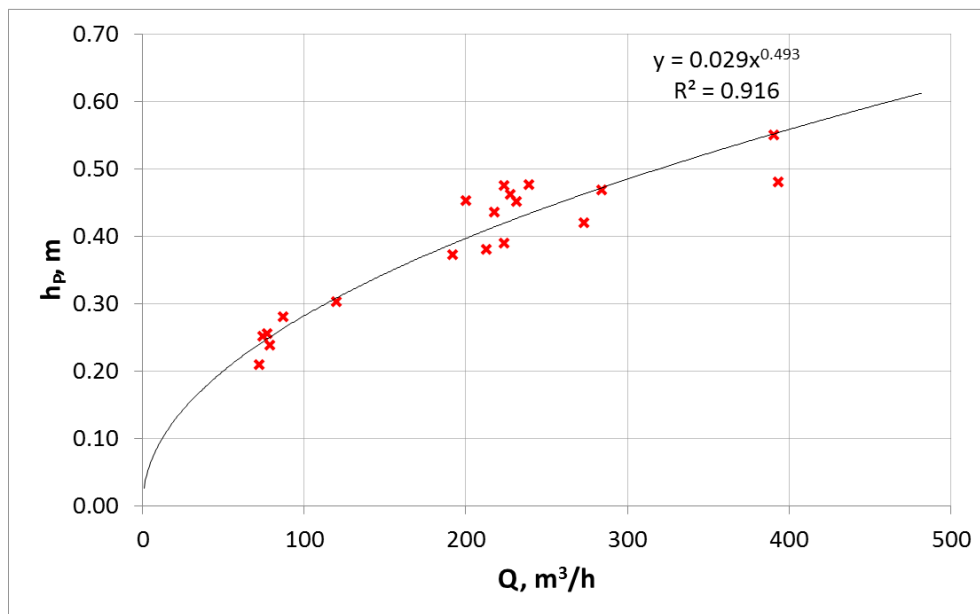
Q [m ³ /h]	h _{p1} [m]	h _{p2} [m]	h _{pátl} [m]
77	0.23	0.28	0.26
74	0.189	0.314	0.25
72	0.21	0.209	0.21
87	0.232	0.329	0.28
79	0.29	0.187	0.24
120	0.231	0.373	0.30
192	0.382	0.362	0.37
213	0.436	0.325	0.38
232	0.441	0.462	0.45
224	0.386	0.392	0.39
228	0.46	0.462	0.46
284	0.494	0.442	0.47
239	0.46	0.491	0.48
274	0.414	0.425	0.42
394	0.5	0.459	0.48
224	0.302	0.648	0.48
391	0.64	0.459	0.55
200	0.455	0.45	0.45
218	0.399	0.471	0.44

A fenti táblázatban félkövérrrel szedett vízhozam és vízmélység adatokat ábrázoltuk grafikonon a következő ábrán. A mérési adatokra egy hatványfüggvényt illesztettünk, mivel a Parshall csatorna vízhozamgörbéje ilyen alakban adandó meg. A mérési pontok megadott függvényre való illeszkedésének erősségét a grafikonon megjelenített korrelációs együtthatóval jellemezhetjük, ami jelen esetben $R^2=0,916$, vagyis nagyon erős. Ez alapján kijelenthető, hogy a mérési pontok reprezentatívak abban a vízhozam tartományban, ami a mérési napon rögzíthető volt.

A Parshall csatorna vízhozam-vízmélység összefüggését a lenti grafikonon megjelenített képletet Q-ra rendezve a következő módon adjuk meg:

$$Q = 1104 \cdot h_p^{1,86}$$

ahol a vízhozam (Q) m³/h-ban, a Parshall csatorna hitelesítési szelvényénél kialakuló vízmélység (h_p) pedig méterben értendő



A Parshall csatornára kapott vízhozam-vízmélység kapcsolat

A Parshall csatornára kapott vízhozam-vízmélység kapcsolat táblázatos formában

h_p [m]	Q [m ³ /h]	Q [l/s]	h_p [m]	Q [m ³ /h]	Q [l/s]	h_p [m]	Q [m ³ /h]	Q [l/s]
0.05	4.20	1.17	0.37	173.70	48.25	0.69	553.68	153.80
0.06	5.89	1.64	0.38	182.53	50.70	0.7	568.70	157.97
0.07	7.85	2.18	0.39	191.57	53.21	0.71	583.91	162.20
0.08	10.06	2.79	0.4	200.81	55.78	0.72	599.30	166.47
0.09	12.52	3.48	0.41	210.25	58.40	0.73	614.88	170.80
0.1	15.23	4.23	0.42	219.88	61.08	0.74	630.64	175.18
0.11	18.19	5.05	0.43	229.72	63.81	0.75	646.58	179.61
0.12	21.38	5.94	0.44	239.76	66.60	0.76	662.71	184.09
0.13	24.82	6.89	0.45	250.00	69.44	0.77	679.03	188.62
0.14	28.49	7.91	0.46	260.43	72.34	0.78	695.52	193.20
0.15	32.39	9.00	0.47	271.06	75.29	0.79	712.20	197.83
0.16	36.52	10.14	0.48	281.89	78.30	0.8	729.06	202.52
0.17	40.88	11.36	0.49	292.91	81.36	0.81	746.11	207.25
0.18	45.46	12.63	0.5	304.13	84.48	0.82	763.33	212.04
0.19	50.28	13.97	0.51	315.54	87.65	0.83	780.74	216.87
0.2	55.31	15.36	0.52	327.14	90.87	0.84	798.33	221.76
0.21	60.56	16.82	0.53	338.94	94.15	0.85	816.10	226.69
0.22	66.04	18.34	0.54	350.94	97.48	0.86	834.05	231.68
0.23	71.73	19.93	0.55	363.12	100.87	0.87	852.18	236.72
0.24	77.64	21.57	0.56	375.50	104.31	0.88	870.49	241.80
0.25	83.77	23.27	0.57	388.07	107.80	0.89	888.98	246.94
0.26	90.11	25.03	0.58	400.83	111.34	0.9	907.65	252.13
0.27	96.66	26.85	0.59	413.78	114.94	0.91	926.50	257.36
0.28	103.42	28.73	0.6	426.92	118.59	0.92	945.53	262.65
0.29	110.40	30.67	0.61	440.25	122.29	0.93	964.74	267.98
0.3	117.59	32.66	0.62	453.77	126.05	0.94	984.13	273.37
0.31	124.98	34.72	0.63	467.48	129.86	0.95	1003.69	278.80
0.32	132.59	36.83	0.64	481.38	133.72	0.96	1023.44	284.29
0.33	140.40	39.00	0.65	495.47	137.63	0.97	1043.36	289.82
0.34	148.42	41.23	0.66	509.74	141.59	0.98	1063.45	295.40
0.35	156.64	43.51	0.67	524.20	145.61	0.99	1083.73	301.04
0.36	165.07	45.85	0.68	538.85	149.68	1	1104.18	306.72