

A Bükkös-patak felmérése

szerző: Simon Tamás

konzulens: Dr. Takács Bence

Általános- és Felsőgeodézia Tanszék



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Építőmérnöki kar

2012. évi TDK konferencia

2012. november 14.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés

- 1.1. Előzmények
- 1.2. Célkitűzéseink
- 1.3. A Bükkös-patak környezete

2. Alkalmazott felmérési módszerek bemutatása

- 2.1. Csak RTK GPS-sel végzett mérés
- 2.2. RTK GPS és mérőállomás vegyesen
- 2.3. Gyors statikus GPS és mérőállomás vegyesen

3. A keresztshelvények elkészítése

- 3.1. A keresztshelvények részletpontjainak kiválasztása
- 3.2. Egy keresztshelvény részletpontjainak rendezése
- 3.3. Modellezés szempontjából fontos részletek felmérése

4. Tapasztalataim, valamint a munka összegzése

- 4.1. Az elvégzett feladat mennyisége és tanulságai
- 4.2. A pontos geometria ismeretének hatása

5. Felhasznált irodalmak

1. Bevezetés

1.1. Előzmények

A dolgozat a BME Építőmérnöki Karán a 2012. évi Tudományos Diákköri Konferenciára készült. Az Építőmérnöki Kar Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszéke egy ideje foglalkozik a Pilis hegységben eredő Bükkös-patak komplex hidraulikai és hidrológiai vizsgálatával. A munka keretében többek között a 2011. évi TDK Konferencián Széles Borbála készített dolgozatot [Széles, 2011]. Széles Borbála munkájának egyik fő célja a patak vízgyűjtőjének modellezése a HEC-RAS programmal, amely alkalmazásához nagy mennyiségű hidrológia adatsora van szükség. Borbála ezek mérésével, számításával sikeresen felállított egy működő modellt, amely némely esetben bizonytalannak látszott. A pontatlan modellezés egyik fő hibaforrása a patak vízgyűjtőjének és medrének hiányos geometriai ismeretére vezethető vissza.

Így felmerült az igény, hogy a kutatások folytatásához szükség lenne a patak geodéziai felmérésére. Szerencsés véletlen, hogy az Általános- és Felsőgeodézia Tanszéken Hubina Máté 2010-es diplomamunkája keretében felmérte a patak nagyjából Szentendre város belterületére eső mintegy 2.5 km hosszú szakaszát [Hubina, 2010]. Diploma dolgozata lényegében a patak szabályozásának tervezéséhez nyújtana geodézia ismereteket, valamint a használt mérési módszerek, technológia bemutatását, véleményezését tartalmazza.

Máté munkája során a szelvényeket 20 méterenként, a sodorvonalra merőlegesen 40m szélesen mérte fel, így ez a szelvényezési sűrűség a modellezés szempontjából bőven elegendőnek bizonyult.

1.2. Célkitűzéseink

A TDK munka kezdetén célul tűztük ki, hogy a patak egy újabb szakaszát felmérjük (1. ábra) A Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék iránymutatása alapján a keresztzelvények felvétele mintegy 100 méteres sűrűséggel elegendő. Az előbb említett diplomamunkában felmért szakasz végétől indultunk felfelé a forrás irányába.

Ma a hasonló geodéziai munkákat gyakran részben, vagy teljesen GPS-technikával végzik. Így a TDK munka második célja, hogy megvizsgáljuk hogyan használható a GPS-technika hasonló feladatokhoz. A felmériendő szakasz lombos erdőn húzódik végig. További nehézséget jelent, hogy a munkaterület egy részén nincs mobil télerő, emiatt az interneten elérhető RTK-korrekciók vétele nem lehetséges.



1. ábra A felmérendő szakasz

1.3. A Bükkös-patak környezete

A Bükkös-patak a Pilis hegységben, Dobogókő közelében ered mintegy 600 méteres tengerszintfeletti magasságban és Szentendre érintésével torkollik a Dunába, ami hozzávetőlegesen 110 méteres magasságban található. Így igen változatos környezetben halad végig 17 km-es útja során. A patak több részre tagolható: egy hegyvidéki felső (2. ábra), (amely igen heves folyású), egy szabályozatlan középső (3. ábra) (itt a felső szakaszon kimosott hordalék egy részét lerakja a patak, így lassabb, kanyargósabb meder alakul ki). A harmadik szakasz egy szabályozott alsó városi rész, amely sok helyen burkolt, valamint kisebb árvízvédelmi töltéssel határolt.

A patak a vízgyűjtő domborzatából adódóan igen nagy vízjárással rendelkezik. A 2010. év után nagyobb figyelmet kapott, amikor is az árvíz jelentős károkat okozott a környező utakban, házakban, műtárgyakban.

Emellett vízgyűjtőjének nagy része helyi természetvédelmi terület, a környéket sok turista látogatja a szépsége miatt.



2. ábra Bükkös-patak látképe



3. ábra Bükkös-patak látképe

2. Alkalmazott felmérési módszerek bemutatása

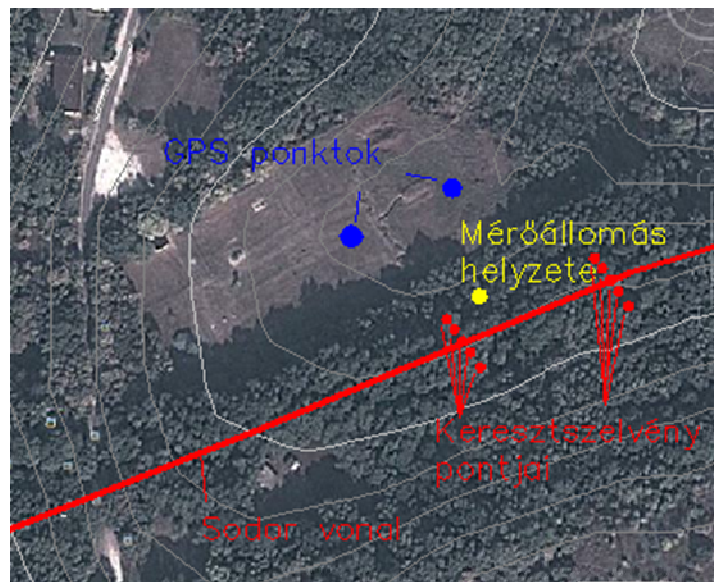
2.1. Csak RTK GPS-sel végzett mérés

A felméréendő terület első szakaszán az erdő sűrűsége és a mobil internet elérhetősége lehetővé tette, hogy a részletpontokat hálózati RTK korrekciók segítségével, GPS-technikával határozhassuk meg. A műszer (Topcon Hiper) elegendően sok amerikai és orosz műholdat látott, így a pontokat 1-2 perces várakozással meg tudtuk határozni. A környezet itt még elég rendezet, sokszor még a fák takarása sem igen zavarta a mérést. A méréseket tél végén végeztük, a fákon még nem voltak levelek és a patak jege már többnyire elolvadt.

2.2. RTK GPS és mérőállomás vegyesen

Feljebb haladva a patakon annak ellenére, hogy műszerünk még elég műholdat látott és internet kapcsolatunk is stabil volt, mégis a mérési idő egy-egy meghatározásánál felugrott 3-4 percre.

Ezért hatékonyságunk növelése érdekében a GPS-vevő mellett elkezdtünk mérőállomást is használni. Így egy álláspont meghatározásához 2 GPS-pontot határoztuk meg, olyan helyen, ahol a centiméteres pontosságú GPS-mérésre jó esély volt (4. ábra). Ezután felállítottuk a mérőállomást olyan helyen, ahol a két GPS-pontra ráláttunk, illetve ahonnan a szelvénypontokat fel tudtuk venni. Ügyeltünk arra is, hogy a két GPS-pont és a mérőállomás ne legyen egy egyenesen. További fontos szempont volt a mérőállomás elhelyezésénél, hogy egy álláspontból ne csak egy szelvényt tudjunk felvenni, hanem lehetőleg minél többet.



4. ábra A műszerek optimális elhelyezése

Evvel a módszerrel még nehéz terep viszonyok között is elég jól tudunk dolgozni. Átlagosan 8-10 perc alatt egy szelvényt fel tudunk venni, ami legalább 5-6 pontból állt, így visszatért az 1-2 perces pont meghatározási arány.

Viszont ez a mérési eljárás több hiba lehetőséget is hordoz már magában. Ilyen például:

- mérőállomás mérés közbeni elmozdulása A mérés idején többször dolgoztunk fagyott talajon. Ha a műszerbe épített kompenzátor ezt jelezte, akkor az állótengelyt újra függőlegessé tettük, majd újabb 2 GPS-pontot határoztunk meg, ezekre a mérőállomással újra ráértünk. Szerencsére ez ritkán fordult elő.
- GPS antenna-bot és a prizmatot külpontossága: A GPS-pontokat nem jelöltük meg, rögtön a GPS-mérés után tettük szemre ugyanoda a prizmat.
- GPS által meghatározott koordináták hibája

A mérést helyi rendszerben végeztük, a GPS-pontokra végzett mérések alapján a szabadálláspont koordinátáit, magasságát és a középtájékozási szöveget utólag, GeoEasy programmal számoltuk.

A mérésünk ellenőrzéséhez egy állásponthoz használt két GPS-pont egymáshoz viszonyított magasság különbségét összehasonlítottam az ugyanezen két pont mérőállomással mért magasság különbségével. Hasonló ellenőrzést végeztem a GPS-pontok távolságára is. Ezeket az értékeket táblázatos formában dokumentáltam (1. táblázat), amelyből látható, hogy méréseinket egy álláspont esetén nagy valószínűséggel durva hiba terheli, így ezt a szelvényt (29. álláspont) töröltem. A többi álláspont esetén kapott eltérések az adott feladat szempontjából elfogadhatóak.

A patak igen jelentős részét ennek, módszernek a segítségével mértük fel, ami annak volt köszönhető, hogy internet kapcsolatunk elég sokáig elérhető volt. Mivel 2-3 szelvényenként kellett 2 GPS pont így, az sem jelent gondot, ha egy kicsit várakozni kellett, mert az adat forgalom szakadozott. Mindez nem hátráltatta a munkát jelentős mértékben.

Amikor elértük azokat a szelvényeket, amiket már az említett módon is nagyon lassan és körülményesen tudtuk haladni, új koncepció szerint kezdtünk dolgozni. Míserint a GPS bázisvevő egységet felállítottuk egy olyan ponton, amit még meg lehetett határozni RTK pont meghatározási módszerrel, ezután a műszer e részét a pont felet hagyva saját bázisként használtuk. A műszer rover vevőjével pedig ugyan úgy dolgozhatunk tovább, mint eddig, csak a korrekciókat nem az internetről kaptunk, hanem a bázisvevő rádió sugározta számunkra. A módszer kétségtelen hátránya, hogy vevőpárra és azok saját kommunikációjára van szükség, valamint a bázisvevőt őrizni szükséges (eggyel több ember). Előnye, hogy terepi internet hiányában is használható. Fontosnak tartjuk megjegyezni, hogy tapasztalataink alapján a kommunikációs rádió hatótávolsága kb. 800 méter volt. A hatótávolság kevésbé fedett, sík terepen, magasabbra helyezett antennával minden bizonnyal növelhető.

álláspont	1. GPS pont	2. GPS pont	GPS -el mért távolság, és magasság különbség (m)		mérőállomással mért távolság, és magasság különbség (m)		Δ távolság, Δ magasság (m)	
1	165	166	22,44	1,06	22,41	1,09	0,03	0,03
2	167	168	13,78	0,11	13,81	0,11	0,03	0,00
3	169	170	43,39	0,10	43,44	0,10	0,05	0,00
4	171	172	69,24	2,65	69,12	2,62	0,12	0,03
5	173	174	11,54	0,16	11,64	0,17	0,11	0,01
6	175	176	22,54	0,04	22,52	0,12	0,02	0,08
7	177	178	43,17	0,37	43,21	0,36	0,04	0,01
8	179	180	9,52	0,30	9,52	0,27	0,00	0,03
9	181	182	43,17	0,47	43,24	0,47	0,07	0,00
10	183	184	19,26	2,94	19,23	2,92	0,03	0,02
11	185	186	25,50	0,19	25,41	0,20	0,09	0,00
12	187	188	29,26	2,81	29,36	2,86	0,10	0,06
13	189	190	28,43	0,80	28,43	0,86	0,00	0,07
14	191	192	22,69	0,25	22,64	0,23	0,05	0,02
15	193	194	29,26	1,01	29,20	1,03	0,06	0,02
16	195	196	47,08	0,04	47,11	0,07	0,03	0,04
17	197	198	18,84	0,25	18,85	0,19	0,02	0,06
18	199	200	34,62	1,01	34,68	0,98	0,06	0,03
19	201	202	43,37	4,74	43,38	4,70	0,01	0,04
20	203	204	117,86	0,80	117,83	0,75	0,03	0,05
21	205	206	18,83	0,94	18,72	0,93	0,10	0,01
22	207	208	18,92	0,23	18,85	0,19	0,07	0,05
23	209	210	23,19	0,18	23,21	0,17	0,02	0,01
24	219	218	24,76	1,29	24,77	1,31	0,01	0,02
25	221	220	21,61	0,59	21,59	0,56	0,02	0,04
26	223	222	14,13	0,35	14,16	0,36	0,03	0,01
28	225	226	8,67	1,69	8,66	1,70	0,01	0,01
29	227	228	67,56	3,80	67,90	3,82	0,34	0,02
30	229	230	32,55	1,07	32,58	1,07	0,04	0,00
31	231	232	12,58	0,44	12,56	0,48	0,03	0,04
32	233	234	29,91	1,24	29,95	1,26	0,04	0,02
33	235	236	4,15	0,01	4,14	0,00	0,00	0,01
34	237	238	12,56	0,10	12,55	0,13	0,01	0,02
35	239	240	35,02	1,22	35,00	1,20	0,01	0,03

Átlagosan: 0,05 0,03

1. táblázat GPS-sel és mérőállomással mért távolságok és magasságkülönbségek

2.3. Gyors statikus GPS és mérőállomás vegyesen

Amikor elértük az a szakaszt, hogy internet kapcsolatunk már egyáltalán nem volt használható, akkor áttértünk egy másik módszer használatára. Nevezetesen utófeldolgozós módszerrel létesítettünk új alappontokat (5. ábra).



5. ábra Utófeldolgozással meghatározott alappontok elhelyezése

A módszer megbízható alkalmazásához szükséges a bázis ponton legalább 30 perc folyamatos mérés. Nagyon fontos az antennamagasságok mérése és dokumentálása (6. és 7. ábra). Ezeket a méréseket utólag a Topcon Tools v8.2 programmal dolgoztuk fel.

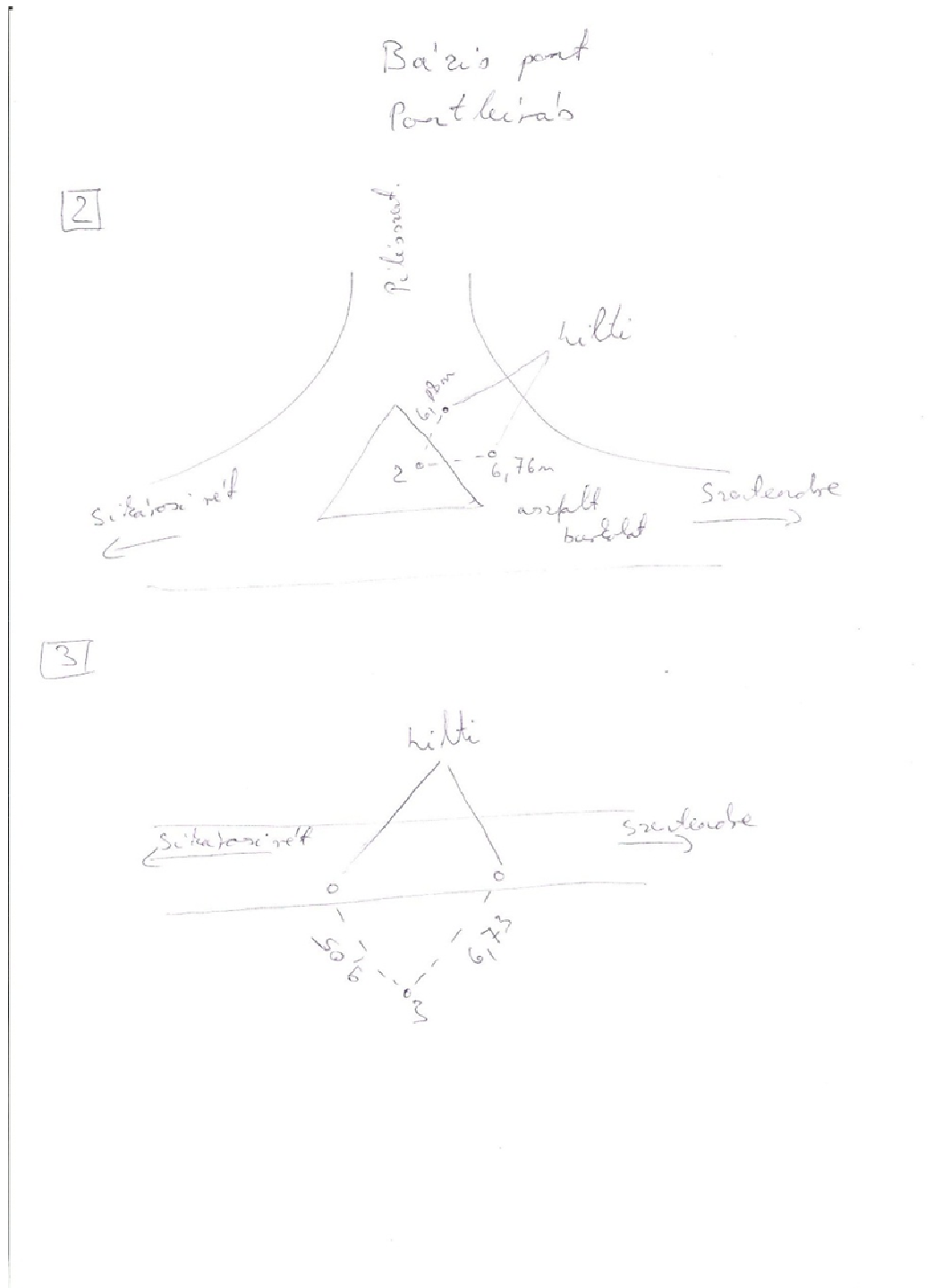


6. ábra 2. Bázis ponton mért antenna magasság



7. ábra 3. Bázis ponton mért antenna magasság

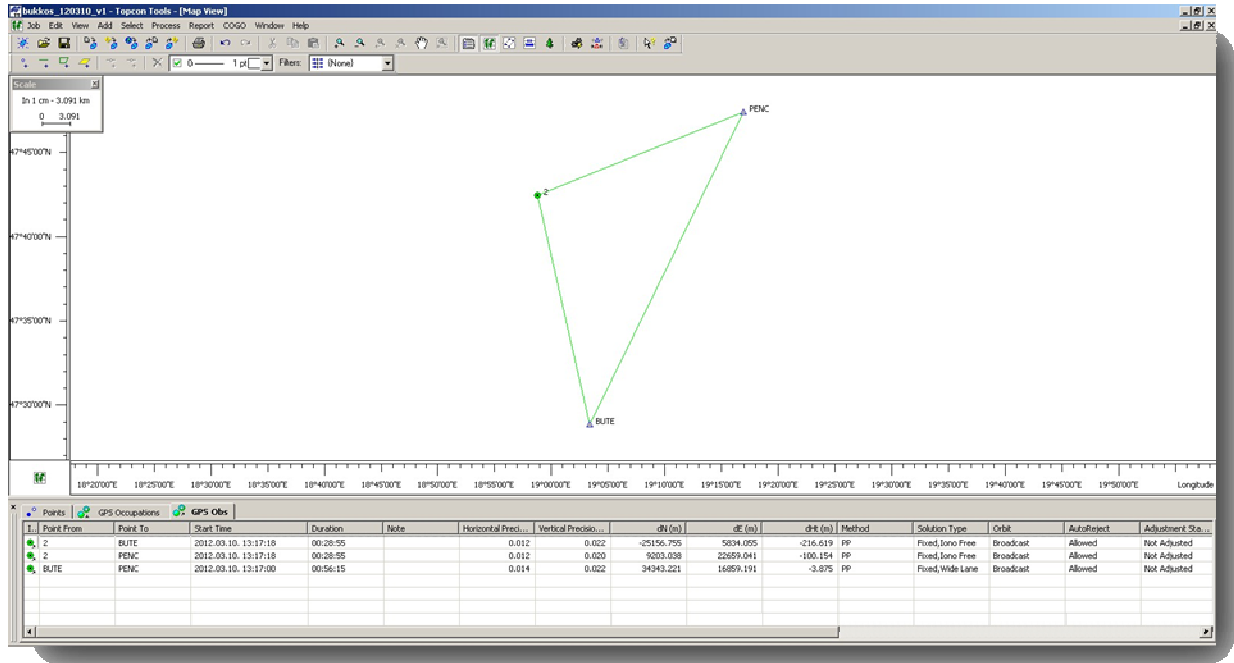
A meghatározott alappontokat tövig levert cövekkel állandósítottuk. Későbbi megtalálásuk érdekében a pontokról pontleírásokat készítettünk. (8. ábra)



8. ábra Pont leírás bázis pontokról

Bázispontként a BME és a penci KGO permanens állomásait használtuk fel. Az adatok a gnss.hu oldalról töltöttük le. A Topcon Tools programba bevitt adatok feldolgozása után látszódtott, hogy a feldolgozott vektorok becslő pontossága 2cm környékén van. Megjegyezzük, hogy

meghatározandó pontjaink igen messze vannak a permanens állomásoktól, BME-n lévő állomástól kb. 26 km-re, a Pencitől pedig kb. 24 km távolságra voltunk (9. ábra). Ennek azért van jelentősége, mert minél hosszabb a vektor, annál bizonytalanabb eredmények szülehetnek.



9. ábra Az utófeldolgozott vektorok

1.	Name	Latitude	Longitude	Ell. Height (m)	Code	Control	Note	Photo Notes	Layer	Source	Std Dev n (m)	Std Dev e (m)	Std Dev u (m)	Std Dev Hz (m)	Point Symbol	Geoid Sea
2	BUTE	47°42'26.027237"N	19°58'44.887657"E	345.079		None			0	F:\tdk\jarmonta...	0.009	0.006	0.015	0.010	B/LAYER	
	BUTE	47°28'51.397417"N	19°03'23.507037"E	130.798		Both			0	F:\tdk\jarmonta...	0.000	0.000	0.000	0.000	B/LAYER	
	PENC	47°47'22.561067"N	19°16'53.487747"E	291.743		Both			0	F:\tdk\jarmonta...	0.000	0.000	0.000	0.000	B/LAYER	

10. ábra Utófeldolgozás utáni pontosság

A bázis pontok egyenkénti 30 perces mérése után a GPS bázisvevő egységét az 1 ponthoz hasonlóan a megmért ponton hagyva sugározza a korrekciós jeleket a GPS rover vevő egységének. Az alappontok meghatározása után a saját bázist használó módszerrel tudtunk a továbbiakban a részletpontokat meghatározni.

3. A keresztshelvények elkészítése

3.1. A keresztshelvények részletpontjainak kiválasztása

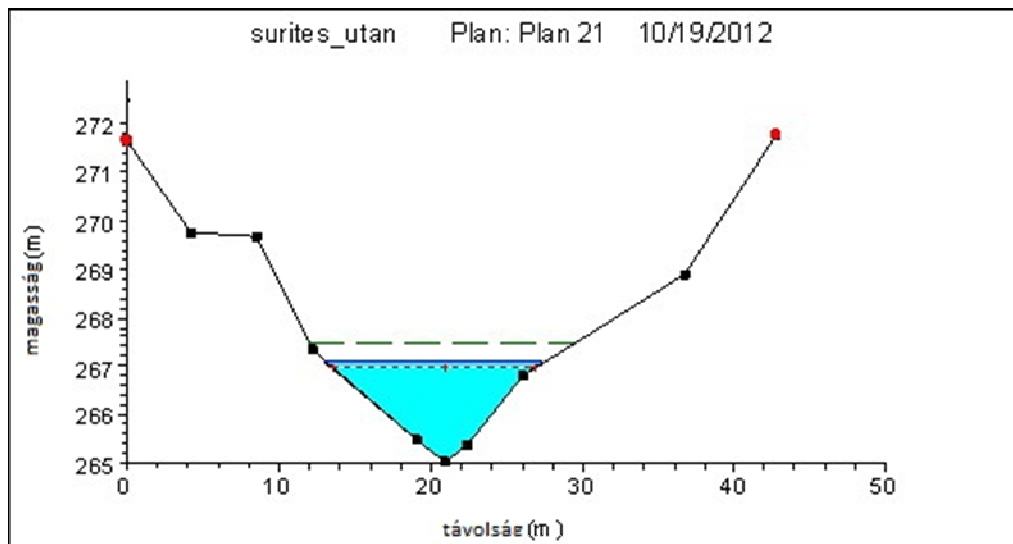
Az egyes keresztshelvények felmérésekor a felvett pontoknak a számát a meder alakja határozta meg, így lehetséges, hogy egyes shelvényekhez elegendő 5, míg másokhoz 12 pont is szükséges. Egyes shelvényeken belül figyelni kell arra, hogy a felmért pontok a meder jellegzetességeit tükrözzék. Így egy jellemző shelvényben szükséges a sodorvonalban, a méréskor lévő vízállás szélein egy-egy pont. Amennyiben ez nem esik egybe a főmeder két alsó szélső pontjával, akkor ott is szükséges egy-egy pont. Szükség van még a főmeder koronapontjaira és a sodorvonaltól mért megfelelő távolságra felvett pontokra is, és persze a keresztshelvények minden további töréspontjában is.

A megfelelő távolságra lévő pontok kiválasztásánál a lényeges mérnöki szempont, hogy olyan pontokat kell meghatározni, amelyek a mindenkori legnagyobb vízállásnál sincsenek víz alatt. Ennek azért van jelentősége, mert a modellezés során esetlegesen nagyobb vízhozam alakulna ki, mint ami a miáltalunk felvett keresztmetszetben elérne, akkor az torzítani fogja az átfolyó víz metszeti képét.

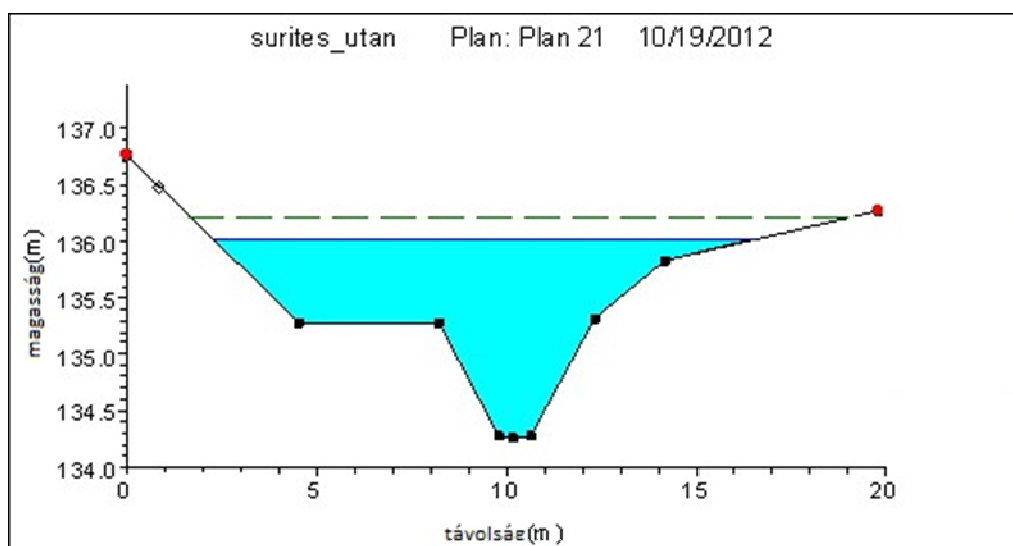
A megfelelő távolság meghatározásához több lehetőségünk is van: egyszerűen hagyatkozunk a mérnöki érzékünkre; vagy kérdezősködhethetünk, a helyi lakosság körében a valaha tapasztalt legmagasabb vízállásra vonatkozóan. Esetünkben ez úgy történt, hogy a vizes kollégák előzetes adatok alapján meghatározták a legnagyobb vízhozamhoz tartozó jellemző keresztshelvényt. Ez alapján a sodorvonaltól legalább 20 m távolságig és legalább 5 m magasságkülönbségig mértünk.

Mérési eredményeink alapján a HEC-RAS ingyenes modellező program segítségével állítottuk elő a keresztshelvényeket, a hossz-shelvényt és a helyszínrajzot. Az adatokat excel táblázatban kell megadnunk, amely tartalmazza a bemért pontokat shelvényezés szerinti sorba rendezését. Ennek a táblázatnak a programba való importálásával a szoftver elkészíti a meder hossz- és keresztshelvényeit, valamint a helyszínrajzát is. (11.-17. ábráig, vigyázat az ábrák léptéke eltérő).

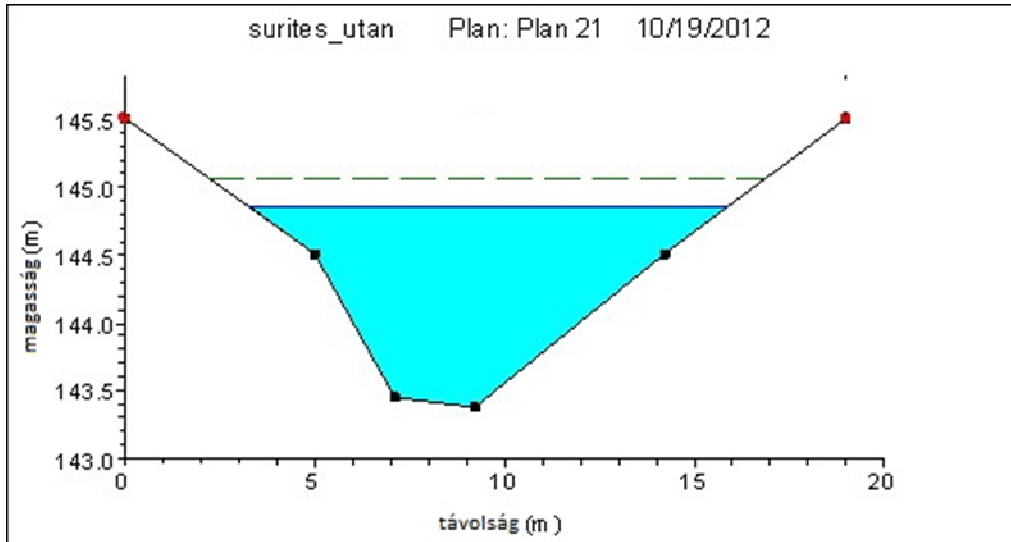
Néhány jellegzetesebb keresztmetszvény bemutatása:



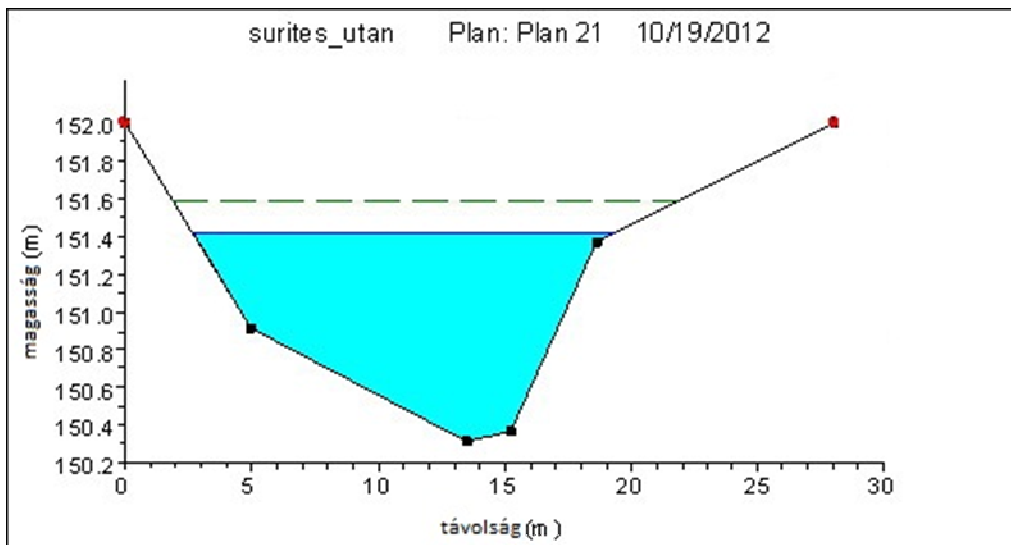
11. ábra Utolsó felmért keresztmetszvény



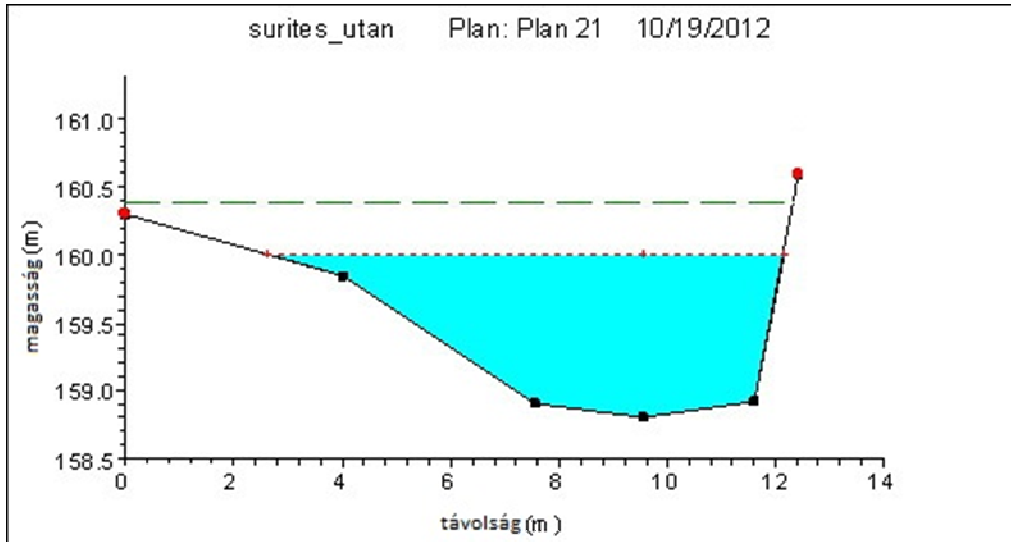
12. ábra Vízmerce keresztmetszvény



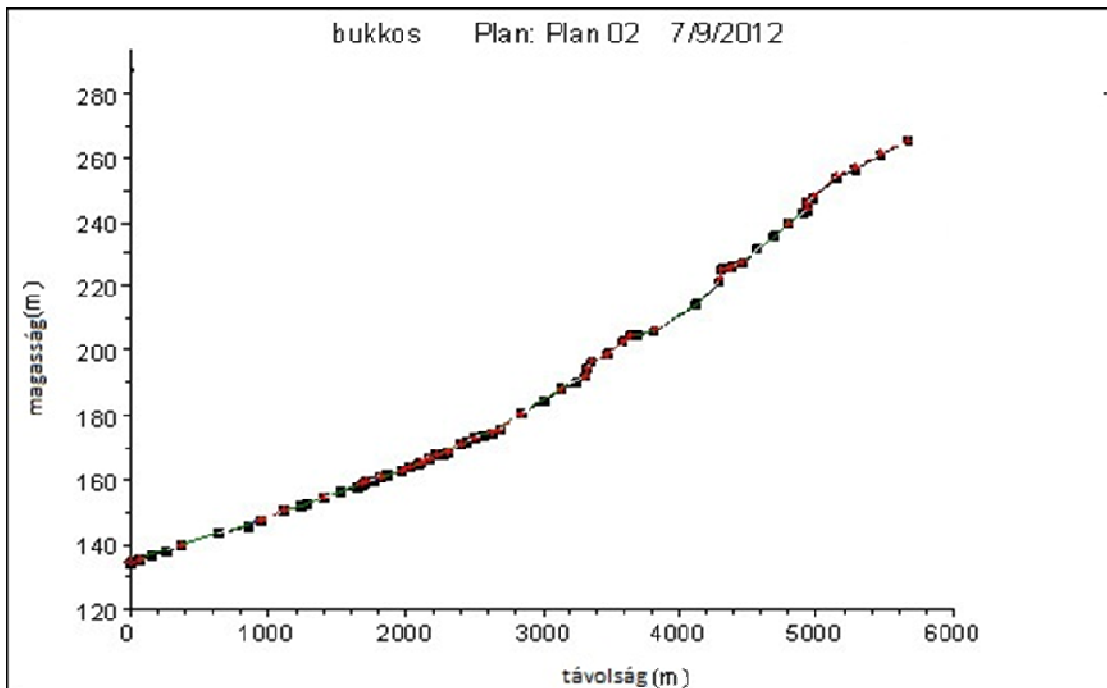
13. ábra keresztmetszvény



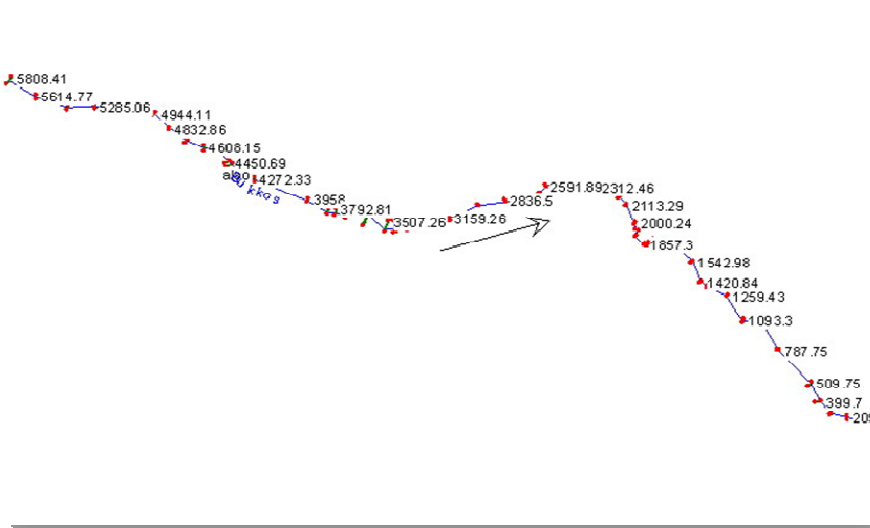
14. ábra keresztmetszvény



15. ábra keresztzelvény



16. ábra Hossz-szelvény

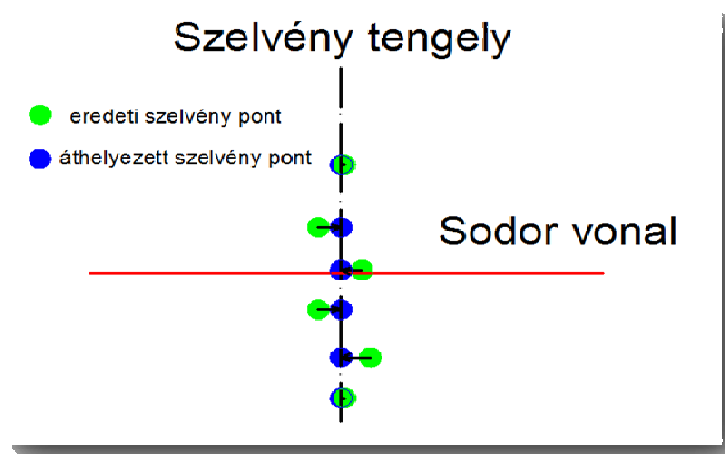


17. ábra Helyszínrajz

3.2. Egy keresztszelvény részletpontjainak rendezése

Munkánk során nem mindig, sőt az esetek nagy többségében nem tudtuk pontosan a sodor vonalra merőlegesen felvenni pontjainkat a domborzat, növényzet miatt. Annak érdekében, hogy szelvényeink merőlegesek legyenek a sodorvonalra ITR program segítségével pontjainkat a sodorvonalra merőleges egyenesére vetítettük. Az egyes szelvények tengely vonalait úgy határoztam meg, hogy szemre próbáltam a legkisebb áthelyezéssel merőlegest megkeresni (18. ábra).

Megjegyezzük, hogy a sodorvonalat a vizes kollégáktól kaptuk, ők az 1:1000-es méretarányú topográfiai térkép digitalizálásával állították elő.



18. ábra A sodor vonalra merőleges szelvényezés elkészítése

3.3. Modellezés szempontjából fontos részletek felmérése

A patak igen jelentős eséssel rendelkezik, ezért igen változatos keresztmetszelvevényekkel rendelkezik. Ahol kisebb esésű szakaszai vannak, ott igen terebélyesre szélesedik; ott viszont ahol nagy az esés, egész keskenyre karcsúsodik, valamint nagymértékben beleváj az alap kőzetbe.

A munkánk során sok vízesést, zúgót mértünk fel. Vannak szinte jelentéktelenek, de igazán nagy 1-1,5 magas vízesések is. Ezek geodézia felmérését csak abban az esetben végeztük el, ha az nagymértékben befolyásolhatja a patak folyását.

A számtalan természeti képződmény mellett, számos műtárgyat is felmértünk munkánk során, melyek nagy része hidak, valamint támfalak voltak. Egy nagyobb méretű vízépítési műtárgyat is felmértünk a patak felső szakaszán, amely egy kb. 5-7 m magas igen rossz állapotban lévő hordalékfogó gát (19. ábra). Az ilyen műtárgyak nagymértékben befolyásolhatják a víz lefolyását a mederben. Támfalak esetén a támfal alsó és felső pontját, valamint a hátfaltól mérve 1-2 m távolságban is bemértünk egy-egy pontot. Az említett nagyobb vízépítési műtárgy Dömör-kaputól nem messze található. Itt egy részletesebb felmérést végeztünk a gát méretei miatt. Ilyen felméréskor fontos megmérni a műtárgy koronaszintjeit, korona szélességét valamint a hosszát. Fontos még, hogy az építmény előtt és után is közvetlenül felmérjünk egy-egy szelvényt a víz útjának pontos meghatározásához.



19. ábra Hordalékfogó gát

4. Tapasztalataim, valamint a munka összegzése

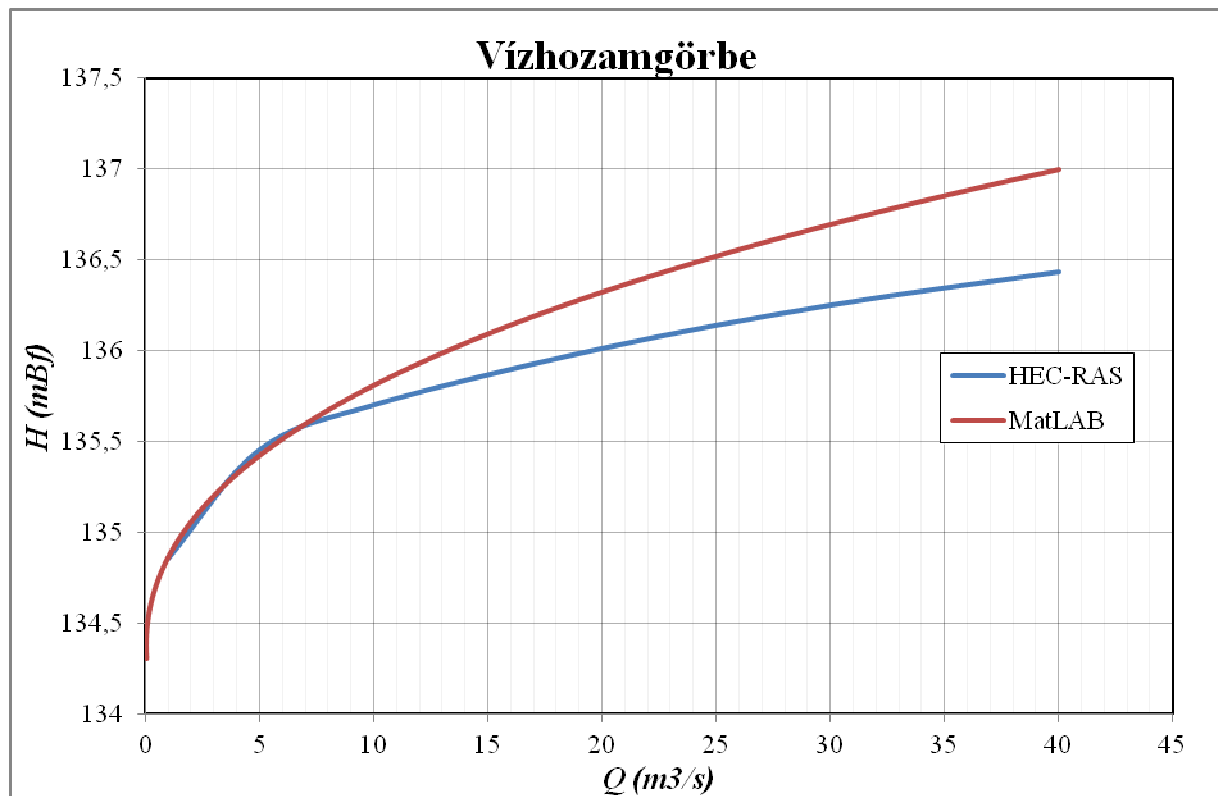
4.1. Az elvégzett feladat mennyisége és tanulságai

Dolgozatban leírom a Bükkös-patak felmérési módját, az alkalmazott GPS módszerekről szerzet ismereteimet, tapasztalataimat. Feladatom során a 4 mérési nap alatt mintegy 6 km hosszan mértük fel a patak medrét. Amely mérések alatt 35 álláspontot, 1 RTK bázispontot és 2 utófeldolgozással meghatározott bázispontot, határoztunk meg. Továbbá 410 részlet pontot és mintegy 140 GPS-es pontot vettünk fel, melyből közel 70 db szelvényrészlet-pont volt. Összesen 64 felmért szelvényt állítottunk elő, ami átlagosan a felmért hosszon 93 méterenkénti szelvényezést jelent.

A leírt három módszer összehasonlításával több tanulság is levonható. Az RTK GPS használat nagyon megkönnyítette és felgyorsította a geodéziai felméréseket. De a legfontosabb tapasztalat az, hogy erdőben (lombosodás előtt) tudunk hatékonyan cm pontos GPS-méréseket végezni. Jellemzően GPS és mérőállomás együttes alkalmazásával mértünk, egy-egy keresztshelvény felmérése kb. 10 percet vett igénybe.

4.2. A pontos geometria ismeretének hatása

Munkák hatására a Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék igen komoly eredményeket ért el a patak modellezésének pontosításában. Mielőtt megtörtént volna a geodézia felmérés, a vízmerce szelvényében mérhető vízállások alapján a MatLAB program segítségével előállították a patakra vonatkozó, 2009. évben mértékadónak elfogadott vízhozam görbéjét, amely a 20. ábrán a piros vonalat jelöli. Felmérési munkánk után, a HEC-RAS futtatásával ennek a görbének a pontosítása történt meg, ami a 20. ábra kék vonalát jelenti. Látható, hogy míg a kisvízmagasságoknál a két modellezés szinte ugyanakkora vízhozamokat határoz meg, addig magas vízállásoknál egyre markánsabban tér el egymástól. Ennek az oka, hogy 2009-ben nem vonultak le olyan nagy árhullámok, amelyek nagy vízhozamot eredményeztek volna, azaz magas vízállások esetén a MatLAB-bal számított nagy vízhozamok bizonytalanok. Ennek a bizonytalanság nagyságrendjének bemutatására a 136,4 mBf-hez tartozó vízhozam értékek összehasonlítása célszerű. A meder geodézia felmérése előtt, a patak vízhozamát a vízrajzi állomás adatainak felhasználásával az előbb említett magassághoz vonatkozóan kb. 25 m³/s-ben határozták meg. Méréseink elvégzése után a modellező program segítségével ez az érték kb. 42 m³/s-ben állapítható meg.



20. ábra Geodézia felmérés hatására kapót Q-H görbe

5. Felhasznált irodalmak

Széles Borbála: A Bükkös-patak vízgyűjtőjének átfogó hidrológiai vizsgálata

BME Építőmérnöki Kar TDK dolgozat, 2011.

Hubina Máté: A Bükkös-patak felmérése és digitális domborzatmodell készítése

BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszék, diplomamunka, 2010.