

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM  
ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR  
VÍZÉPÍTÉSI ÉS VÍZGAZDÁLKODÁSI TANSZÉK

**SZABÁLYOS ÉS SZABÁLYTALAN ALAKÚ  
ANALITIKUS ELEMÉK  
A TALAJVÍZMOZGÁS MODELLEZÉSÉRE**

Ph.D. értekezés tézisei

Készítette: Csoma Rózsa egyetemi adjunktus

Budapest, 2007. január hó

## 1. AZ ÉRTEKEZÉS

A potenciáleméleten nyugvó analitikus elemek módszere (*AEM*) az egyik legújabb, alig 20 éves modellezési mód talajvíz-áramlási problémák megoldására, mely az utóbbi évtizedben indult látványos fejlődésnek. Alapgondolata az, hogy a vízmozgást befolyásoló képződmények, létesítmények, beavatkozások - összefoglalóan elemek - hatását külön-külön vizsgálja, majd az egyedi hatásokat egymásra halmozza. Az egyes elemek leírásához a hidromechanika jól ismert áramképei illetve azok továbbfejlesztett változatai alkalmazhatók. Azonban ezen továbbfejlesztett változatok már nem a szokványos sebességpotenciált, hanem annak vízvezető réteg menti integrálját, a vízhozampotenciált alkalmazzák. Egy-egy elem matematikai leírása az adott vizsgálat céljának megfelelően többféle szempontból, többféle módon is lehetséges.

Jelen munka a módszer két alapvető alkalmazási területére terjed ki részletesen. Az egyik a vízvezető réteg jellemzőinek lokális megváltozását leíró elemcsalád, a másik a nagyobb, szabad vízfelületek talajvízre gyakorolt hatását vizsgáló elemek csoportja. Ehhez a szakirodalomban fellelhető, valamely célra kifejlesztett elemeken túl továbbfejlesztett illetve saját fejlesztésű elemet is alkalmaztam. Külön hangsúlyt fektettem a szabályos síkidommal megadható, nagy tömegben, egyszerűen kezelhető elemek kialakítására és alkalmazására. A fenti két elemcsalád rendszerezésével támpontot nyújtok egy-egy probléma megoldása során az alkalmazandó elemek kiválasztásához.

Fenti célok eléréséhez a szakirodalom részletes ismerete elengedhetetlen. Az áttekintéshez a szakterület alapvető művei, a fontosabb folyóiratokban megjelent publikációk valamint számos honlap alapján részletes bibliográfiát készítettem, az egyes műveket az általam jellemzőnek tartott témakörökbe sorolva. Ezen az összeállításon alapszik a módszer kialakulását és fejlődését tükröző művek elemzése, a további fejlődési irányzatok összefoglalása valamint a leggyakrabban alkalmazott számítógépes programok rövid értékelése is.

A vizsgált jelenséggel kapcsolatos legfontosabb alapfogalmak, alapfeltevések, alapegyenletek valamint érvényességi körük rövid összefoglalása után az analitikus elemek módszerének fontosabb jellemzőit ismerttettem. Ehhez megadtam vízhozampotenciál fogalmát és alkalmazását valamint a legalapvetőbb elemek (pl. párhuzamos áramlás, pontszerű illetve vonal menti forrás/nyelő) fontosabb jellemzőit, alkalmazási körüket, egy modell kialakításának legfőbb lépéseit.

A munka céljának megfelelően részletesen foglalkoztam a vízvezető réteg jellemzőinek zárt görbén belüli lokális megváltozását leíró elemek vizsgálatával, melyek a dipólus áramképén alapulnak. Röviden megadtam a momentumára merőleges vonal menti dipólusok potenciáljának főbb jellemzőit, alkalmazását és korlátait. Részletesen elemeztem a potenciál első illetve másodfokú közelítésének lehetőségét és korlátait. Külön kitértem az egymásba ágyazott elemek adta lehetőségekre és határaitra is.

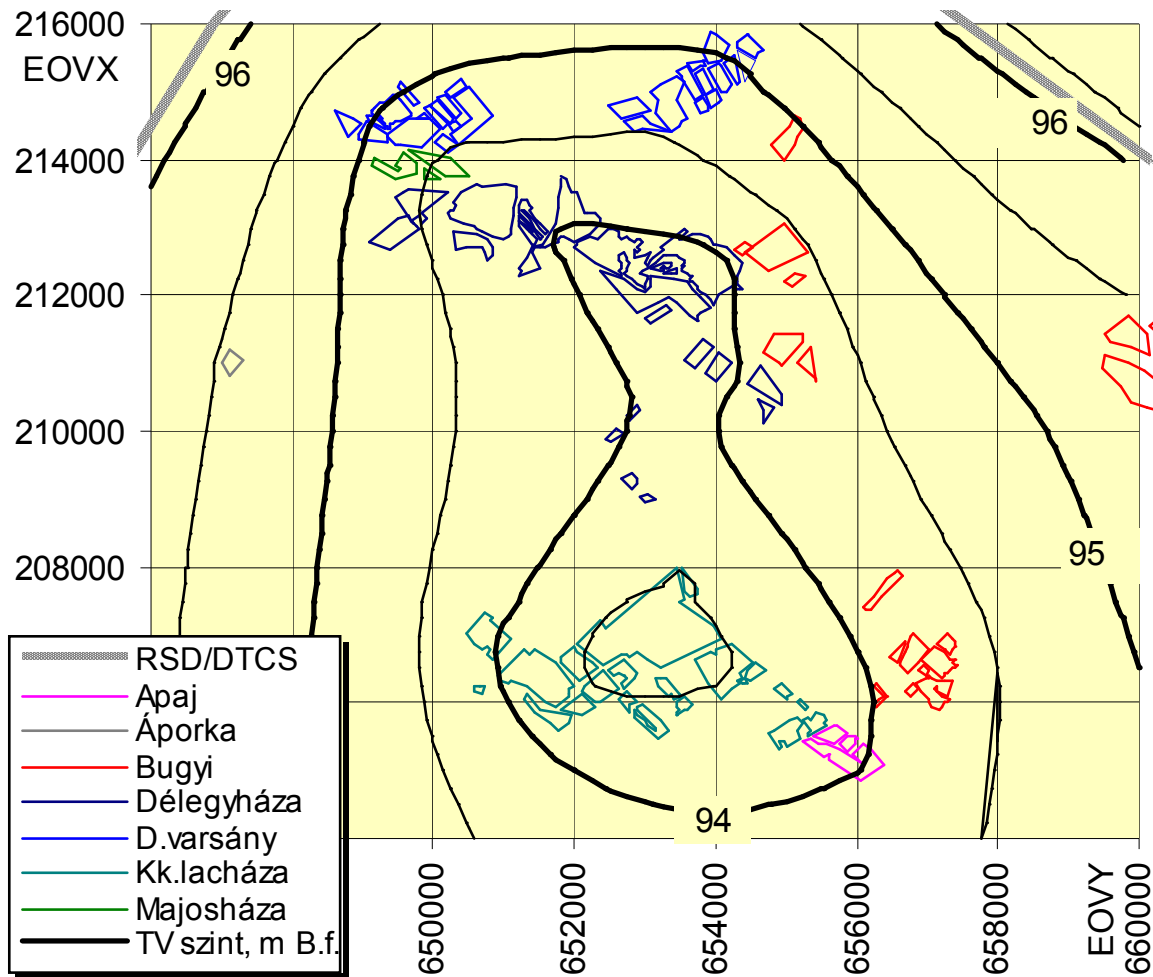
Részletesebben foglalkoztam a jelenség korlátozottabb, de egyszerűbb leírási módjával, mely a henger körüli áramláson alapul. Ez csak a szivárgási együttható kör alakú területen belüli megváltozását képes kezelni, azonban igen egyszerű leírással és közelítésektől mentesen. Az ismert egyedi elem megfontolásai nyomán kidolgoztam egymásba ágyazott, koncentrikus körökkel megadható elemek leírását is. Az elemek széles körű tesztelése és alkalmazása nyomán ajánlásokat tettem egyedi és egymásba ágyazott, szabályos és szabálytalan síkidommal megadható elemek jellemző alkalmazási körére.

A másik vizsgált terület a nagyobb, szabad vízfelületek talajvíze gyakorolt hatását leíró elemek csoportja. Így részletesen foglalkoztam szabályos és szabálytalan síkidommal megadott felületi forrásokkal, összehasonlítva helyi és térségi jellemzőiket is. A kézenfekvőnek tűnő elem mellett vizsgáltam tavak leírási lehetőségeit vonal menti források láncolatával illetve a dipóluson alapuló inhomogenitások segítségével is. Az egyes leírási módok összehasonlítása alapján ajánlást tettem az elemek alkalmazási körére.

Az analitikus elemek módszerét a Budapesttől délkeletre található, jelentős kiterjedésű kavicssterasz vizsgálatára alkalmaztam. Itt a hosszabb ideje üzemelő kavicsbányászat nyomán számos bányató alakult ki, melyek párolgási vesztesége a talajvízből pótlódik, módosítva annak szintjét. Mivel a térségben több település található, a felhagyott bányatavak körül üdülőterületek alakultak ki, egyéb részeken mezőgazdasági művelés folyik, valamint védett területekkel is határos, bármely bányabővítés vagy új bánya nyitása különös figyelmet igényel.

A térség rövid ismertetése után részletesen megadtam az ott lejátszódó jelenséget leíró modell legfontosabb kialakítási kérdéseit, melynek eredményeként kapott egy lehetséges állapotot az 1. ábra szemléltet. Itt a talajvíz szintvonalain túl a meglévő bányatavak és a térség főbb vízfolyásai is láthatók. Céлом nem első sorban egy adott bányabővítés hatásainak vizsgálata volt, hanem a modellel és különösen a vizsgált jelenséggel valamint a modellkialakítással kapcsolatos megfontolások összegzése. Ennek nyomán a térségben végzett kiterjedt vizsgálataim alapján összegeztem összetett tőrendszerek leírásával kapcsolatos tapasztalataimat és fogalmaztam meg

ajánlásokat.



1. ábra: A vizsgált bányaterület

A modell másik ismerett alkalmazási területe is a térséghez kapcsolódik. A tavak okozta talajvízszint-csökkenés mérséklését célzó, talajcserén alapuló beavatkozás térségre gyakorolt hatásait vizsgáltam. Részletes számítások alapján elemeztem az így kialakított visszatöltés hatásait egy magas taven és tőrendszerek egy-egy elemén is. Ennek nyomán tettem javaslatot a kifizűtött céloknak megfelelő visszatöltések főbb jellemzőinek megválasztására. A kapott megállapításokat tényleges esetekre is ellenőriztem.

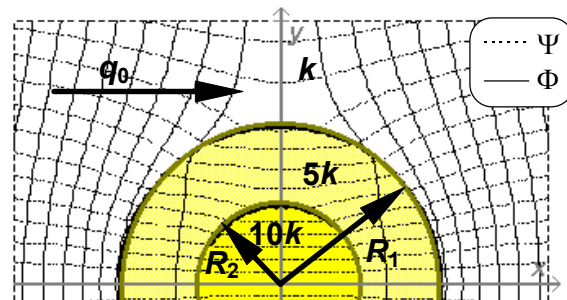
Összegezve megállapítható, hogy az *AEM* - bár viszonylag új modellezési mód - az elmúlt évtizedben kiforrott módszerré vált a felszín alatti vízmozgás modellezésére. Szakirodalma bőséges, bár főként angol nyelvű. A folytonosan megújuló szoftverállomány az általánosabb feladatok megoldásán túl néhány gyakori, de speciális problémára is rendelkezésre áll. A módszer rugalmasan továbbfejleszhető. Kutatási eredményeim is erre összpontosul-

tak. Mindezek miatt a szakirodalom részletes áttekintése és elemzése valamint saját kiterjedt tapasztalataim alapján a módszer szélesebb körű hazai alkalmazását javaslom.

## 2. TÉZISEK

**1. TÉZIS:** MEGOLDÁST DOLGOZTAM KI EGYMÁSBA ÁGYAZOTT, KÜLÖNBÖZŐ SZIVÁRGÁSHIDRAULIKAI JELLEMZŐVEL BÍRÓ, DE ZÁRT GÖRBÉN BELÜL HOMOGENNAK TEKINTHETŐ TERÜLETEK HIDRAULIKAI VISELKEDÉSÉNEK MATEMATIKAI LEÍRÁSÁRA.

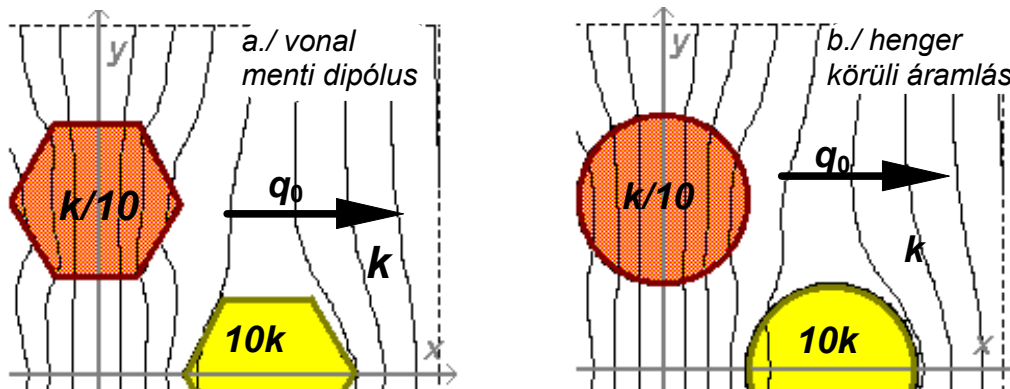
A vízvezető réteg jellemzőinek lokális megváltozását leíró inhomogenitások közül összetettségük miatt külön figyelmet érdemelnek az egymásba ágyazottak. Ugyanakkor kiterjedt az igény a nagy tömegben előforduló, egyszerűen leírható elemekre is. Ezen két igény ötvözeteként dolgoztam ki, teszteltem és alkalmaztam egy olyan elemet, mely az egymásba ágyazott inhomogenitásokat koncentrikus körökkel írja le. Ez a henger körüli áramlás jól ismert áramképéből kiindulva írja le a szivárgási együttható lépcsősen közelíthető megváltozását. Az elem és a segítségével kapható áramkép a 2. ábrán látható.



2. ábra: Gyűrűs elem

**2. TÉZIS:** AZ ADOTT TERÜLETEN BELÜL ELTÉRŐ SZIVÁRGÁSHIDRAULIKAI ÉS GEOMETRIAI JELLEMZŐKKEL BÍRÓ, DE ZÁRT GÖRBÉN BELÜL ÁLLANDÓ ÉRTÉKEKKEL JELLEMEZHETŐ TERÜLETEK LEÍRÁSÁRA SZOLGÁLÓ ELEMÉK MEGFELELŐ MEGVÁLASZTÁSÁNAK MÓDJÁRA MEGALAPOZOTT VIZSGÁLATOKKAL ALÁTÁMASZTOTT AJÁNLÁSOKAT TETTEM.

A momentumára merőleges vonal menti dipólus (3. ábra a./ része) összetett számításokkal közelítő, de általános megoldást ad inhomogenitások vizsgálatára, míg a henger körüli áramlásra alapuló figyelembe vétel (3. ábra b./ része) egyszerű, de alkalmazása korlátozott. A részletes vizsgálatok

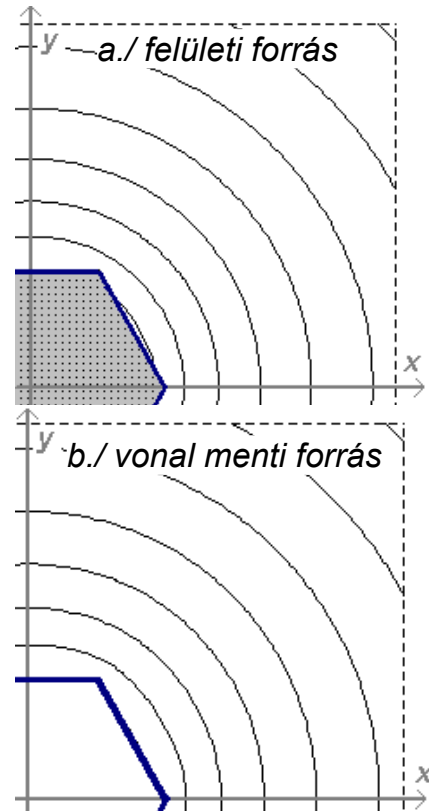


3. ábra: Inhomogenitások

alapján megállapítottam, hogy az összetettebb leírást csak azon esetekben szükséges alkalmazni, ha a rétegvastagság vagy a feküszint változik, ha az inhomogenitás alakja ezt igényli, ha az összetett elemalak helyi hatása meghatározó jelentőségű vagy az egymásba ágyazott inhomogenitások nem tekinthetők koncentrikusnak. Egyéb esetekben az egyszerűbb leírás alkalmazható.

**3. TÉZIS:** RÉSZLETES VIZSGÁLATOKKAL MEGALAPOZOTT AJÁNLÁSOKAT ADTAM NAGYOBB SZABAD VÍZFELÜLETEK FELSZÍN ALATTI HATÁSAIT LEÍRÓ ELEMMEK MEGVÁLASZTÁSÁRA.

Nagyobb, szabad vízfelületek felszín alatti vizekre gyakorolt hatása leírható felületi (4. ábra a./ része) vagy vonal menti forrásként (4. ábra b./ része) és többféle inhomogenitásként is (3. ábra). Az adott esetben legmegfelelőbb leírási mód megválasztásához az egyes tavak eredete és esetleges funkciója, a vizsgálat célja illetve az egyes figyelembe vételi módok kialakítása során tett megfontolások nyújtanak támpontot. Munkám során ezeket összegezve a számos valós alapú, de feltételezett valamit tényleges feladat megoldása nyomán nyert tapasztalatok alapján alakítottam ki ajánlásokat az adott feladathoz leginkább igazodó elem megválasztására. Így felületi forrásokkal leginkább ismert beszivárgású tavak vizsgálhatók, vonal menti források ismert, változó szintű tavak esetén alkalmazandók, míg inhomogenitások használatát akkor javaslom, ha a taven keresztül erőteljes áramlás alakul ki.

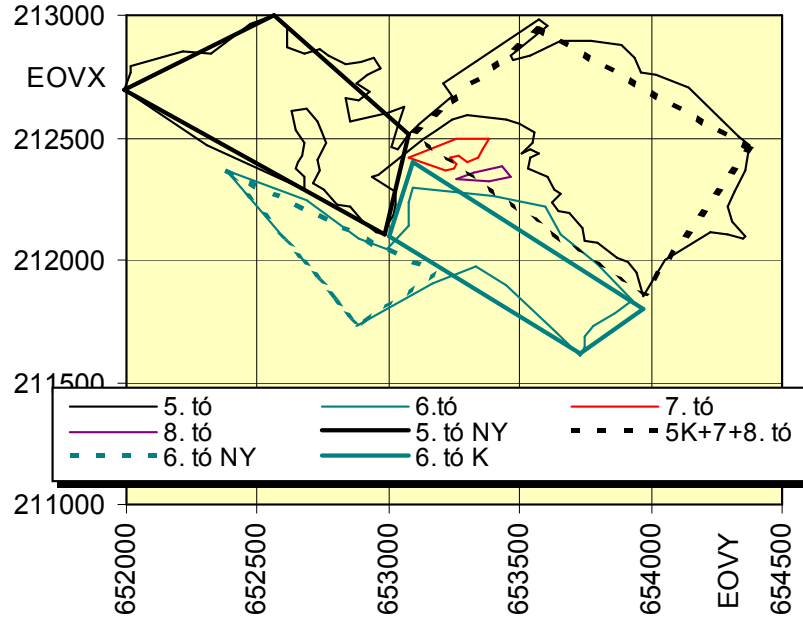


4. ábra: Tavak

**4. TÉZIS:** TÓRENDSZEREK VIZSGÁLATA ALAPJÁN MEGADTAM FELÜLETI FORRÁSSAL LEÍRHATÓ TAVAK ÖSSZEVONÁSÁNAK ILLETVE SZÉTBONTÁSÁNAK ALAPVETŐ FELTÉTELEIT.

Összetett tórendszerek esetében a túlzottan részletes figyelembe vétel nem minden esetben az alkalmazott modell által kapott eredmények megbízhatóságát szolgálja, mivel gyakran egy kevésbé részletes leíráshoz képest többlet információt nem nyújt. A számítógép által biztosított és az adott feladat igényeihez igazodó pontosság összhangja érdekében egyes tavak körrel közelíthetők, más, kisebb tavak nagyobbakhoz csatolhatók, tórendszerek összevonhatók, illetve bonyolult partvonallal rendelkező tavak átfedés nélküli egyszerűbb sík-idomokra bonthatók. Ekkor az összevont tóterület a ténylegestől 1-2 %-nál nagyobb mértékben nem térhet el, valamint az összevont terület súlypontjának helye és a tényleges súlypont helye (x és y

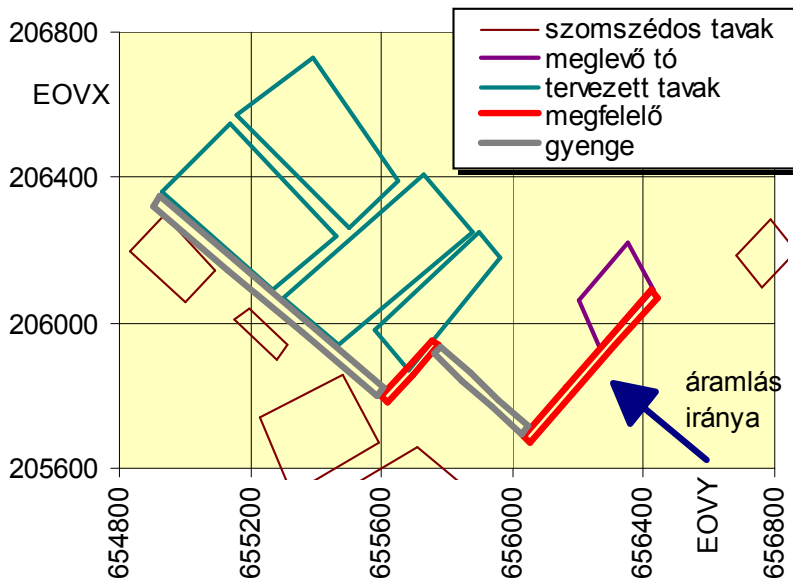
irányú koordinátája) a bányaterület adott irányú kiterjedésének 1-2 %-ánál nagyobb mértékben nem térhet el egymástól. Erre mutat példát az 5. ábra A Budapesttől délkeletre elhelyezkedő kavicsbányatavak kiterjedt vizsgálata nyomán módszertani útmutatást nyújtok törendszereknek az adott feladat igényeihez igazodó leírásához.



5. ábra: Délegyházi üdülőtó és közelítése

**5. TÉZIS:** KITERJEDT ÉRZÉKENYSÉGVIZSGÁLATOK ALAPJÁN JAVASLATOT TETTEM A MEGFELELŐEN MŰKÖDŐ, TALAJVÍZSZINTET STABILIZÁLÓ VISSZATÖLTÉS FŐBB JELLEMZŐIRE.

Új, szabad vízfelületek létesítése gyakran a környező talajvízszint süllyedésével jár. Ezen hatás csökkentésére a tó egy-egy oldalán vízzáróbb anyagból a fektet elérő visszatöltés alakítható ki. Erre ad példát a 6. ábra. Vizsgálataim alapján ezen visszatöltés akkor tesz eleget az elvárásoknak, ha a közepes szélessége a vízvezető réteg vastagságával közel azonos, a hosszúsága a védelmet igényelő terület bányatelekkel határos szakaszával megegyező, vízvezető képessége a környező vízvezető réteg huszad - ötvened része és a tóba lépő áramlás jellemző iránya a visszatöltésre merőleges.



6. ábra: Visszatöltések

### 3. A TÉMÁHOZ KAPCSOLÓDÓ FONTOSABB TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEIM

**CSOMA, R.:** Talajvíz-áramlási modellek összehasonlító értékelése. Egyetemi doktori értekezés. Budapesti Műszaki Egyetem, 1995.

**CSOMA, R.:** The Analytic Element Method for Groundwater Flow Modelling. Periodica Polytechnica. Civil Engineering. Vol. 45. No. 1, p.43-62, 2001.

**CSOMA, R.:** Talajvíz-áramlás modellezése az analitikus elemek módszerével. Hidrológiai Közlöny, 82. évf. 4. szám, p.205-214, 2002.

**CSOMA, R.:** A vízvezető réteg jellemzőinek lokális megváltozása az analitikus elemek módszerével modellezve. Hidrológiai Közlöny 83. évf. 5. szám, p.263-271, 2003.

**CSOMA, R.:** Tavak modellezési lehetőségei az analitikus elemek módszerével. Hidrológiai Közlöny 84. évf. 1. szám, p.10-20, 2004.

**CSOMA, R.:** Modelling the Local Variation of Aquifer Parameters with the Help of the Analytic Element Method. Periodica Polytechnica. Civil Engineering. Vol. 49. No. 2, p.137-156, 2005/a.

**CSOMA, R.:** Az AEM alkalmazása a talajvízszintet stabilizáló visszatöltés vizsgálatára. Hidrológiai Közlöny 85. évf. 4. szám, p.41-48. 2005/b.

**CSOMA, R. - SZABÓ, Zs.:** Felszín alatti vízmozgások és transzportfolyamatok numerikus modellezése. A Morfológiai hatások és transzportjelenségek szimulációs modellezése medrekben és parti környezetben c. OTKA kutatás d./ altémája. Témavezető: Dr. Haszpra Ottó. 1. részjelentés. Kézirat. Budapest, 1991.

**CSOMA, R. - VARGA, I.:** The Application of the Analytic Element Method for Regional Groundwater Problems. Periodica Polytechnica. Civil Engineering. Vol. 45. No.1, p.63-84, 2001.