

Műtárggyal befolyásolt talajvízáramlás hidrodinamikai modellezése

Hydrodynamic Modeling of Groundwater Flow Influenced by Works

Modelarea hidrodinamică a scurgerii apelor subterane în zona lucrărilor de artă

KESZEYNÉ SAY Emma

adjunktus

Szent István Egyetem Ybl Miklós Építéstudományi Kar, Budapest

ABSTRACT

The underground establishments under construction make obstacle in the way of flowing groundwater. With this they change significantly the existing flowing conditions of the concerned areas. In the surrounding of the structures subsidence and back-swelling come into being. The main aim of my examination was – exploring the principles of the effects by means of hydrodynamic modeling, with the full knowledge of them – to create a scientific material, which is generally usable and helps the everyday practical designing.

1. BEVEZETÉS

Az utóbbi időben a városok belterületének felértékelődésével, a beépítetlen területek csökkenésével, különös jelentőséget kapnak a modern városépítésben a földalatti nagyszelvényű létesítmények. Ahogy egyre magasabb építményeket terveznek, úgy a földalatti tereket is egyre mélyebben alakítják ki.

A környezetvédelmi szempontok előtérbe kerülésével, a felszín minél kisebb zavarása, a meglévő építmények biztonságának megőrzése érdekében, egyre több közlekedési létesítményt helyeznek a térszín alá (közúti, vasúti alagút, mélyvezetésű gyorsvasút, metró).

Az infrastrukturális fejlesztés keretében kiemelt fontosságú feladatokká válnak a közműfejlesztések. Európában a közeli jövőben több nagytérű földgáz tranzitvezeték épül.

Belátható, hogy számos olyan műszaki nagyberuházás valósul meg, mely a felszín alatti vizek szivárgáshidraulikai folyamataira befolyással bír, azokat esetleg nagymértékben megváltoztatja. A térszín alatt áramlás elől elzárt, illetve az áramlást akadályozó terek jönnek létre.

Ennek következtében, megfelelő műszaki védelem hiányában, egyrészt a megemelkedő talajvíz előntetheti a létesítmények környezetében lévő épületek pincéit vagy egyéb földalatti műtárgyakat. Másrészt a talaj állékonysága a víz hatására jelentősen romolhat, mely kihatással lehet az építmények stabilitására, használhatóságára.

A talajvízszint apadásának hatására a talaj önsúlyfeszültsége a víz felhajtóerejének megszűnése miatt jelentősen megnövekedhet, mely többletsüllyedéseket indukálhat és a felszínen károsodásokat eredményezhet.

E témakörben még számos feltáratlan kérdés, probléma vár megoldásra. A jelenlegi mérnöki gyakorlatban az áramló talajvíz útjába helyezett létesítmények, akadályok visszaduzzasztó, apasztó hatásának vizsgálatára nincs megbízható hidrodinamikai modell kidolgozva. A számítások általában közelítő módszerekkel, jelentős elméleti egyszerűsítésekkel történnek. Vizsgálatom célja e hiány pótlása.

2. MODELLSZÁMÍTÁS

A felszín alatt lejátszódó áramlási folyamatokat hidrodinamikai modellezéssel szimuláltam, a végelem módszert alkalmazó FEFLOW Finite Element Simulation System for Subsurface Flow (WASY FEFLOW 5.3. 3D) programrendszer segítségével.

A hidrodinamikai modellezési eredményeket egy valós ipari munkánál mérésekkel tudtam összevetni, és ez által a modellek érvényességét igazolni.

A modellezés folyamán az alábbi általános irányelvet követtem:

Előkészítés – földtani és vízföldtani adatgyűjtés – első számítási lépcső – a modell kalibrálása és paraméterérzékenységi vizsgálat – második számítási lépcső – az eredmények kiértékelése.

A program futtatásához felépített modellek általános jellemzői:

- Dimenzió: 3D
- Típus: telített
- Rétegek száma: 4
- Vízáadó típusa: nyílt tükrű
- Időperiódus: kvázi permanens
- Időlépcső: 10 lépcső, lépcsőnként 10 nap
- Számítási mód: végeelem módszer
- Elem típus: 6 csomópontos háromoldalú prizma

Mivel a földalatti műtárgyak talajvízáramlásra gyakorolt hatásának mértéke döntően a geológiai (talaj) adottságoktól, a hidrogeológiai jellemzőktől és az akadály milyenségétől függ, ezért a modellezéseket e három ágon végeztem.

A modellezés folyamata, paraméter hatáselemzés

Kialakítottam egy modellezési elképzelést, hipotézist. A jelenséget meghatározó paraméterek változásának következményét elemeztem a rendszer kimenetelére vonatkozóan.

A legnagyobb hatást (visszaduzzasztás, apadás) kiváltó, illetve a jelentős különbséget eredményező paraméter összeállítás vonalán folytattam a vizsgálatot, hiszen ez jellemzi legerőteljesebben a változás milyenségét, tendenciáját. Így felépült egy modellezési munkafolyamat.

3. EREDMÉNYEK, KÖVETKEZTETÉSEK

Vizsgálataim során egyértelművé vált a felszín alatti műtárgyak talajvízáramlásra gyakorolt hatása szempontjából a meghatározó paraméterek sora:

- talaj szivárgási tényezője,
- hidraulikus gradiens,
- áramló talajvíz vastagsága
- áramlás iránya,
- műtárgy (akadály) mérete.

E paramétereket felvett tartományok között változtattam, és vizsgáltam hatásukat. A kapott eredmények a tartományok szélső értékei között érvényesek.

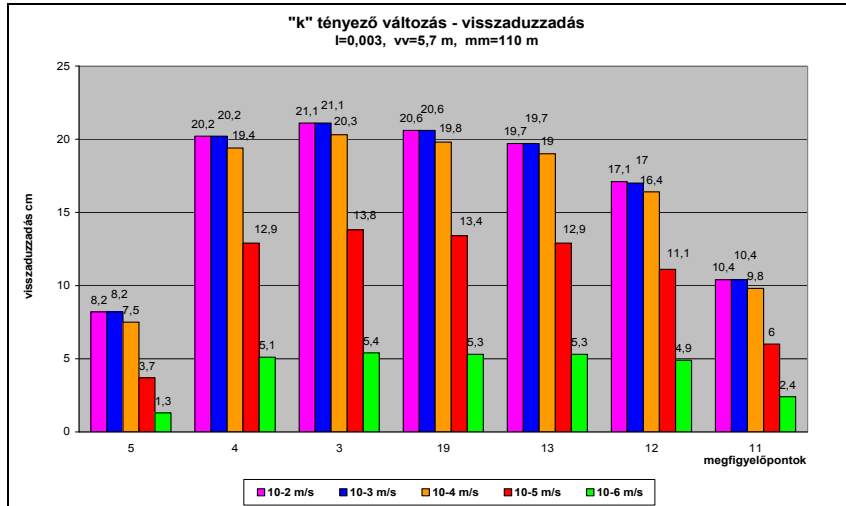
A levont következtetések, eredmények közül a cikkben az alábbiakat emelem ki.

3.1. A szivárgási tényező (k tényező) változásának hatása

A k tényező hatását a $10^{-2} - 10^{-6}$ m/s-os értékek közötti tartományban változtatva elemeztem. E tartomány felöleli a talajspektrum azon részét, amely a vizsgálat tárgya tekintetében a gyakorlati szivárgáshidraulikai feladatoknál előfordulhat.

A valós ipari munka eredeti geológiai, hidrogeológiai adottságait figyelembe véve, azokat állandó értéken tartva végeztem a szimulációkat. Ennek eredményeként, – melyet az 1. és 2. ábrákon adok meg – a következőket lehetett megállapítani:

Visszaduzzasztás

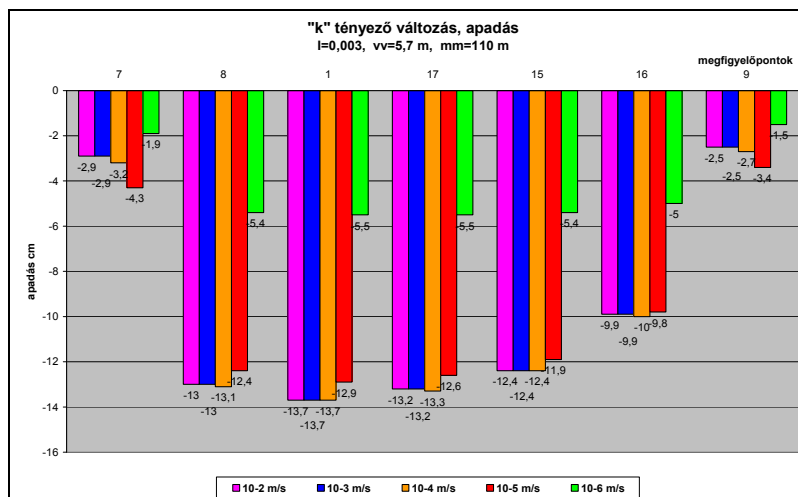


1. ábra

Szivárgási tényező változás - visszaduzzasztás

- A $k=10^{-2} - 10^{-3} - 10^{-4}$ m/s-os tartományban a szivárgási tényező egy nagyságrenddel történő csökkentése közel megegyező hatást vált ki. A visszaduzzasztás értékének változása a különböző k tényezők függvényében 5 cm-en belüli, mely a mérnöki gyakorlat szempontjából elhanyagolhatóan kicsi. A kialakult legnagyobb visszaduzzasztás a vizsgált paraméter összeállítás esetén 20-25 cm közötti.
- A $k=10^{-4}$ -ről 10^{-5} -re és 10^{-6} m/s-ra történő szivárgási tényező csökkenés már dm-es és egyre növekvő különbségű hatást eredményez a visszaduzzasztásban.
- A $k=10^{-6}$ m/s-os szivárgási tényező esetén a visszaduzzasztás értéke 10 cm-nél kisebb. Tekintettel a geotechnikai alapadat-rendszer alulhatározottságára, a szimulációknál e minimális hatást kiváltó k tényezővel már csak részben dolgoztam tovább.

Apadás



2. ábra

Szivárgási tényező változás - apadás

- A $k=10^{-2} - 10^{-3} - 10^{-4} - 10^{-5}$ m/s-os tartományban a szivárgási tényező egy nagyságrenddel történő csökkentése gyakorlatilag megegyező hatást vált ki. Az apadás értékek közötti különbség 5 cm-en belül változik.
- A 10^{-5} -ről 10^{-6} m/s-ra történő szivárgási tényező csökkenés 5-10 cm közötti apadás különbséget eredményez.

A fentiek alapján, a felszín alatti létesítmények hatása tekintetében, *visszaduzzasztásnál* a 10^{-2} - 10^{-4} m/s közötti, *apadásnál* a 10^{-2} - 10^{-5} m/s közötti szivárgási tényezőjű talajok homogénnek vehetők, egy réteggént összevonhatók. A modellezett hatások értékei 5 cm-en belül változnak, gyakorlatilag megegyezők. Ezen kismértékű különbség a műszaki tervezési feladatok szempontjából elhanyagolható.

Továbbá elmondható, hogy a *k tényező* egy nagyságrenden belüli pontosítása a megadott tartományon belül, nem vezet megbízhatóbb eredményhez a feladat követelte elvárásnál.

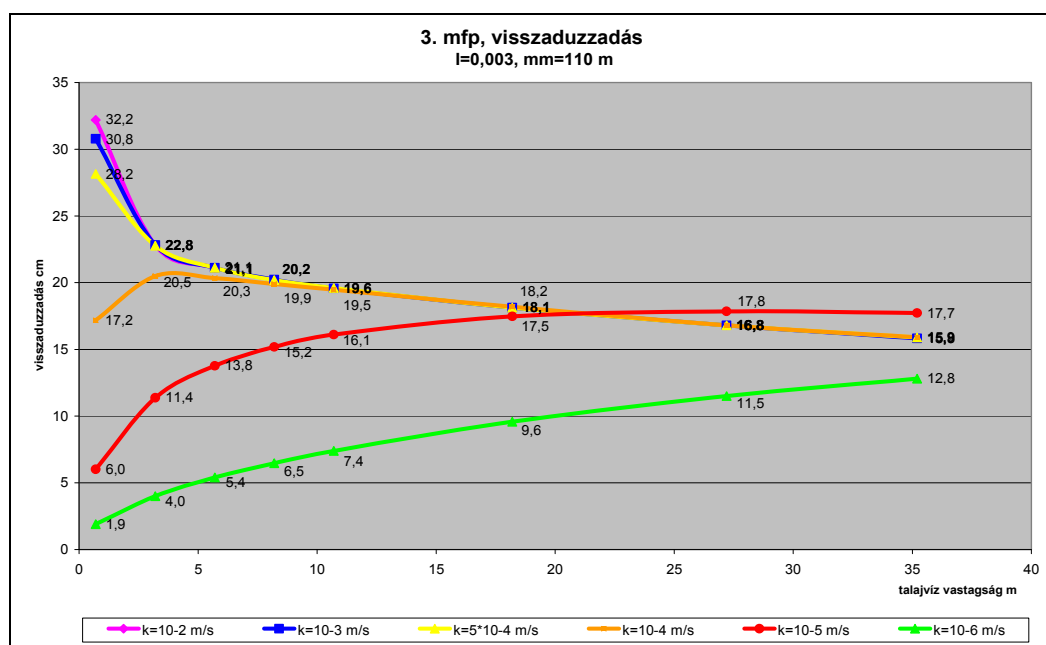
3.2. Az áramló talajvíz vastagság változásának hatása

Az áramló talajvíz vastagságát 0,7 – 35 m között változtattam a víztartó rétegben. A műszaki gyakorlatban e határok felölelik azt a tartományt, melyre a legtöbb vizsgálat irányul. Ennél kisebb, vagy nagyobb vízvastagságok csak elvi, matematikai jelentőséggel bírnak és a hatások nem térnek el jellegükben a vizsgált intervallum eredményétől.

E paraméter hatáselemzésnél modelleztem a $k=10^{-2}$ – 10^{-6} m/s közötti szivárgási tényezők esetében a visszaduzzasztásban és apadásban bekövetkező változásokat. A hidraulikus gradienst $I=0,003$, a műtárgyméretet $m=110$ m értékkel vettem figyelembe.

A szimulációk eredménye alapján, melyet a 3. és 4. ábrák hivatottak szemléltetni, jól lehatárolható tartományokat tudtam kijelölni mind a *hatások tendenciáját*, mind pedig annak *mértékét* tekintve.

Visszaduzzasztás



3. ábra

A talajvíz vastagságának változása – visszaduzzasztás

A visszaduzzasztás tendenciája:

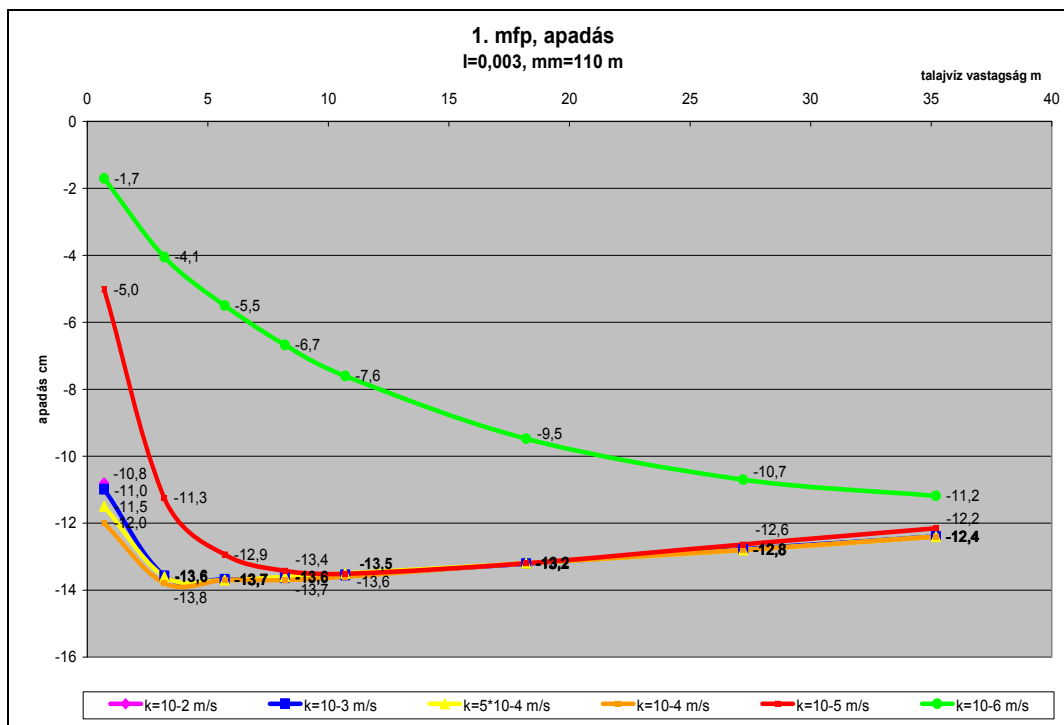
- $10^{-2} > k > 2 \cdot 10^{-4}$ m/s tartományban a visszaduzzasztás értéke a talajvíz vastagságának növekedésével fokozatosan csökken.
- $2 \cdot 10^{-4} > k > 7 \cdot 10^{-5}$ m/s tartományban egy adott vízvastagságig nő, majd fokozatosan csökken.
- $7 \cdot 10^{-5} > k > 10^{-5}$ m/s tartományban a víz vastagságának növekedésével fokozatosan nő.
- 10^{-6} m/s *k* tényező esetén minimális visszaduzzasztási értékek mellett a tendencia megegyezik az előző tartományéval.

A visszaduzzasztás mértéke:

A különböző szivárgási tényezők függvényében a legkisebb vízvastagság esetén a legnagyobb a különbség (több dm) a visszaduzzasztás értékekben.

A növekvő vízvastagsággal csökken a kiváltott hatások különbsége az egyes k tényezőknél. Egy bizonyos vízvastagság elérése után (jelen paraméter összeállítás esetén $vv \approx 20$ m) 5 cm-es eltérésen belül megegyeznek a visszaduzzasztás értékek, így gyakorlatilag az nem függ a talaj milyenségétől.

Apadás



5. ábra
A talajvíz vastagságának változása – apadás

Az apadás tendenciája:

- A $k=10^{-2} - 10^{-4}$ m/s közötti tartományban a $\sim 3-9$ m-es vízvastagságok között, gyakorlatilag megegyező apadási értékekkel, a legnagyobb az apadás. Ennél kisebb, illetve nagyobb vastagság esetén nagysága csökken.
- A $k=10^{-5}$ m/s-os szivárgási tényező esetén, a $\sim 0,7-5$ m között viszonylag meredeken nő az apadás, majd a vastagság növekedésével fokozatosan csökken.
- A $k=10^{-6}$ m/s-os k tényezőnél viszonylag egyenletes növekedés mutatkozik minimális apadási értékek mellett.

Az apadás mértéke:

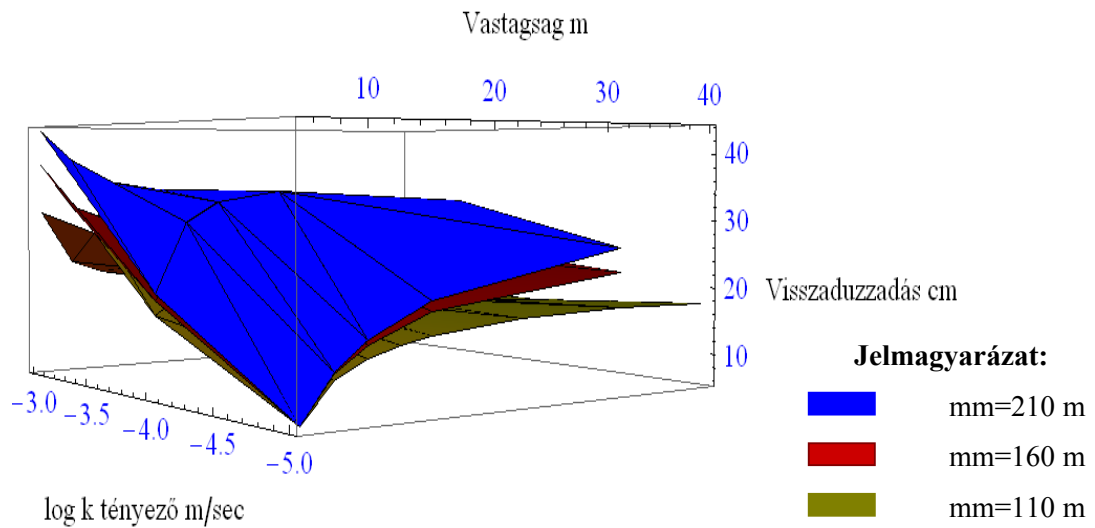
A legkisebb vízvastagság mellett adódnak a nagyobb (10 cm-en belüli) különbségek az apadás értékében a különböző szivárgási tényezőknél.

Jelen paraméter összeállítás esetén, az értékek a $vv \approx 5$ m-es vízvastagságtól gyakorlatilag cm-en belül megegyeznek, így az apadás e tartományban a szivárgási tényezőtől nem függ.

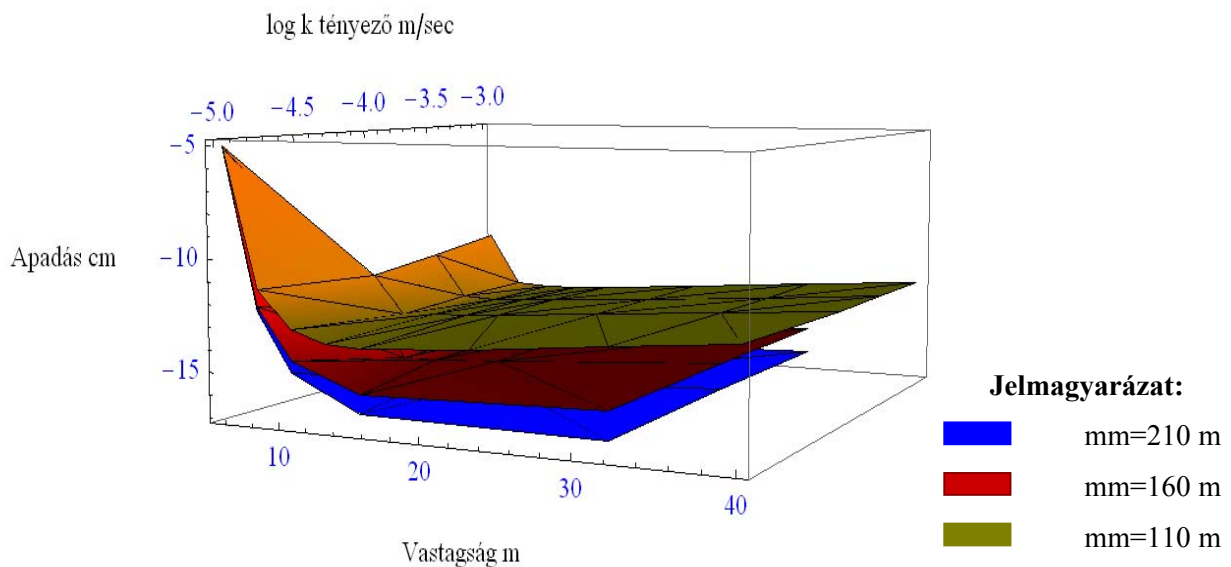
3.3. A k tényező – talajvízvastagság – műtárgyméret változás együttes hatása

Megvizsgáltam együttesen is a szivárgási tényező, a talajvízvastagság és a műtárgyméret változásának hatását a visszaduzzasztásra és az apadásra.

A paraméterek függvényében elkészítettem egy 3 dimenziós felületábrát. Jelentősége, hogy segítségével adott k tényező, vízvastagság, műtárgyméret esetén, a visszaduzzasztás értéke egyszerűen leolvasható. Ugyan- ezt az apadásra is előállítottam. Az eredményeket az 5. és 6. ábrák tartalmazzák.



5. ábra
Felületábra 3D – Visszaduzzasztás



6. ábra
Felületábra 3D – apadás

E felületábrák nagymértékben megkönnyítik a térszín alatti létesítmények talajvízáramlásra gyakorolt hatásának előrebecslését, betervezését.

Az ábrák $k=10^{-3} - 10^{-4} - 10^{-5}$ m/s szivárgási tényezők esetén,
 $vv=0,7 - 35$ m talajvíz vastagságok között,
 $mm=110 - 160 - 210$ m műtárgyméretnél alkalmazhatók.

De ettől eltérő (nagyobb illetve kisebb) értékekre is kidolgozható. Mint arra már az előzőekben kitértem, a gyakorlat szempontjából általában e paraméter tartományok között történő áramlás a jellemző.

A felületábrákat a *Wolfram Mathematica 7.0* programrendszer alkalmazásával készítettem. A program kétváltozós függvény segítségével a szimulációkból kapott adathalmaz pontjaira Lagrange-féle interpolációval felületet illesztett.

Kontroll (köztes) pontok felvételével igazoltam, hogy az ábra 1%-on belüli hibaértékkel dolgozik, mely a vizsgált folyamat szempontjából elhanyagolhatóan kis nagyságrendű. Az előállított felületeken egy új pont-

hoz – k tényező, vízvastagság, műtárgyméret – tartozó ismeretlen visszaduzzasztás, illetve apadás érték interpolációval meghatározható.

4. ÖSSZEGZÉS

Célom az volt, hogy föltárva a térszín alatti létesítmények talajvízáramlásra gyakorolt hatásának törvényszerűségeit, azok ismeretében, a műszaki területen egy általánosan használható, a mindennapi **gyakorlati tervezést segítő** tudományos anyagot hozzak létre.

Ennek segítségével összetett, nagy munkával járó hidrodinamikai modellezések elvégzése előtt lehetőség nyílik:

- a szivárgáshidraulikai folyamatok előrejelzésére,
- a felszín alatti akadályok várható hatásának feltárására,
- a visszaduzzasztások, apadások tendenciájának egyértelmű meghatározására,
- nagyságrendjük becslésére és
- a további munkafázisok szükségességének eldöntésére.

Vizsgálat tárgyát képezheti a továbbiakban a felszín alatti beavatkozások következtében kialakuló káros hatások csökkentésére, illetve a hatások kialakulásának megakadályozására irányuló műszaki beavatkozások, intézkedések szükségességének és módszerének feltárása, meghatározása.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Chiang W. H., Kinzelbach W. (2001): 3D Groundwater Modeling with PMWIN. A Simulation System for Modeling Groundwater Flow and Pollution. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag. 346 p.
- [2] Juhász J. (2002): Hidrogeológia. Budapest: Akadémiai Kiadó. 193-196, 234, 632-640 pp.
- [3] Keszeyné S. E. Telekes G. (2009): Geotechnikai szerkezetek és a talajvíz kölcsönhatása. Gépipari Tudományos Egyesület, Budapest, *Gép*, LX. Évfolyam, 8. szám. 14-18 pp.
- [4] Kovács B. (2004): Hidrodinamikai és transzportmodellezés I. (Processing MODFLOW környezetben). Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Szegedi Tudományegyetem, Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék: GÁMA-GEO Kft. 4-28, 83-102 pp.
- [5] M. Csizmadia B., Nándori E. (Szerk.) (2003): Mechanika mérnököknek, Modellalkotás. A mechanikai modellalkotás. Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó. 17-64 pp.