

NEMZETI KÖZSZOLGÁLATI EGYETEM



Fizikai folyómodellezési alapismeretek

EFOP 3.6.1-16-2016-00025 „A vízgazdálkodási
felsőoktatás erősítése az intelligens
szakosodás keretében”



NEMZETI
KÖZSZOLGÁLATI
EGYETEM



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

SZÉCHENYI 2020

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Fizikai folyómodellezési alapismeretek

EFOP 3.6.1-16-2016-00025 „A vízgazdálkodási
felsőoktatás erősítése az intelligens
szakosodás keretében”

Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Víz tudományi Kar

Szerzők:

Berger Ádám, mérnök

Dr. Tamás Enikő Anna, egyetemi docens

Ficsor Johanna, tudományos segédmunkatárs

Horváthné Papp Márta, mesteroktató

Koch Dániel, egyetemi tanársegéd

Kutassy Emese, mérnök tanár

Baja, 2020.

Tartalomjegyzék

1. A modellezés története és célja	3
2. A fizikai modellek tervezésével és építésével kapcsolatos alapismeretek	4
2.1. A tervezés és építés főbb pontjai	4
2.1.1. Adatgyűjtés	4
2.1.2. Eszközök és erőforrások beszerzése	4
2.1.3. Arányosítás	5
2.1.4. Kitűzés	5
2.1.5. Mederépítés	5
2.1.6. Tesztelés	5
2.1.7. Beavatkozás(ok) rögzítése	5
2.1.8. Vizsgálat végrehajtása	5
2.1.9. Megfigyelés	5
2.1.10. Dokumentálás	6
3. A modellek arányosításával kapcsolatos megfontolások, modelltörvények, számítások	6
4. Geodéziai szempontok, a kitűzés folyamata	7
5. A fizikai kisminta-telep berendezései, gépei, mérő- és egyéb eszközei	8
5.1. Bevezető acéltartály, magastartály tolózárral és bevezetőcsővel	9
5.2. Bukóval ellátott láda	9
5.3. Modell láda	9
5.4. Modell láda vízelvezetője	9
5.5. Mikro sebességmérő műszer és tartozékai	10
5.6. Digitális szintezőműszer	10
5.7. Munkaállvány és fellépő	10
5.8. Nagyfelbontású fényképezőgép	10
6. A modellépítés során alkalmazott technikák, gyakorlatok, mérések elmélete és megvalósítása	11

6.1. A kismintamodellek gyakorlati alkalmazásának lehetőségei	11
6.1.1. Hidromechanikai feladatok megoldása	11
6.1.2. Létesítmények szemléltetése, esztétikai feladatok megoldása	14
6.1.3. Oktatási célok	15
7. Egyszerű fizikai modellezési feladat végrehajtása	15
8. A modell működtetése, mérések, módosítások	16
9. Következtetések levonása, eredmények és értékelésük.....	17
Forrásjegyzék	18
Mellékletek	18

1. A modellezés története és célja

A folyószabályozás egyidősnek tekinthető a civilizáció kialakulásával. Az ókori államok, birodalmak jellemzően folyók mentén, illetve azok torkolatánál alakultak ki. Ennek oka, hogy a folyókban rejlő potenciál minél szélesebb körben hasznosítható legyen. Ugyanakkor a folyók pozitív tulajdonságai mellett jelentős kártétellel is bírnak. Ebből adódóan a folyószabályozást két fő céllal művelték, melyek napjainkban is érvényesek. Egyik cél a vízkár-elhárítás, amely főként a víz, a jég, az uszadék, valamint a hordalék hatékony levezethetőségét biztosítja, anélkül, hogy kár keletkezne. A folyószabályozás másik célja a vízhasznosítás, mely jellemzően a folyami szállítás biztosítása és a vízellátás (ivó-, mezőgazdasági-, ipari vízkivétel). Annak érdekében, hogy a fenti célok elérhetőek legyenek, rendezett, szabályozott vízfolyások szükségesek, melyek mederalakítással, szabályozási művekkel érhetőek el. [1]

„A műszaki tudományok különleges értékét az adja meg, hogy szoros kapcsolatot tart a gyakorlati élettal. ... Megbízhatónak kell lenniük abban a tekintetben is, hogy a természet rendjébe való beavatkozás következményeit előzetesen is megnyugtató biztonsággal meg lehessen ítélni... A XIX. században a matematikai analízis és a deduktív módszerek segítségével kifejlesztett hidrodinamika csaknem elvesztette kapcsolatát a valóságos élettal. Ez átmenetileg a gyakorlati hidraulika fejlődését tapasztalati útra terelte. Az induktív és deduktív kutatómódszerek együttműködését a mechanikai hasonlóság elvére alapított kismintakísérletek teszik lehetővé.” [2]

„A kísérleti minta általában olyan eszköz, melynek működtetésével egy másik rendszerben végbemenő jelenség hasonló mását állítjuk elő és figyelhetjük meg. A kísérleti mintában a jelenségek lefolyásának körülményeit aránylag egyszerű módon befolyásolhatjuk, kis költséggel irányíthatjuk és végeredményben a tapasztalt jelenségek alapján következtetést vonhatunk le a valóságra vonatkozóan. ... Vízépítési modellek a dolog természeténél fogva csaknem minden esetben kisebbek, mint a valóság, a mintázott rendszer. Ezért általában kisminta kísérletekről beszélünk.” [2]

A XX. század nagy részében modellezésre csak a különböző típusú kisminta-vizsgálatok álltak rendelkezésre. A század végére viszont az informatika robbanásszerű fejlődése olyan fejlődést hozott a modellezés világában, ami egy időre a fizikai kisminta vizsgálatok háttérbe szorulását okozta.

Kétségtelen, hogy a numerikus modellezés világában számos új lehetőség áll rendelkezésre, a fizikai kisminta vizsgálatoknak a létjogosultsága nem szűnt meg.

A módszer vízépítésben való alkalmazhatóságát az alábbiakban felsorolt célok támasztják alá:

- a természetben lejátszódó folyamatok feltárása és leírása,
- azon hatások prognosztizálása, amelyek a vízépítési beavatkozások révén alakulhatnak ki,
- a vízi létesítmények, műtárgyak konstrukciójának oly módon történő kialakítása, mely a legmagasabb hatásfokot eredményezi,
- azon intervenciós lépések meghatározása, amelyek a kedvezőtlen állapotok mérséklése, elhárítása miatt indokoltak. [3]

2. A fizikai modellek tervezésével és építésével kapcsolatos alapismeretek

A modellek megépítésével, a tervezett szabályozási beavatkozások modellekben történő kialakításával, a vizsgálatok során lejátszódó folyamatok és hatások megfigyelésével lehetőség nyílik a vízjárás okozta medermódosulások során kialakuló új meder jellemzőinek, valamint a műtárgyakra kifejtett erőhatásoknak a megismerésére. Ebből adódóan a tervezésre nagy hangsúlyt kell fektetni. Törekedni kell arra, hogy a valóságban lejátszódó folyamatokat minél pontosabban adaptáljuk a modellbe, hiszen csak így biztosítható, hogy a tervezett szabályozási beavatkozások modellezése során minél realiztikusabb képet kapjunk a módosulások vonatkozásában.

2.1. A tervezés és építés főbb pontjai

2.1.1. Adatgyűjtés

A tervezés első lépése. Annak érdekében, hogy a modell minél realiztikusabb, minél pontosabb megépítése biztosított legyen, a legfrissebb és a legszélesebb körű adatok gyűjtése indokolt. Az információszerzés során ki kell térni többek között a geomorfológiai, hidrotopológiai, történelmi, területrendezési és nem utolsósorban környezetvédelmi szempontokra is.

2.1.2. Eszközök és erőforrások beszerzése

Szükséges minden olyan eszköz, mint például építőelemek, funkcionális segédeszközök, vizsgálati anyagok beszerzése, továbbá az erőforrások, mint például humán-, pénzügyi erőforrások biztosítása, amelyek nélkül a modell nem lenne kivitelezhető.

2.1.3. Arányosítás

Az arányosítás szintén nagyfokú megfontoltságot és odafigyelést igénylő munkafolyamat. Ekkor ugyanis figyelembe kell venni az arányosítási képleteket és viszonyszámokat, a vizsgált mederszakasz hosszát és szélességét, a modellteret és az eszközpark műszaki paramétereit.

2.1.4. Kitűzés

Precíz és időigényes munkafolyamat. A kitűzés során a modellezett szakasz keresztmetszvényeinek, műtárgyainak pontos megjelölése a cél.

2.1.5. Mederépítés

A mederépítés a kitűzésre épülő folyamat. Ekkor kerülnek helyükre a keresztmetszvények, melyek vonalában kimerhető a meder. Már az építés során is előfordulhat, hogy a tervezetthez képest más módszerekkel, eszközökkel, mennyiségekkel kell dolgozni. Ennek következtében a modellen módosításokat kell végrehajtani.

2.1.6. Tesztelés

Miután az adott állapotok alapján megépítésre került a modell, de a tervezett szabályozási beavatkozást még nem rögzítettük, szükséges egy teszt lefolytatása. Ennek oka az ellenőrzés és a kiindulási állapot rögzítése, ugyanis ekkor a valóságnak megfelelő képet kell kapnunk. Szükség esetén a modellen végrehajtandó módosítások alapjául is szolgál.

2.1.7. Beavatkozás(ok) rögzítése

Miután a kiindulási állapot rögzítésre került, bevihetők a modellbe azok a tervezett folyószabályozási beavatkozások, melyek hatásait kívánjuk modellezni. A tervezés során célszerű több szabályozási, beavatkozási módszert megállapítani, hiszen így biztosítható azok egymással való összevetése, illetve az optimális megoldás kiválasztása.

2.1.8. Vizsgálat végrehajtása

A kész modell esetén végrehajtható a vizsgálat. A vizsgálat alapesetben egy fő és több részvizsgálatból tevődik össze. Fő vizsgálat alatt a tervezett beavatkozás hatásainak feltárását értjük. Részvizsgálatokkal pedig további kisebb beavatkozások, finomhangolások járulékos hatásairól kaphatunk képet. A vizsgálatok tervezése során szem előtt kell tartani a hatékonyság elvét is.

2.1.9. Megfigyelés

A kismintamodellezés tulajdonképpen a megfigyelést szolgálja, hiszen a tervezett szabályozási beavatkozások hatásainak feltárása a cél. Tehát alapos tervezést igénylő folyamat. A megfigyelési módszereket úgy kell megválasztani, hogy a kiváltott hatások a

lehető legpontosabban legyenek rögzíthetők. Egy alkalmas módszer például a megfigyelőállomásokon elhelyezett nagyfelbontású fényképezőgép használata. A modern fényképezőgépek előnye, hogy nagy részletességű videó is készíthető velük.

2.1.10. Dokumentálás

Annak érdekében, hogy a különböző modellváltozatok összevethetők, a konklúziók levonhatók és a javaslatok megtehetőek legyenek, pontos adminisztráció szükséges. Az informatika számos lehetőséget biztosít arra vonatkozóan, hogy az adatok gyorsan és hatékonyan rögzíthetők, biztonságosan tárolhatók, szűrhetők és kereshetők, valamint megoszthatók legyenek.

Összességében elmondható, hogy tervezés alatt lényegében a fentiekben ismertetett munkafolyamatok nagyfokú összehangolását és a kivitelezés egyes lépéseinek lehatárolását, illetve azok sorrendjének meghatározását értjük.

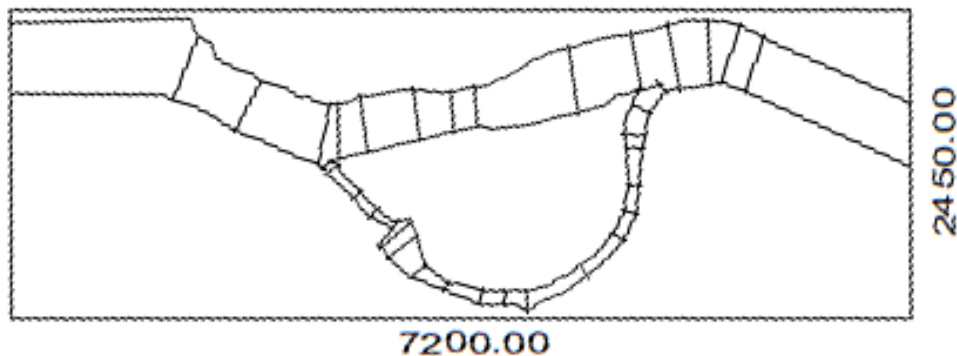
3. A modellek arányosításával kapcsolatos megfontolások, modelltörvények, számítások

A kisminta vizsgálathoz a tervezett modell paramétereit a modell-láda méreteihez igazítva kell meghatározni. Az arányosítás elvégzéséhez alkalmas és hatékony módszer egy táblázatkezelőben elkészített számolótábla, amellyel meghatározható, hogy a tervezett modellvizsgálat milyen kicsinyítés mellett modellezhető (1. Melléklet). A méretarány definiálásakor ügyelni kell arra, hogy a tervezett modell beleférjen a rendelkezésre álló modelltérbe. Emellett biztosítani kell, hogy a modellben a valósághoz hasonló áramlási körülmények alakuljanak ki, azaz a valós turbulens áramlást olyan modellben lehet elfogadható módon előidézni, ahol szintén megvalósulnak a turbulens áramlási viszonyok. Példa: A Vén-Duna vízpótlásának vizsgálatakor egy körülbelül 2,5 km x 4 km-es átlagosan 5 cm/km esésű terület kerül elhelyezésre a modelltérben. A modell a Duna 1480-1484,4 fkm közötti szakaszát és a Vén-Dunát tartalmazza. Mind a Duna, mind a Vén-Duna jellemző méreteire és áramlási jellemzőire vonatkozóan meghatározásra került az alkalmas kicsinyítés, melyet követően a turbulencia kialakulása is megvizsgálásra került. Az eredmények alapján egy 1:1000 horizontális és 1:50 vertikális kicsinyítést alkalmazó torzított modell készíthető, ami alkalmas a vízpótlás vizsgálatára a kis és közepes dunai vízjárás esetén.

4. Geodéziai szempontok, a kitűzés folyamata

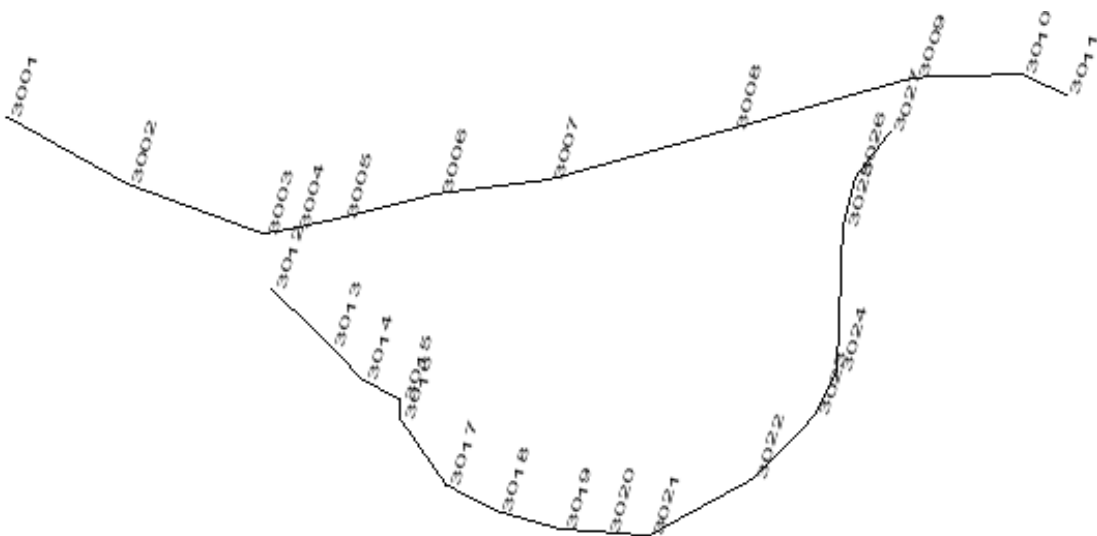
A geodéziai tevékenységek a modell kitűzésének tervezésével kezdődnek. Ehhez ismerni kell a megépítendő modell vízszintes és magassági méretarányát. A modellezni kívánt területre a vízszintes méretaránynak megfelelően kell rárajzolni a modell-láda méretét.

Példa: Az arányosításnál ismertetett paramétereket alapul véve, a modelltér mérete 2,45 m x 7,20 m. A modell-láda 1:1000-es nagyítása 2,45 x 7,20 km, mely téglalapot a területre kell forgatni oly módon, hogy a modell optimálisan helyezkedjen el a modelltérben (1. Ábra).



1. Ábra: A modellnek a modelltérben történő elhelyezése (ITR) (Forrás: szerzők)

Ezt követően a kitűzendő keresztmetszvények kijelölése, majd azok középpontjainak, szélső pontjainak, valamint azoknak a modell-láda kezdőpontjához viszonyított koordinátáinak meghatározása következik. A modell-láda egyik sarokpontját kell a helyi rendszer kezdőpontjának venni (Lásd: 1. Ábra). Az abszcissa-tengely a láda hosszabb, az ordináta-tengely a rövidebb oldala. A koordináta párokat táblázatba kell rögzíteni, megjegyzésként pedig fel kell tüntetni az adott szelvény számát. Célszerű egy pontszámos vázlatot is készíteni (2. Ábra).



2. Ábra: Pontszámos vázlat (Forrás: szerzők)

A kitűzés előkészítését követően a keresztmetszvények középpontjainak ortogonális kitűzése következik. Ez azért szükséges, hogy egy átlag keresztmetszettel ki lehessen alakítani a meder előzetes helyét. Az első két keresztmetszvény kitűzésével kezdődik el a modell építésének folyamata. A vízszintes (helyi) kitűzéshez a modell-láda két hosszanti oldalára egy-egy mérőszalagot kell feszíteni, ügyelve arra, hogy a 0 pontok egy merőlegesre essenek, amelyen az abszcissa értékek mérése történik. Az ordináta értékek kitűzéséhez egy merev 2,70 m hosszú lécre kell mérőszalagot feszíteni úgy, hogy a 0 pontja a lécszélétől 7 cm-re legyen a stabil fektetés érdekében. A kitűzendő pont abszcissa értékére téve a lécet, a 0 pontot a tengelyre igazítva, a kitűzendő ordináta érték a homokban megjelölhető (pl. hurkapálcával). Az alkalmazott mérőszalagok mindegyike mm beosztású. A keresztmetszvények megrajzolása egy erre alkalmas szoftver segítségével történik (pl. AutoCAD), amelyet követően a megfelelő formátumban nyomtathatók a szelvények. A nyomtatott szelvény lesz a sablon, amit valamilyen merev lapra átrajzolva (pl. OSB lap) kivágható a keresztmetszvény. Ezt követően a keresztmetszvényprofil behelyezhető a két szélsőpont közé és elvégezhető a magassági beillesztés. Ehhez olyan szelvényprofilra van szükség, amelynek teteje vízszintes és a Balti-tengerszint feletti magassága ismert, és az kerül kitűzésre. Egy másik lehetőség, hogy a keresztmetszvény profil két szélső pontjának magassága kerül beállításra. A kisminta teremben előzetesen létesítésre került egy alappont, melynek magassága mindig az adott modell magasságához igazítható. A magasságkülönbségeket a magassági méretarányoknak megfelelően kell kitűzni. A magasságkülönbségek kiszámításához célszerű egy számolótáblát készíteni. A kitűzéshez először az alapponton kell megejteni a leolvasást, majd a profil tetejére helyezett lécen. Ezt követően kiszámítható a magasságkülönbség, ami így már összehasonlítható a kitűzendő magasságkülönbséggel. Ennek megfelelően kell emelni, vagy süllyeszteni a profilt, amíg az a megfelelő magasságba nem kerül. A vízszintes tetejű profil használata során ügyelni kell arra, hogy a profil teteje mindig vízszintes legyen.

A magassági kitűzéshez és a későbbi bemérésekhez célszerű a szintezőlécet a „szerelő” hídra erősíteni és mechanikusan emelni – eresztetni, ezzel könnyíthető a finom beállítás munkafolyamata.

5. A fizikai kisminta-telep berendezései, gépei, mérő- és egyéb eszközei

A Nemzeti Közszolgálati Egyetem Víz tudományi Kar kisminta-telepének főbb eszközei az alábbiakban kerülnek bemutatásra.

5.1. Bevezető acéltartály, magastartály tolózárrel és bevezetőcsővel

A modell vízellátásához szükséges vízmennyiség a gyűjtőtartályba kerül bevezetésre. A víz a gyűjtőtartályból a magastartályba (2. Melléklet) egy szivattyú segítségével kerül felemelésre. A magastartályban a túlfolyó 1 méter magas vízszintet biztosít. A túlfolyóval a felesleges vizet az alsó gyűjtőtartályba lehet visszavezetni. A konstans vízszinttel rendelkező magastartályból egy bukóval ellátott ládába kerül átvezetésre a szükséges vízmennyiség.

5.2. Bukóval ellátott láda

A ládába betáplált víz a bukón (3. Melléklet) keresztül jut be a modelltérbe. Ilyen típusú vízbevezetésre azért van szükség, hogy a vízellátás folyamatosan és egyenletesen történjen, kiküszöbölve a szivattyúzás hatásait, valamint a bukón átbukó vízszint leolvasásával folyamatosan ellenőrizhető és számítható az aktuális vízhozam érték. A bukós műtárgyon belül terelőfalak biztosítják a turbulencia csökkentését és az egyenletes vízrávezetést a bukóéltre. A vízhozamot a magastartály és bukó közötti csövek megnyitásával, illetve zárásával lehet szabályozni. A bukós műtárgy vízellátó csövén három darab csatlakozási lehetőség van, melyek a modellezett rendszerbe kerülő mellékágak, befolyó csatornák vízigényének biztosítását szolgálják. A csatlakozási pontok 1-1 colosok és golyóscsappal szabályozhatók.

5.3. Modell láda

A modell láda (4. Melléklet) mobil árvízvédelmi gát elemekből került megépítésre. A láda 7,20 méter hosszú és 2,45 méter széles hasznos mérettel rendelkezik. A láda alja, valamint az oldalfalak vízzáró réteggel vannak ellátva annak érdekében, hogy a betáplált vízmennyiség ne szivároгjon el. A modelltérbe töltött speciális homok biztosítja a fizikai kisminta megépítésének közegét. A modelltérben egy speciális szűrővel körülvett szivattyú került elhelyezésre, mely a láda teljes víztelenítésének lehetőségét biztosítja.

5.4. Modell láda vízelvezetője

A modelltér végén egy szívócsanak található (5. Melléklet), mellyel a kismintán átfolyó vizet lehet eltávolítani. A használt víz kivétele szivattyúval történik. A szivattyú után egy „T” idom 2 db tolózárrel biztosítja a víz recirkulációját, vagy a hulladéktároló medencébe való vezetését. A recirkulációs üzem esetében a hulladéktároló medencéhez vezető cső tolózárja zárt állásban, a gyűjtő tartályba érkező nyomócső nyitott állásban van. Ezzel a

kismintán átfolyó víz újbóli felhasználásra visszakerül a vízellátó rendszer elejére. A recirkulációs rendszerrel jelentős vízmennyiség takarítható meg.

5.5. Mikro sebességmérő műszer és tartozékai

Sebesség- és vízhozammérésre alkalmas műszer, mely méreteit tekintve alkalmas a modellméretű vízfolyás mérésekre. A mérési tartomány szélessége 0,10-0,50 méter. A mérési tartomány mélysége 0,05-0,5 méter. A mérési tartomány sebessége pedig 0,025-3,0 m/s. A műszer tartozékai a háromlábú rögzítő, valamint vízszint észlelő és adatgyűjtő.

5.6. Digitális szintezőműszer

A digitális felsőrendű (szabatos) szintezőműszer első sorban a fizikai kismintatérben modellezni kívánt folyómedrek megépítéséhez, magassági kitűzéséhez szükséges. A modell megépítését követően alkalmas továbbá különböző vizsgálatok elvégzésére, mint például a vízszintesítés változásainak mérésére. A műszer főbb adatai a következők: Leica LS15 0.3 mm-es digitális szintezőműszer, 3 m-es invár szintezőléccel. A műszer digitális átnézeti kamerával és autófókusszal, beépített iránytűvel van ellátva. Továbbá biztosítja a grafikus térképnézetet, illetve a belső flash memóriába történő adatrögzítést.

5.7. Munkaállvány és fellépő

A modell megépítéséhez, a vizsgálatok elvégzéséhez, valamint a változások követéséhez a modelltér állványzattal került kiegészítésre. Az állványzat alkalmas a műszerek stabil rögzítésére is, ami tovább növeli a mérések pontosságát. Az állvány főbb jellemzői: állítható magasság, 3 méter széles mezőhossz és 0,75 m állványszélesség, 200 kg/m² terhelhetőség. Az állványra történő biztonságos feljutást fellépő segíti.

5.8. Nagyfelbontású fényképezőgép

A nagyfelbontású fényképezőgép a modellezési folyamat minél pontosabb dokumentálását célozza, ezáltal a kiértékelést könnyíti. Ennek megfelelően nagyfelbontású, tükörreflexes fényképezőgépeket alkalmazunk, melyek vezetékes távkioldóval vannak ellátva. A fényképezőgép főbb jellemzői: Nikon D560 váz +AF-P DX NIKKOR 10-20 mm f/4.5-5.6G VR, fix betekintési távolságú, pentatükörös, tükörreflexes keresővel ellátva. Lassú és gyors sorozatfelvételre egyaránt alkalmas.

6. A modellépítés során alkalmazott technikák, gyakorlatok, mérések elmélete és megvalósítása

Egy konstans szorzóval átszámított fizikai kismintamodell a valóság kicsinyített mása. A konstans szorzót csak a mennyiségi paraméterek alakíthatják. Ilyen paraméter például a hosszúság, az idő, a nyomás és a sebesség. Fontos azonban, hogy a méretszorzónak függetlennek kell lennie más tényezőktől, a jelenség más paramétereinek nagyságától, a vizsgálat helyétől és időpontjától.

A kisminta kísérleti modellnek ahhoz, hogy jól leképezze a valóságot mechanikai hasonlóságot kell biztosítanunk. A mechanikai hasonlóság a következőket foglalja magába:

- Geometriai hasonlóság, mint például a szög, hossz, terület, térfogat.
- Kinetikai hasonlóság, az időt tartalmazó jellemzők hasonlósága, mint például a vízhozam, a sebesség, a gyorsulás.
- Dinamikai hasonlóság, amely a folyadék tulajdonságaiból származó erőhatás, mint például a tehetetlenségi erő, súrlódási erő, nehézségi erő.

Annak függvényében, hogy a modell milyen feladat ellátására, vagy probléma megoldására irányul, különböző technikák, gyakorlatok és mérések állnak rendelkezésre. [4]

6.1. A kismintamodellek gyakorlati alkalmazásának lehetőségei

6.1.1. Hidromechanikai feladatok megoldása

A hidromechanikai feladatok megoldására épített modellek három fő csoportra oszthatók, melyek a műtárgykisminták, a vízfolyások kismintái, valamint a szivárgási kisminták. Meg kell jegyezni, hogy e három csoport között éles határvonal nem húzható, azonban az egyes modelleknek vannak olyan lényeges jellemzőik, amelyek alapján a besorolás indokolható.

Műtárgykisminták:

A műtárgykisminták olyan hidromechanikai feladatok megoldására létrehozott modellek, amelyek valamely vízépítési létesítménnyel, vagy annak egyes műtárgyaival kapcsolatosak. Példa: Egy hőerőmű hűtővíze aránylag nagy mennyiségű lebegtetett hordalékot szállító vízfolyásból származik. A hűtővíz mechanikai tisztítására négy darab téglalap alakú ülepítőmedencét terveztek. A medencék számát, valamint méretét elméleti úton határozták meg. Mivel kétséges volt, hogy a medencék hidraulikai méretezésekor alkalmazott feltevések, mint például az érkező víz sebességeloszlása, a medencék tervezett elrendezése során helytállóak lesznek-e, felvetődött a kismintavizsgálatok elvégzése. A modell megépítése kettős célzatú volt. Az első az ellenőrzés, vagyis hogy az ülepítőmedencék tervezett elrendezése során alkalmazott feltevés (a medencéken átfolyó

víz sebességeloszlásának egyenletessége) megfelelő-e. A második pedig a nem megfelelés esetén annak a medencealaknak a meghatározása, amely biztosítja az egyenletes sebességeloszlás létrejöttét. A kismintavizsgálat során a medencék 1:20 méretarányú modelljeit építették meg. Az átfolyó vízhozamot, továbbá a modellbeli sebességeket a tervezett medencék adatai alapján, a Froude-szám alapulvételével határozták meg. Ennek megfelelően a tervezett, valamint a laboratóriumban megépített medencéken átfolyó vízhozamok aránya $\lambda^{2,5}$, a sebességeké pedig $\lambda^{1/2}$ volt. A tervezett medencéken átfolyó vízhozam összesen $10 \text{ m}^3/\text{s}$, a kisminta négy medencéjén összesen $5,6 \text{ l/s}$, azaz egy medencén $1,4 \text{ l/s}$ vízhozam haladt át. A modellezés során a mérések és megfigyelések eredményei jól mutatták, hogy az ülepítőmedencék beömlési oldalának terelőfalakkal körülvett kialakítása esetén, a medencéken átfolyó vízhozam sebességeloszlása a feltételezettel nem esett egybe. Megfigyelhető volt, hogy közvetlenül a terelőfalak mögött, a medence belsejében nagy sebességű folyadékterek és ellentétes irányú vízmozgású szakaszok váltották egymást. Továbbá a medencék belső terén nagy kiterjedésű, függőleges tengelyű forgó mozgás keletkezett. Ennek következtében a kívánt mértékű mechanikai tisztulás nem valósult volna meg. Annak érdekében, hogy megtalálják az egyenletes sebességeloszlást biztosító elrendezést, a medencék beömlési oldalának több változatát modellezték le. Megoldásnak a medencék lyuksorokkal áttört és ütközőlemezekkel felszerelt beömlési oldal kialakítása bizonyult. A kivitelezést követően, a nagyméretű ülepítőmedencéken is egyenletes sebességeloszlással haladt át a víz. A medencék a hidraulikai rendeltetésüknek teljes egészében megfeleltek. [5]

További alkalmazási lehetőség például egy hőerőmű hűtőtavának kialakítása, vagy egy völgyzárógát árapasztó rendszerének vizsgálat.

Vízfolyások kismintái:

Jellemzően olyan modellek, amelyek a folyószabályozási kérdésekkel, illetve a vízerőhasznosítás egyes feladataival állnak kapcsolatban.

Példa: A Duna kisalföldi szakaszán nagy mennyiségű hordalék rakódik le. A részben görgetve, részben lebegtetve érkező hordalék lerakódik, melynek következtében a meder fokozatosan feltöltődik. A mederemelkedés következtében a vízállás, a vízállás emelkedése következtében pedig a talajvízszint emelkedés figyelhető meg. A jelenség többek között mezőgazdasági, vízgazdálkodási és (jeges)árvízvédelmi kockázatokkal jár. Ezek alapján belátható, hogy a mederemelkedés leggazdaságosabb megszüntetési módjának meghatározása, illetve a vízügyi létesítmények legmegfelelőbb elrendezésének megkeresése a feladat. Modellezésre a Rajka és Vének községek (1852-1799 fkm) közötti szakasz került, horizontálisan 1:2000 és vertikálisan 1:150 méretarányban. A modell

geometriai méretei, a horizontális és vertikális méretarányok figyelembevételével, a helyszíni mérések eredményeinek felhasználásával, a mintában lejátszódó vízmozgásokat jellemző mennyiségek pedig a Froude-szám, a Reynolds-szám és a Colebrook-White-féle (viszonylagos érdesség összefüggését kifejező) egyenlet alapján kerültek meghatározásra. A vizsgált szakasz mellékágai kisebb rendszerekre lettek bontva. Az egyes mellékágrendszereket egymástól elhatároló elzárás-sorozatok helyszíni elrendezése úgy lett meghatározva, hogy az egyes mellékágrendszerek folyásirány szerinti alsó részei szabadon, elzárás nélkül maradjanak a mellékágrendszerekben, annak érdekében, hogy az elzárásorozatok koronáját meghaladó vízállások esetén beömlő vizek főágba vezetése biztosított legyen. Az elzárásokat a főág vezető, illetve partvédőművei mentén, a terep alakulásának megfelelően helyezték el. Ezt követően a folyásirány szerint feljebb fekvő mellékágrendszert elérve, a már meglévő árvédelmi töltéshez csatlakoztatták. Így az elzárásorozatok koronaszintjénél magasabb vízállások esetén a víz a mellékágrendszerekbe juthat, azonban ebben az esetben is érvényesül az elzárásoknak a vízhozamokat a főágba összpontosító hatása. Ezt követően a modellben, a nagyvizek levonulását kedvezőbbé tevő nagyvízi terelőtöltések legoptimálisabb elrendezését vizsgálták. Több változat megépítését és megfigyelését követően a legalkalmasabb elrendezés során számottevő méretű hullámtéri területek maradtak ki az árvízi vízszállításból. A nagyvízi sodorvonal közelebb került ugyan a középvízihez, de a két vonal közötti különbség megszüntetésére a már meglévő árvédelmi töltések, illetve a főág kedvezőtlen vonalazása miatt a terelőtöltésekkel nem megoldható. Így a modellezés eredményei a szabályozással kapcsolatban felvetődött feladatoknak csak egy részét segítenek megoldani. Ezek a sebességek eloszlásával és alakulásával, valamint az ezzel összefüggésben a mellékágrendszereket elhatároló elzárásorozatok, illetve a nagyvízi terelőtöltések legoptimálisabb elrendezésének meghatározásával kapcsolatos feladatok. Ezek tisztázása azonban az egész szabályozási folyamat elengedhetetlenül fontos feltétele, hiszen megoldatlanságuk jelentős károkat, többletköltségeket, felesleges munkaerő és idő ráfordítást vonhatnak magukkal. [5]

Szivárgási kisminták:

A talajban, illetve valamely szemcsés közegekben lejátszódó folyadékmozgások jellemzőinek feltárása céljából megépített modellek.

Példa: A csáposkutak nagymértékben elterjedtek, hiszen megfelelő körülmények esetén jól kihasználhatók. Mint valamennyi vízepítési létesítmény, így a csáposkutak tervezésekor is a legfontosabb szempontok, hogy a velük szemben támasztott követelményeknek teljes mértékben megfeleljenek, emellett kivitelezésük és üzemben tartásuk a lehető

leggazdaságosabb módon megvalósítható legyen. A leghatékonyabb kivitelezés és üzemben tartás elengedhetetlenül fontos eleme, hogy az érvényesülő hidromechanikai viszonyok ismertek legyenek. Ilyenek például a kutaknak a legoptimálisabb helyszínrajzi elrendezése, száma, a csápok száma, mélysége, a kiszivattyúzható vízhozam és még sok más hidromechanikai jellemző. Azonban neheztől körülményekkel is számolni kell, ilyen például hogy a talajvíz a kutak létesítése előtt is mozog, hogy a szivárgási térben az áteresztőképességi együttható változik, vagy, hogy az egyes kutak működése egymásra hatással van. A fenti feladatok megoldására a kismintavizsgálatok jellemzően hatékonyan bizonyulnak. Ilyen modellezés például egy olyan csáposkút környezetében meghatározott vízhozam kiemelésére esetén létrejövő áramlási viszonyok meghatározása, amelynek aknájából hat, szabályosan elhelyezkedő csáp nyúlik ki. A csáposkút és a környező szivárgási tér kicsinyített megépítésével, a megfelelő vízmozgási viszonyok adaptálásával meghatározhatók a kút, illetve a csápok környezetében kialakuló áramvonalak. Annak ellenére, hogy a csápok elhelyezése szimmetrikus, valamint az áramlás síkáramlásként vizsgálható, az áramlási viszonyok a kút környezetében nem teljesen szimmetrikusak. Ennek fő oka, hogy a talajvíz már a kút üzembehelyezése előtt is mozgott. Azok a csápok, amelyeket a kút felé szivárgó talajvíz előbb elér kedvezőbb helyzetben vannak. Kevesebb vizet kapnak a talajvíz áramlási iránya szerint vett alsók. A feladat megoldását lényegében az áramvonalak meghatározása jelenti. Hiszen az áramvonalak meghatározását követően a kitűzött célnak megfelelően módosítható a csápok elrendezése, illetve megkereshető a kutak legoptimálisabb elhelyezése. [5]

6.1.2. Létesítmények szemléltetése, esztétikai feladatok megoldása

Ebbe a csoportba azon modellek sorolhatók, amelyek építésének célja egy tervezett, vagy már meglévő létesítmények, beavatkozások szemléltetése (például: nagy méretek, bonyolult elrendezések miatt), illetve amelyek esztétikai feladatok megoldását segítik.

Példa: A fentiekben már bemutatott Felső-Duna 1:2000 horizontális, és 1:150 vertikális méretarányú modellnek a hidromechanikai feladatok megoldása mellett másodlagos célja is volt. A valóságban igen nagy kiterjedésű, mintegy 60 km hosszú, szövevényesen elhelyezkedő mellékágakból és szigetekből összetevődő, kanyarulatokkal bővelkedő árvédelmi töltésekkel határolt, a helyszíni szemle során nehezen áttekinthető szakasz megismerése könnyebbé vált. Emellett a tervezett folyószabályozási létesítmények egymáshoz viszonyított helyzete, méretei jobban bemutatathatók voltak. Az esztétikai feladatok megoldására létesített modellek az építészmérnökök munkaköréből általánosan ismertek. Vízépítés vonatkozásában, a modellek megépítésére leginkább duzzasztóművek,

völgyzárógáták, vízerőtelepek, szivattyútelepek, csatornahidak, valamint más földfelszín fölé kerülő létesítmények esztétikai szempontú (például: megfelelő alak, elrendezés) meghatározásával kapcsolatban kerül sor. [5]

6.1.3. Oktatási célok

Az oktatási célból létesített kisminták során a különböző vízepítési műtárgyak, szerkezetek, létesítmények elrendezésének, egymáshoz való viszonyának, működésének ismertetésére kerül sor. Az oktatási célokat nem csupán az oktatási célból épített modellek, hanem például a fentiekben bemutatott kisminták is eredményesen szolgálhatják. Ezeknél ugyanis a hallgatók megismerkedhetnek a különböző hidromechanikai feladatok megoldásaival, az egyes műtárgyak, szerkezetek, létesítmények feladataival. Szintén értékes ismereteket nyújthatnak a vízepítési szerkezetek működéséről az esztétikai feladatok megoldására létesített modellek is. [5]

7. Egyszerű fizikai modellezési feladat végrehajtása

Az alábbiakban néhány fő pontban felsorolva (a tervezés, arányosítás már nem, csak a konkrét építési lépések) kerül bemutatásra egy modell megépítésének folyamata. Az első lépés a modelltér kitűzése, majd elöntése (1. Kép). A kitűzéssel megkapjuk a medervonalak irányát, az elöntéssel pedig biztosítjuk a homok megmunkálhatóságát.



1. Kép: Elöntés és kitűzés (Forrás: szerzők)

Ezt követően megkezdhető a kitűzések mentén a keresztmetsvények modellbe történő beillesztése. Majd a szelvények vonalában kialakítható a meder. Annak érdekében, hogy a víznek a modellre való ráengedésével ne mossuk el a medret, valamilyen anyaggal (például cement) szükséges stabilizálni a meder alját és oldalfalait (2. Kép).



2. Kép: A meder kialakítása és stabilizálása (Forrás: szerzők)

A következő lépés a modell környezetének rendezése és a realisztikus állapotok kialakítása (3. Kép). Ezalatt például az esetleges további műtárgyak, kőgátak behelyezését, a keresztmetszvények helyének megjelölését, a folyókilóméter kövek kihelyezését, a növényzet kialakítását, a környező terep elmunkálását kell érteni.



3. Kép: A modell környezetének rendezése (Forrás: szerzők)

8. A modell működtetése, mérések, módosítások

A modell és ezáltal az elvégzendő feladat(ok) egyértelmű és pontos meghatározásával biztosítható a vizsgálatok eredményes lebonyolítása. Ahogyan a tervezés szakaszában, úgy a módosítások során is törekedni kell arra, hogy a változtatások továbbra is biztosítsák az eredményes feldolgozást és feladatmegoldást. Lehetőség szerint úgy végezzünk módosításokat, hogy a mérési adatpárok a teljes vizsgált tartományban lehetőleg egyenletes eloszlást mutassanak. Továbbá a mennyiségi változtatások során, a független változó növekvő, vagy csökkenő sorrendbe állított értéksorozatának szomszédos tagjai közötti differencia megközelítőleg állandó legyen. Ezáltal a kiértékelés szakaszában

egyszerűbbé tehető a matematikai műveletek elvégzése. Ugyancsak a tervezés szakaszához hasonlóan, a módosításnál is ügyelni kell a módszerek és mérőműszerek megválasztására. Olyan módszerek és műszerek szükségesek, amelyek biztosítják a vizsgálatok céljának teljes mértékben megfelelő pontosságú mérését.

9. Következtetések levonása, eredmények és értékelésük

A megfelelő pontossággal kivitelezett kismintamodellben elvégzett vizsgálatok eredményei, a tapasztalt jelenségek, valamint a megfigyelések rendszerint közvetlenül vonatkoztathatók a valós jelenségekre. Amennyiben a folyamatot befolyásoló mennyiségek, vagy tényezők meghatározása a feladat, akkor a modellezés során a különböző változókra vonatkozó mérési eredmények összehasonlításával, illetőleg a megfigyelések alapján, vagy a különböző változók közötti korrelációs tényezők kiszámításával, nagy pontossággal meghatározhatók a valóságban jellemző mennyiségek és a jelenségeket befolyásoló tényezők. Azt, hogy az egyik mennyiség változtatása milyen (több) másik mennyiségre fejt ki hatását, az a mérési eredmények számértékeinek közvetlen összehasonlításával (a mérési eredmények táblázatos összefoglalása), vagy a kapott eredmények koordináta-rendszerben való ábrázolásával egyszerűen meghatározható. [5]

Forrásjegyzék

[1] Hankó Z.: A hidraulikai kismintakísérletek a folyószabályozás szolgálatában. Vízügyi Közlemények, LXXVIII. évfolyam, 1996. évi 2. füzet. pp. 172-187.

[2] Mosonyi E.: Hidraulikai hasonlóság a kismintatörvények és a kísérletek értékelése, a várható eredmények. Kézirat, Felsőoktatási Jegyzetellátó Vállalat. Budapest. 1955. 53 p.

[3] Starosolszky Ö.: Gondolatok a hidraulikai modellezésről. Vízügyi Közlemények, LXXVIII. évfolyam, 1996. évi 2. füzet. pp. 166-170.

[4] Haszpra O.: Hidromechanika, A vízépítési szak V. éves nappali, VI. éves esti és VI. éves levelező hallgatói részére. Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetem Mérnöki Kar. Tankönyvkiadó, Budapest, 1965. Kézirat.

[5] Ivicsics L.: Hidromechanikai modellkísérletek. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1968. ETO:532.001.573:621.22.011+626.01(022.53)

Melléletek

1. Melléklet: Az arányosítás elvégzésére alkalmas tábla (Forrás: szerzők)

		Modelltér max! kapacitása	Modellezhető terület kiterjedése
$C_k =$	1000	szélesség	2,7
$C_v =$	50	hosszúság	9
$C_k =$	1000000	mélység	0,5
$C_v =$	50000000		
$C_{lab} =$	31,622777		
$C_{01} =$	1581138,8		
$C_1 =$	31,622777		
$n =$	1,00E-06		
$Re_{cr} =$	580		

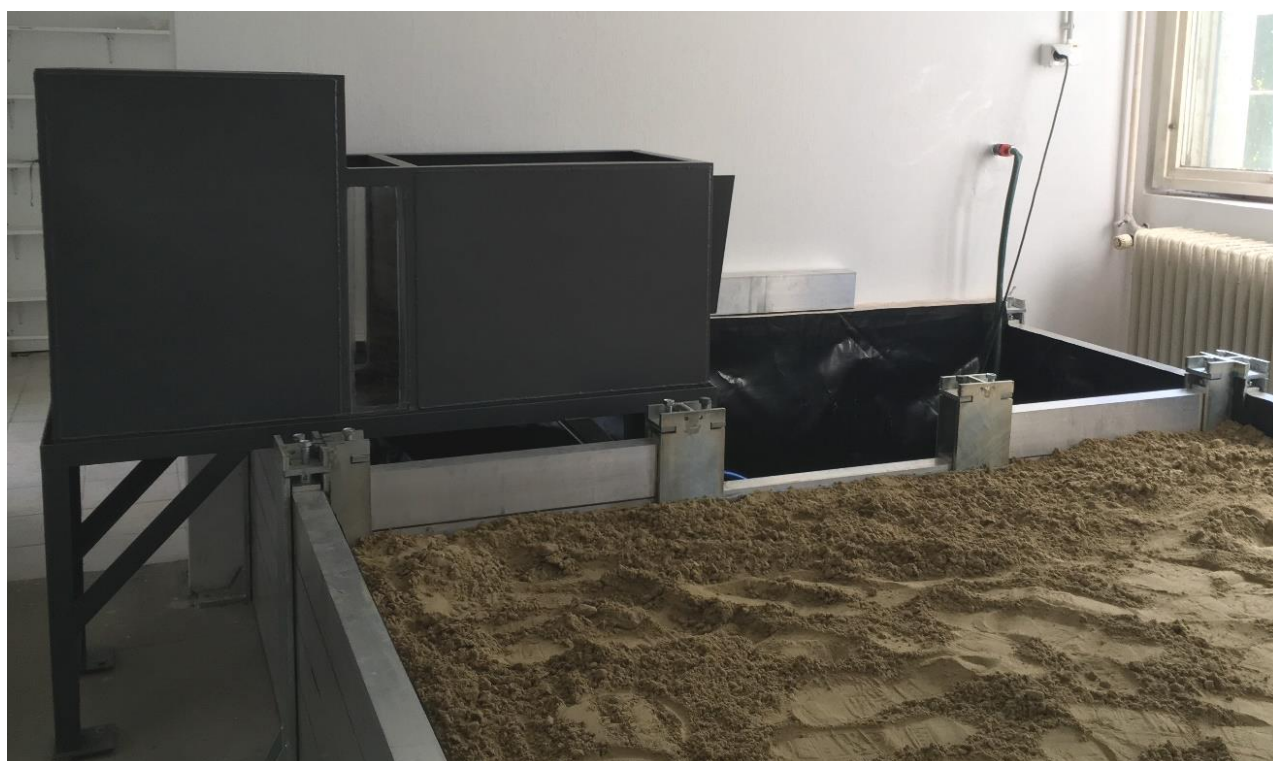
Vén-Duna vizsgálata - Vén-Dunára nézve		Valós	Modell	
vízfolyás szélessége:	min	50	0,05 m	
	max	100	0,1 m	
vizsgálat szakasz hossza:		4000	4 m	
minimális vízhozam:			0 m ³ /s	0 l/s
maximális vízhozam:		100	6,32456E-05 m ³ /s	0,06324555 l/s
vízmélység	min	6	0,12 m	
	max	10	0,2 m	
sebesség	max	1,2	0,037947332 m ² /s	
	min	0,1	0,003162278 m ² /s	
Területi kiterjedés	NY-K	2500	2,5 m	IGAZ
	É-D	5000	5 m	IGAZ
	esés(cm/km)	5		
esésviszonyok	esés (%)	0,000050		
	NY-K	0,125	0,0025 m	IGAZ
	É-D	0,25	0,005 m	IGAZ
Bele fér-e a modell a ládába?		IGAZ		
Reynold's szám (Re):	min	7200000	4554	IGAZ
	max	1000000	632	IGAZ
Áramlástanai szempontból megfelel-e?		IGAZ		

Vén-Duna vizsgálata - Dunára nézve		Valós	Modell	
vízfolyás szélessége:	min	450	0,45 m	
	max	1200	1,2 m	
vizsgálat szakasz hossza:		4000	4 m	
minimális vízhozam:		2000	0,001264911 m ³ /s	1,264911 l/s
maximális vízhozam:		5000	0,003162278 m ³ /s	3,162278 l/s
vízmélység	min	6	0,12 m	
	max	10	0,2 m	
sebesség	max	1,2	0,037947332 m ² /s	
	min	0,3	0,025298221 m ² /s	
Területi kiterjedés	NY-K	2500	2,5 m	IGAZ
	É-D	5000	5 m	IGAZ
	esés(cm/km)	5		
esésviszonyok	esés (%)	0,000050		
	NY-K	0,125	0,0025 m	IGAZ
	É-D	0,25	0,005 m	IGAZ
Bele fér-e a modell a ládába?		IGAZ		
Reynold's szám (Re):	min	7200000	4554	IGAZ
	max	8000000	5060	IGAZ
Áramlástanai szempontból megfelel-e?		IGAZ		

2. Melléklet: Magas acéltartály, tolózárrel és bevezetőcsővel (Forrás: szerzők)



3. Melléklet: Bukóval ellátott láda (Forrás: szerzők)



4. Melléklet: Kisminta modell láda (Forrás: szerzők)



5. Melléklet: Modell láda vízvezetője (Forrás: szerzők)

