KOVÁCS BALÁZS – SZANYI JÁNOS

Hidrodinamikai és transzportmodellezés

(Processing MODFLOW és Surfer for Windows környezetben)

II.

„The human mind is inherently visual. Converting numeric data to a visual model greatly improves our understanding of the problem domain.”

(Dan Smith, a Surfer megalkotója)

KOVÁCS BALÁZS – SZANYI JÁNOS

Hidrodinamikai és transzportmodellezés (Processing MODFLOW és Surfer for Windows környezetben)

II.

Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar

Szegedi Tudományegyetem, Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék

GÁMA-GEO Kft.

2005

Lektorálták:

Rózsa Attila hidrogeológus
és
dr. Völgyesi István hidrogeológus

A tankönyv megjelenését támogatták:

AGRUNIVER Holding Kft., Gödöllő
Békés-Drén Kft., Békés
BGT Hungária Kft., Budapest
Biokör Kft., Budapest
Magyar Mérnöki Kamara Geotechnikai Tagozata, Budapest
GEOHIDROTERV Kft., Budapest
GEOSERVICE Kft., Miskolc
INTERGEO Kft., Budapest
REWOX Hungária Kft., Szeged
Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kara, Miskolc
Oktatási Minisztérium Posztdoktori Ösztöndíja
Országos Tudományos Kutatási Alap (OTKA)
Pórusvíz Mérnöki Iroda Bt., Budapest
Völgyesi Mérnökiroda Kft., Budapest

ISBN 963 661 636 1 Ö
ISBN 963 661 638 8

Első kiadás, 2005
© Kovács Balázs és Szanyi János, 2005

A kiadásért felel a GÁMA-GEO Kft. ügyvezetője
3519 Miskolc, Bencések útja 111.
Megrendelhető: www.gama-geo.hu

Nyomdai munkák:

Páskum Nyomda, Szekszárd
Felelős vezető: Farkas János ügyvezető igazgató

A Surfer™ for Windows a Golden Software Inc, Golden, Colorado védjegye. © Copyright Golden Software Inc., 1993-2002 ©Processing MODFLOW Wen-Hsing Chiang és Wolfgang Kinzelbach, 1991-2001. All rights reserved. ©PMPATH for Windows Wen-Hsing Chiang és Wolfgang Kinzelbach, 1994-2001. All rights reserved. © DWG Converter Edwin Giezeman 2000 © DXF2XYZ Copyright 1999-2004, Guthrie CAD/GIS Software Pty. Ltd. All rights reserved. ©A9Converter Copyright 2004-2005, A9Tech Inc. All rights reserved. ©VarioWin 1993-1998. Yvan Pannatier. All rights reserved. A Microsoft, a Windows, az MS, az Excel és az Access a Microsoft Corporation, Redmond, USA bejegyzett védjegye. A AutoCAD© az AUTODESK, Inc bejegyzett védjegye. All rights reserved.

10. Bevezető gondolatok

A könyv, a közel egy éve azonos címmel megjelent mű folytatása (KOVÁCS, 2004). Azért írtuk, hogy a modellezéssel foglalkozók számára minél több gyakorlati segítséget adjunk. A kötetben ezért elméleti jellegű részek csak elvétve találhatók, miközben a Processing MODFLOW környezet transzport-modellezéssel kapcsolatos részeit, továbbá a Surfer for Windows térképrajzoló és számos egyéb hasznos segédprogram ismertetését több fejezeten keresztül tárgyaljuk. Megpróbáljuk a szakirodalmi adatokat tartalmazó táblázatokkal, a „mit tegyünk, ha valami nem megy" típusú fejezetekkel és nem utolsó sorban a kidolgozott példákkal segíteni a modellezést tanulókat, és persze azokat is, akik már gyakorlottabbak, mégis a munkájuk során valahol elakadtak. Tanácsokat és tippeket adunk, egyszóval mentőövet dobunk a „bajba jutottaknak", és bemutatjuk, hogy mi mit, hogyan csinálnánk. Hangsúlyozzuk, ez csak egy út a megoldások dzsungelében, számos más, rövidebb vagy gyorsabb (netán mindkettő egyszerre) is létezik; mi ezt az ösvényt „tapostuk ki".

Az első kötethez a Processing MODFLOW alkotójától Wen-Hsing Chiang-tól kértünk egy mottót, most a Surfer alkotóit, Pat Madison-t és Dan Smith-t kértük fel erre. Véleményük szerint a problémák megértését a számok térbeli megjelenítése nagymértékben elősegíti, mivel az emberi agy alapvetően képekben gondolkodik. A Surfer és a Processing MODFLOW alkalmazásának összekapcsolása ezt valósítja meg. A tanulás további könnyítése érdekében valamennyi a könyvben bemutatott példa adatrendszere, továbbá térképei és a futtatható modellek – CD vagy DVD melléklet hiányában – a http://www.gama-geo.hu honlapról letölthetők.

Felhívjuk a felhasználók figyelmét, hogy a Processing MODFLOW, könyvben bemutatott, teljes, 5.3 verziója ingyenessé vált, szabadon letölthető a http://www.pmwin.net honlapról. A könyvben bemutatott szoftverek többsége is ingyenes, kivéve a Surfer for Windows-t, amely kereskedelmi forgalomban könnyen beszerezhető.

A kötet témája a szennyezőanyagok elmozdulásának szimulációja Processing MODFLOW segítségével. Ezen anyagok talajba való beszivárgása, majd abban való migrációja komplex folyamat. Feltételezzük, hogy egy váratlan esemény következtében nagy mennyiségű szennyezőanyag ömlik a talaj felszínére. Kezdetben, a talajba jutva, lefelé kezd szivárogni a telítetlen zónában a gravitációs erő hatására, de a kapilláris erők hatására a szennyezőanyag oldalirányban is elmozdul. Az anyag párolgása következtében a szennyező csóva közelében gázburok is kialakul. Ha elég nagy mennyiségű a szennyezés, elérheti a talajvízszintet, ahol a szennyeződés vízzel vegyülő része a talajvíz-rendszer részeként (advektív-diszperzív transzport), míg a vízzel nem vegyülő része elkülönült fázisként, saját nyomásgradiense hatására mozog.

A kapilláris erők miatt a szennyeződés részben befogva maradhat a telítetlen zóna pórusaiban. Ez a befogott fázis további szennyezést okozhat a beszivárgó csapadék vagy a talajvízszint-emelkedés hatására. A beszivárgó csapadékvíz ezentúl a gáz halmazállapotú szennyezést elnyelheti, ami további szennyezés forrása lehet.

A szabad fázisban mozgó, nem keveredő, nem vegyülő anyagok hidrodinamikai viselkedése eltérő attól függően, hogy sűrűségük kisebb vagy nagyobb a víz sűrűségénél. A

könnyebb (kisebb sűrűségű) folyadék nyílt tükrű vízadó esetén a talajvíz-domborzat, zárt tükrű rendszer esetén a fedő geometriája által meghatározott irányban szivárog. A víznél nagyobb sűrűségű, nem-vegyülő folyadékok (pl. klórozott-szénhidrogének) migrációja azonban nem függ a talajvízszint helyzetétől. Ezek addig mozognak lefelé, amíg el nem érnek egy kisebb permeabilitású réteget, ahol szétterülnek vagy csapdázódnak. Mivel az ilyen szennyezőanyag mozgását uralkodóan a közeg geometriája, és nem a szivárgás hidraulikája határozza meg, ezért migrációját nagyon nehéz előre meghatározni.

Tovább bonyolítja a helyzetet, ha több szennyező komponens van egyszerre jelen, mert a közöttük lejátszódó kémiai reakciók és fizikai folyamatok a transzportot jelentősen befolyásolják.

Ha a különböző viszkozitású folyadékok mozgását vizsgáljuk, *szivárgási tényező* helyett a *permeabilitás* fogalmát kell használni az áramlási sebességek számításánál. Szemléltessük ezt a víz és a triklóretilén példáján. A triklóretilén viszkozitása azonos hőmérsékleten harmada a vízének, ezért azonos hidraulikai feltételek mellett a triklóretilén szabad fázisban háromszor gyorsabban mozog, mint a víz (SZANYI – MARTON, 2002).

Az elmondottakból is látszik, hogy a szennyezőanyagok felszín alatti vizekben történő elmozdulása komplex folyamat, mely nem mindig vezethető le a hidraulikai viszonyokból, ezért modellezése olykor speciális szoftvereket és nagy körültekintést igényel. Ebben a kötetben a szennyezőanyagok advektív-diszperzív transzportjának szimulációjával foglalkozunk, az önálló fázisban való elmozdulást csak érintőlegesen tárgyaljuk.

Ajánljuk a könyvet minden érdeklődőnek, gyakorlati és elméleti szakembernek, a modelleket építőknek éppúgy, mint az azokat bíráló hatóság képviselőinek, vagy azoknak a megrendelőknek, akik a hidrodinamikai vagy transzport-számításokkal a mindennapi életben találkoznak. Reméljük, hogy hasznos segédeszközt tudtunk a „barikád" mindkét oldalán állók kezébe adni. Kérjük, hogy fogadják meg az első kötet mottóját: „Whether modeling or real life, never give up easily !" Ne adják fel; megéri!

Végül megköszönjük kollégáink tanácsait, továbbá támogatóink erkölcsi és anyagi segítségét. Hozzájárulásukkal nemcsak a könyvet, hanem ezen keresztül a magyar felsőoktatást is támogatták.
Hálásak vagyunk a lektorok, Rózsa Attila és dr. Völgyesi István lelkiismeretes és aprólékos munkájáért, javító szándékú kritikai észrevételeiért.

Miskolc-Szeged, 2005. december 6.

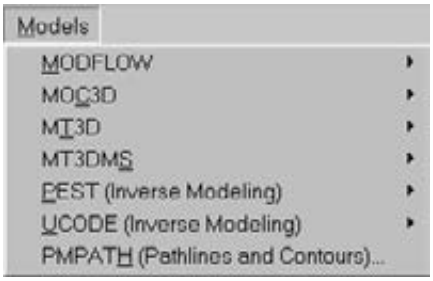
Jó szerencsét!

a szerzők

11. A transzportmodellezés Processing MODFLOW for Windows (PMWIN) környezetben

A könyv első kötetének 8. fejezetében bemutattuk a Processing MODFLOW for Windows (PMWIN) környezetet (CHIANG – KINZELBACH, 1999, 2001), továbbá a felhasználó rendelkezésére álló talajvíz-áramlási (hidrodinamikai) modellezési eszközöket. Tekintettel arra, hogy a környezetet egységes szemlélettel készítették, számos, a 8. fejezetben leírt eszköz, programmodul a transzportmodellezés során is rendelkezésre áll, alkalmazható. Terjedelmi korlátok miatt az ismétlődő modulok leírását ez a kötet nem tartalmazza, azok az 1. kötet megfelelő részében olvashatók.

A PMWIN környezet transzportmodellezéshez összesen négy eszközt kínál, melyeket a **Models** menün keresztül érhetünk el (1. ábra). Mivel közülük valamennyit teljes terjedelmében ismertetni szinte lehetetlen, ezért a programok közül a legelterjedtebb MT3D és MT3DMS nevűeket mutatjuk be részletesebben. Az itt közölt leírásnál részletesebb, angol nyelvű PDF dokumentumot készített a PMWIN szerzője, Wen-Hsing Chiang, ami a programot tartalmazó lemezen megtalálható. Amennyiben valaki az apró részletekre vagy a számításokhoz használt programrutinokra kíváncsi, akkor azokat a programlemezeken található közel 5000 oldalas dokumentációban lelheti meg.



1. ábra
A Models menü

A négy, rendelkezésre álló transzportmodell a következő:

A **MOC3D** (KONIKOW et al., 1996) transzportmodell a karakterisztika módszerének segítségével oldja meg a transzport egyenletet. A karakterisztika módszerének alkalmazásához a **Grid** menüben definiált elemosztást használja fel.

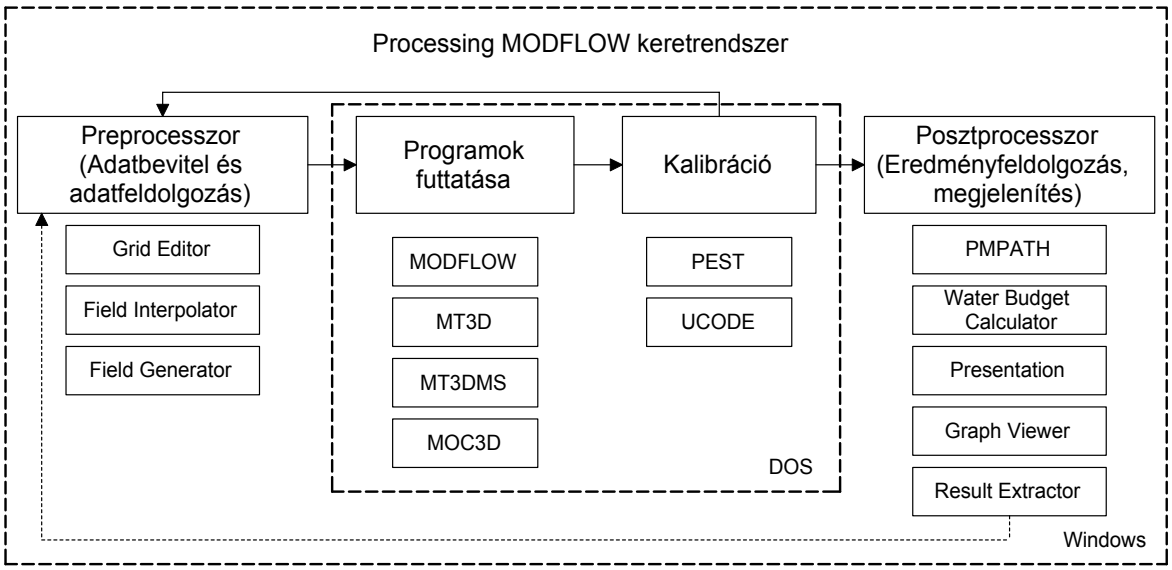
Az **MT3D** (ZHENG, 1990,1992, 1996) és az **MT3DMS** (ZHENG – WANG, 1998) programok a MODFLOW-hoz fejlesztett transzportmodellek. A két program abban különbözik egymástól, hogy az MT3DMS többkomponensű (kompetitív) transzport számítására alkalmas. A programban többfajta módszer alkalmazására van lehetőség (véges differencia módszer, karakterisztika módszerének több változata). A megoldás során lehetőség van az advektív-diszperzív transzport, a lineáris és nem lineáris adszorpció, valamint a bomlás figyelembe vételére is.

A **PMPATH** (CHIANG – KINZELBACH, 1993, 1994, 1998) programot hidrodinamikai vonatkozásai miatt már a 8.6. fejezetben részletesen bemutattuk. Már akkor

is említettük, hogy a program egy részecskeszemléletű szimulációs eljárást használó, advektív transzportmodell. Mivel a **PMPATH** modellnek szinte valamennyi jellemzőjét már bemutattuk, a továbbiakban nem foglalkozunk vele.

11.1. A transzportmodellezés helye a PMWIN rendszerben

A PMWIN környezet az említett transzportmodellek pre- és posztprocesszora. A transzportmodellek MS-DOS környezetben futó, többnyire FORTRAN valamelyik nyelvjárásában írt programok, melyeknél az adatbevitel nehézkesen szerkeszthető, általában hosszú szöveges állományokkal történik, és az eredményeket is hosszú, akár több 10 MB (nagyobb modellnél akár az 500 MB-ot is meghaladó) méretű szöveges, ritkábban bináris állományokban kapjuk meg. Mivel ezekkel a szöveges állományokkal nehéz dolgozni, ezért szükségesek azok a pre-processzor programok (pl. PMWIN), melyekben a szimulált rendszer megtervezhető, majd a program elkészíti a szükséges input szövegfájlokat a FORTRAN program részére. A programmal elvégezhető egy DOS ablakban a transzportmodell futtatása, de van lehetőség az előre elkészített adatállományokkal később, a PMWIN környezeten kívül is elvégezni azt. Az eredményként kapott állományokat pedig egy posztprocesszor feldolgozóprogrammal (pl. PMWIN) jelenítjük meg és értékeljük ki (2. ábra).



2. ábra
A Processing MODFLOW környezet felépítése

Ahhoz, hogy bármely transzportmodellel számításokat lehessen végezni, előbb el kell készíteni és le kell futtatani a vizsgált területrész hidrodinamikai modelljét. A hidrodinamikai modellel számított szivárgási sebességvektor komponensek, a hézagtérfogat értékek a transzportmodellezés bemeneti paraméterei, ezért ezeket a transzportmodellnek ismernie kell. A hidrodinamikai és a transzportmodell közötti kapcsolatot egy interfész állomány képzi, melynek kiíratását a MODFLOW futtatása során elő kell írni. Az interfész állomány készítésén túlmenően célszerű a hidrodinamikai

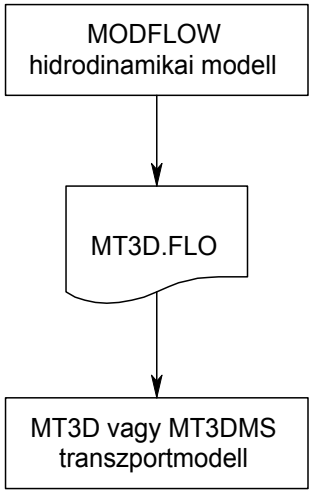
modellt a transzportmodellezésnek megfelelő módon felépíteni, amit a következő alfejezetben mutatunk be.

A PMWIN környezetben végzett transzportmodellezésnek van egy további sajátossága is. A rendszerben több programmal végezhetjük el ugyanazokat vagy az egymáshoz nagyon hasonló feladatokat: pl. ismert hidrodinamikai környezetben egy adott hatásra, ismert peremfeltételek mellett kialakuló koncentrációk időbeli változásának számítását. A dolog természetéből adódik, hogy a számításokhoz részben azonos adatokat kell felhasználni, pl. a kezdeti feltételek, mindig egy adott időpontban észlelt koncentráció-eloszlások. Mivel ezek az adatok a problémára jellemzők, és nem transzportmodell-specifikusak, ezért a rendszerben bármelyik transzportmodell használatakor is adjuk meg ezeket a bemeneti paramétereket, azok az összes többi programban azonnal alkalmazhatóvá válnak. Az ismertetetett megoldás egyik előnye, hogy azonos problémát tudunk gyorsan több rendszerrel megoldani, a másik pedig, hogy van lehetőség egy egyszerű, egykomponensű MT3D modell gyors továbbfejlesztésére, pl. egy többkomponensű MT3DMS transzportmodellé.

11.2. A hidrodinamikai modell felkészítése a transzportszámításokra

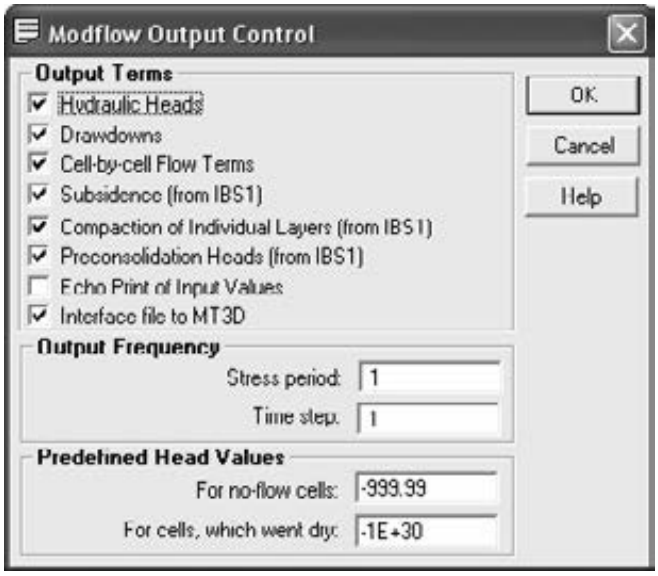
A transzportmodellezés legfontosabb előzménye egy korrekt, a releváns folyamatokat jól leíró, stabil, gyors, már a szennyeződés-terjedés szempontjait is figyelembe vevő hidrodinamikai modell. Sajnos sokszor a hidrodinamikai modellezés és a transzportmodellezés céljaira leginkább alkalmas modell csak közelítően azonos, ezért sokszor két modell párhuzamos építésére kényszerülünk. Az elsőt azért fejlesztjük, hogy azzal pontos hidrodinamikai számításokra legyünk képesek, a másikat pedig azért, hogy az első modellhez nagyon hasonló, de a transzportmodellezésre ideális modellel is rendelkezzünk. Például a pontos hidrodinamikai modellek általában a kutak környezetében erősen besűrített rácshálót használnak. A sűrített rácsháló ugyanakkor a transzportmodellezés során használt időlépcső extrém csökkenéséhez vezet, ami nemcsak hosszú programfutást, hanem erősen megnövekvő numerikus hibákat is okoz. Ilyenkor érdemes az áramvonalakat, az elérési idő izokrón görbéit a pontos hidrodinamikai modellel, a szennyeződés-terjedést pedig egy minél inkább izometrikus elemeket tartalmazó modellel számolni.

A transzportmodellnek tehát szüksége van egy permanens vagy nem-permanens állapotot leíró hidrodinamikai modellre, melyből a transzportmodell a szivárgási sebesség-komponensek nagyságát, a felvett rétegek geometriáját alapadatként használja fel. A felhasználás eszköze egy olyan adatállomány (***MT3D.FLO***), amit a hidrodinamikai modellprogram állít elő a futása közben (MCDONALD – HARBAUGH, 1988, HARBAUGH - MCDONALD, 1996a, 1996b), és amit a transzportprogram beolvas a futás kezdetén. Mindebből az is következik, hogy bármiféle módosítást eszközlünk a hidrodinamikai modellen, előbb azt le kell futtatni, és el kell készíteni az új állományt, amit ezután a transzportprogram beolvashat (3. ábra).



3. ábra
A hidrodinamikai és a transzportmodellezés kapcsolódása

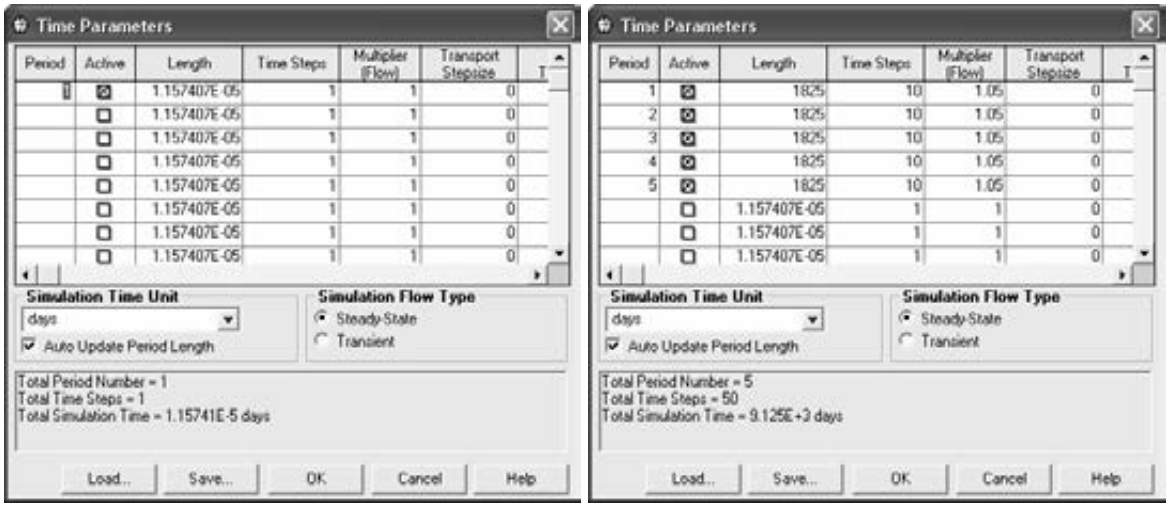
Gyakori hiba, hogy ez az állomány nem készül el, és akkor a transzportmodellt nem lehet futtatni. Az MT3D/MS programok részére az MT3D.FLO interfész állomány létrehozását a **Models → MODFLOW → Output Control...** paranccsal lehet elérni (4. ábra). Az ablakban az ***Interface file to MT3D*** doboz bejelölésével biztosíthatjuk az ***MT3D.FLO*** állomány elkészítését. Ugyanitt megadható, hogy a számítás során használt mely részeredményeket (Nyomásszintek – ***Hydraulic Heads***, Depressziók – ***Drawdown***, Cellák közötti hozamok – ***Cell-by-cell Flow Terms***, Felszínsüllyedések (IBS1 csomag) – ***Subsidence***, Egyes rétegek összenyomódása (IBS1 csomag) – ***Compaction of Individual Layers***, Előkonszolidációs nyomás (IBS1 csomag) – ***Preconsolidation Heads***) és a bemeneti adatokat (***Echo Print of Input Values***) tartalmazza az eredményállomány..



4. ábra
Az MT3D interfész állomány kiíratásának beállítása

Függetlenül attól, hogy a hidrodinamikai modell eredendően permanens vagy nem permanens állapotú, azt a transzportmodellhez kell alakítani. Ezek közül a legfontosabb a már említett ***MT3D.FLO*** állomány létrehozása. A másik alapvető dolog az időlépcsők beállítása a transzportmodellezés igényeinek megfelelően.

Az időlépcsők beállítása akkor is fontos, ha a hidrodinamikai modell permanens állapotú volt, függetlenül attól, hogy emiatt a program az interfész állományba ugyanazokat a sebesség-komponenseket írja ki az időlépcsők darabszámának megfelelő számban. Amennyiben a modell permanens, az 5. ábra bal oldalán látható lehet pl. az időbeliség definíciója. Amennyiben a permanens állapotban 5 db 5 éves periódus transzport-szimulációjára készülünk, akkor szükséges az 5 db időlépcsőt a permanens hidrodinamikai modellen belül is definiálni (5. ábra jobb oldala). Amennyiben a hidrodinamikai modell nem permanens állapotú rendszert szimulál, akkor célszerű mindkét rendszerben azonos időlépcsőket használni.

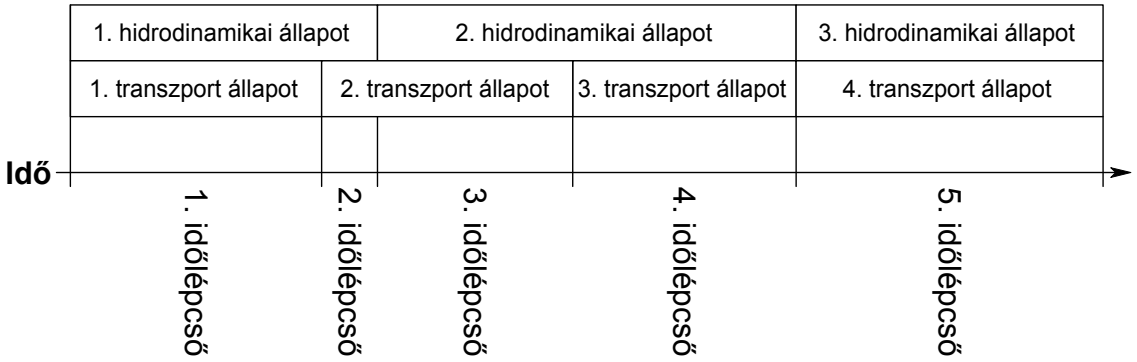


5. ábra
A hidrodinamikai modell időlépcsőinek módosítása
a transzportmodellezés igényeinek megfelelően

Feltételezve, hogy egy rendszerben a hidrodinamikai állapot kétszer, a transzportszempontból fontos jellemzők (pl. szennyezőforrás intenzitása) háromszor változnak, akkor a 6. ábra szerinti öt időlépcső definiálása lehet a megoldás.

Fontos, hogy a nem permanens hidrodinamikai modell által szimulált teljes időtartamnak és a transzportmodell által szimulált időtartamnak azonos hosszúnak kell lenniük. A transzportmodellezésre történő felkészülés során ezért szükséges az időbeli szakaszolás módját átgondolni. A túl sok számítási időlépcső hosszas futáshoz vezet, továbbá mivel minden időlépcsőhöz külön bemeneti állományok tartoznak, ezért nagy, akár a 100 MB-os méretet is meghaladó, bemeneti és kimeneti állományok kezelését teszik szükségessé. Érdemes tehát a munka megkezdését megelőzően átgondolni, hogy hogyan alakítható ki egy, a rendszert kellő mértékben leíró, de még kezelhető nagyságú és bonyolultságú számítási rendszer. Könnyebbséget jelent, hogy – főképpen a talaj- és talajvízszennyezések esetén a szennyezőforrások kialakulásnak pontos ideje nem ismert, ezért lehetőség van a 6. ábra szerinti, különböző transzport

állapotok kezdeti és esetleg végső időpontjának kisebb tartományon belül mozgatásával az összes időlépcsők számát lecsökkenteni.



6. ábra
A hidrodinamikai és a transzportmodellezés időlépcsőinek harmonizálása

Már a hidrodinamikai modell transzportszámításra alkalmas változatának elkészítése közben gondolkozni kell a transzportmodell működési koncepcióján. A transzportmodell a szennyezőanyag mérleg számítását fogja elvégezni. Három eset lehetséges:
- a szennyezőanyag a kezdeti állapotban már a rendszerben van (pl. egy szennyezett terület természetes szétterjedésének szimulációja esetén);
- a szennyezőanyag a modellezés során jut be a rendszerbe (pl. egy aktív szennyezőforrás hatásának vizsgálata);
- a leggyakoribb azonban a kettő kombinációja, amikor már van a rendszerben szennyező anyag, de a szimulációs időszakban további szennyezés is történik.

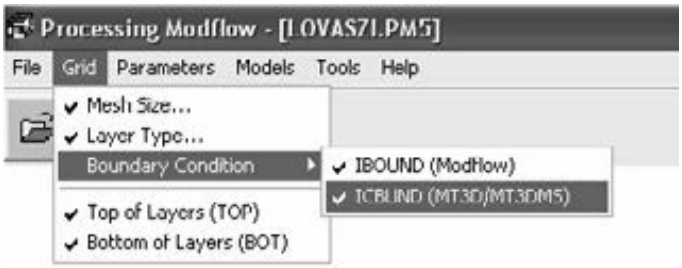
A szennyezőanyag a rendszerbe vízbetáplálással együtt kerülhet csak kívülről be (pl. injektálókutakkal, beszivárgással, szennyezett folyadék elszikkasztásával, stb.), mely elemeknek már a hidrodinamikai modellben is benne kell lenniük. Ennek megfelelően a hidrodinamikai modellt úgy kell felépíteni, hogy abban mindazok a „források” (vízbetáplálások) szerepeljenek, amelyeken keresztül a szennyezőanyag a transzportmodellben a rendszerbe be tud lépni.

Amennyiben például van egy felszínközeli szennyezés, ahol a talajvíz a felszín felől a csapadékból történő beszivárgás hatására szennyeződik el, akkor az ennek vizsgálatára készített hidrodinamikai modellben még akkor is szimulálni kell beszivárgást, ha a beszivárgásból eredő hozamok a rendszer egészének vízmérlege szempontjából teljesen elhanyagolhatók. Mindezt azért, hogy a transzportmodellezés során legyen lehetőség a „vízbelépéseknek” szennyezőanyag-forrásként való használatára.

Bármilyen módosítást végzünk a hidrodinamikai modellen, azaz a MODFLOW bemeneti adatain, a **Models → MODFLOW → Run** paranccsal el kell végezni a futtatást, miközben a megváltozott helyzetnek (források és nyelők, időlépcsők, stb. megváltozása) megfelelő szivárgási sebességteret a program kiszámolja, majd ezt követően a módosult ***MT3D.FLO*** interfész állományt is kiírja. Amíg a futtatás meg nem történik, addig a transzportmodell a korábbi hidrodinamikai helyzetet tételezi fel.

11.3. A peremfeltételek megadása

A transzportmodell peremfeltételeit a **Grid → Boundary Condition → ICBUND (MT3D/MT3DMS)** paranccsal lehet megadni (7. ábra).



7. ábra
A hidrodinamikai és a transzportmodellezés peremfeltételeinek megadása

A transzportmodellezésnél aktív (időben változó) és állandó koncentrációjú cellákat lehet a rendszerben definiálni. Inaktív cellák definíciójára azért nincs szükség és lehetőség, mert minden időlépcső elején a program áttekinti azokat a cellákat, melyeknél koncentráció-változás nem lehetséges (állandó koncentrációjú, forrás- és nyelőmentes területrészek) és ezekre a számítást nem végzi el.

Az állandó koncentrációjú cellákat –1-gyel, a változó koncentrációjú, aktív cellákat 1-gyel jelöljük a rendszerben. Amennyiben a modellezett terület kellően nagy, a szennyeződés kizárólag a modellezett területen belül található, továbbá a háttérkoncentráció zérusnak tekinthető, készíthető olyan modell, ahol az összes cellát aktívnak tételezzük fel.

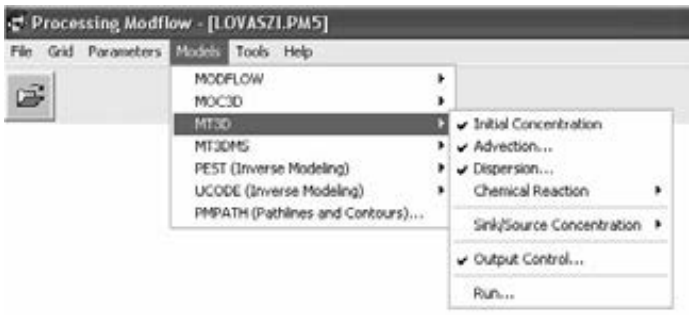
Amennyiben az MT3D/MT3DMS programrendszert használjuk, a peremfeltételek megadása kötelező, annak hiányára hibaüzenet hívja fel a felhasználót.

11.4. Az MT3D program bemeneti adatainak megadása

Az MT3D program adatait a **Models → MT3D** parancs segítségével adhatjuk meg. A menürendszerben a kiindulási koncentrációértékeket az **Initial Concentration**, az advektív transzportszámítás jellemzőit az **Advection...**, a diszperzív transzportot a **Dispersion...**, a szorpciós folyamatokat a **Chemical Reaction** menüpontok alatt adhatjuk meg. A hidrodinamikai modellbe épített forráselemek által bejuttatott folyadékok koncentrációját a **Sink/Source Concentration** menü alatt definiálhatjuk. A kiírandó paramétereket és azok gyakoriságát az **Output Control** menüben határozhatjuk meg, végül a **Run** paranccsal történhet a készített MT3D modell futtatása (8. ábra).

11.4.1. A kiindulási koncentrációk megadása

Az MT3D program egy ismert állapotból kiindulva képes a koncentráció-változások számítására, ezért az abszolút koncentráció-értékek megadásához szükség van valamennyi aktív cellában egy ismert állapotbeli koncentráció-eloszlás adataira, melyek a számítás kezdeti feltételeit képezik. A kiindulási koncentráció-eloszlás megadása a **Models → MT3D → Initial Concentration** parancs segítségével történik. Az itt megadott koncentráció-eloszlásokat a többi transzportmodell is felhasználhatja.



8. ábra
Az MT3D program adatrendszerének megadása

11.4.2. Az advektív transzport jellemzőinek megadása

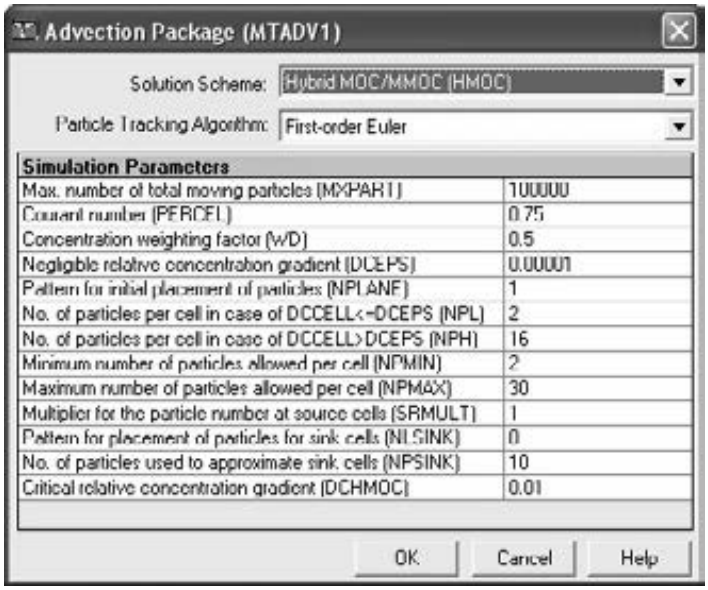
Az advektív transzport jellemzőit definiáló dialógusablakban (**Models → MT3D → Advection)** többféle megoldási mód (***Solution Scheme***) és részecske követési algoritmus (***Particle Tracking Algorithm***) közül választhatunk. A kiválasztott megoldástól és algoritmustól függően azok paramétereit az alsó táblázatban állíthatjuk be. A transzportmodellezés kezdeti fázisában nem célszerű a megadott alapértelmezett adatoktól eltérni, később, indokolt esetben és főként gyakorlottabb modellezők viszont bátran változtathatják ezeket a gyorsabb futás, a kisebb numerikus hibák, vagy más előnyök élvezése érdekében. Kezdő modellezőknek csak akkor javasoljuk az alapértelmezett paraméterek megváltoztatását, ha a modell nem fut, vagy ha erre a modell által készített szöveges kimeneti állomány (***OUTPUT.MT3***) kifejezetten utal, vagy javaslatot tesz.

Az MT3D program négy megoldási módot alkalmaz: az előrelépéses véges differencia módszert (***Upwind Finite Differences***), a karakterisztika módszerét (***MOC***), a módosított karakterisztika módszerét (***MMOC***) és a hibrid karakterisztika módszerét (***HMOC***).

A véges differencia módszerrel történő megoldást az előző kötetben már röviden ismertettük.

A karakterisztika módszere azon alapul, hogy a transzportegyenletet nem helyhez, hanem a mozgó vízrészecskékhez kötött koordináta-rendszert feltételezve írják le, így az eredetileg másodrendű deriváltakat tartalmazó transzport egyenlet ordináris, első rendű differenciálegyenletté alakul. Másképpen megfogalmazva a módszer a koncentrációk változását nem álló helyzetből, hanem az áramló folyadékkal együtt mozogva szemléli. Tekintettel a transzportegyenlet ordináris differenciálegyenletté való egyszerűsödésére a karakterisztika módszere (többnyire együttesen a véges differencia módszerrel alkalmazva) kiküszöböli numerikus hibák nagy részét. Kiindulási adatként szükséges az áramlási sebességtér jellemzőit, azaz a sebességvektor irányának és nagyságának térbeli és időbeli változását ismerni, amit többnyire véges differencia módszerrel határozzuk meg. Ezt követően olyan pontokat (részecskéket) helyezünk el az áramlási térben, amelyek az áramló vízzel együtt mozognak az áramvonal (=karakterisztikus vonal – innen az elnevezés!) mentén. A részecskék

helyzetét egy fix rácshálóhoz, praktikusan egy véges differencia hálóhoz viszonyítjuk. Időlépcsőnként meghatározva a részecskék útját, meghatározhatóvá válnak a koncentrációk, melyek alapját képezik a következő időlépcsőben a részecskék térbeli „szétosztásának". A módszer alkalmazása során az egyes részecskék megadott, de az időben, pl. a bomlás hatására változó szennyezőanyag-tömegeket jelképeznek. (KONIKOW és BREDEHOEFT, 1978).



9. ábra
Az advektív transzport megadása

11.4.2.1. A megoldási módszerek

A négy megoldás közül a feladat ismeretében célszerű választani. A karakterisztika módszerének hagyományos formája nagyon előnyös, mert gyakorlatilag teljesen kiküszöböli a numerikus hibákat, ugyanakkor hátránya, hogy nagy modellméret, illetve sok aktív cella esetén rengeteg részecske figyelembevételével kapható megfelelően reprezentatív eredmény, ami lassú számításhoz, illetve óriási memóriaigényhez vezet.

A módosított karakterisztika módszere (MMOC) a részecskék számát csökkenti azáltal, hogy minden aktív cellához csak egy, cellánként eltérő mennyiségű szennyezőanyagot jelképező részecske hozzárendelését engedélyezi meg. A módszer csak akkor használható, ha a modellezett térrészen belül a koncentrációk területi változása kicsi, mert alkalmazása éles frontok és kiugró koncentrációcsúcsok esetén jelentős numerikus diszperzióhoz vezet.

A hibrid módszer megpróbálja a két ismertetett módszert ötvözni. A területen a számítás során mindkét módszert alkalmazza. Ahol jelentős koncentráció-változások vannak, ott a hagyományos MOC megoldást használja sok részecskével, míg a kevésbé változó koncentrációkkal jellemezhető helyen az MMOC módszert használja fel. Azt, hogy mikor tekinthető a koncentráció változása nagynak, azt a felhasználó által megadott ***DCHMOC*** paraméter határozza meg. Ezzel a paraméterrel tudja a

modellező egyben a szükséges részecskék számát, illetve a használt memória méretét is befolyásolni.

A véges differencia megoldás alkalmazása csak olyan esetekben javasolható, ahol az advektív transzport a diszperzív transzporthoz képest alárendelt. Ebben az esetben a numerikus oszcillációból és a numerikus diszperzióból származó hibák még általában nem zavarják az eredmények kiértékelését.

11.4.2.2. A számítási algoritmusok

A program az elsőrendű Euler (***First-order Euler***) vagy a negyedrendű Runge-Kutta (***Fourth-order Runge-Kutta***) algoritmust, illetve a kettő kombinációját alkalmazza.

Az elsőrendű Euler algoritmus hibája, hogy általában jelentős numerikus hibákhoz vezet még kis időlépcsők esetén is.

A negyedrendű Runge-Kutta algoritmus alkalmazásakor a szivárgás átlagsebességét három érték súlyozott átlagaként számítja a program. Az áramvonal kezdő és becsült végpontbeli sebességét egyszeres súllyal a becsült középső pontbeli sebességet dupla súllyal veszik figyelembe. Az alkalmazott megoldással a numerikus hibák jelentősen csökkenthetők még nagyobb időlépcsők esetén is, miközben jelentősen megnő a számítás hardver és időigénye.

A két megoldás együttes alkalmazásával lehet a leggyorsabb számításokat elvégezni. Ekkor a források és nyelők közelében a negyedrendű Runge-Kutta algoritmust, attól távolodva az elsőrendű Euler algoritmust használjuk.

Általánosságban célszerű a megoldási módszert és a számítási algoritmust úgy megválasztani, hogy az alkalmazott időlépcső minél nagyobb lehessen, mert ekkor a legkisebbek a numerikus diszperzióból és általában az oszcillációból eredő hibák.

11.4.2.3. Az advektív transzportcsomag egyéb paraméterei

A táblázatban szereplő egyéb paraméterek jelentése a következő. Az ***MXPART*** paraméterrel a megengedhető legnagyobb részecskeszámot adhatjuk meg. Vigyázni kell, hogy a számítás által igényelt memóriaméret ne haladja meg rendelkezésre állót. A ***PERCEL*** paraméter a Courant-szám nevű, numerikus invariáns. A szám nagysága határozza meg, hogy a szennyezőanyag a cellán belül milyen irányokba mozdulhat el. Értéke 0,5 és 1 közötti általában.

A Courant-szám határozza meg a maximális időlépcsőt (Δt) a számítás során. Az MT3D programban a maximális időlépcsőt az R késleltetés, a cellaméret (Δx, Δy, Δz) és a szivárgási sebesség (v_x, v_y, v_z)hányadosának irányszerinti minimuma, valamint a Courant-szám függvényében az alábbi módon határozhatjuk meg:

$$\Delta t \leq PERCEL \cdot R \cdot Min\left[\frac{\Delta x}{v_x}, \frac{\Delta y}{v_y}, \frac{\Delta z}{v_z}\right] \qquad (11.1.)$$

WD a koncentráció súlyszám értéke 0 és 1 közé esik, általában 0,5 értéket használunk, azonban ez növelhető, amennyiben az advektív transzport a domináns transzportfolyamat.

A ***DCEPS*** paraméter határozza meg, hogy mekkora részecskeszámmal történjék a szimuláció. Amennyiben a ***DCEPS*** értéke nagyobb, mint a ***DCCELL*** koncentráció-változási irányszám, akkor egy ***NPH*** paraméterrel megadott nagyobb, amennyiben annál kisebb, akkor egy ***NPL*** paraméterrel meghatározott kisebb részecskeszámmal történik a szimuláció. A ***DCEPS*** értékét 10^{-5} érték körülinek szokták választani. A ***DCCELL*** koncentráció-változási mutatószám a cella közvetlen környezetében mért legkisebb és legnagyobb koncentrációk (***CMIN***$_{jik}$ és ***CMAX***$_{jik}$) különbségének és a teljes modellezett térrészben mért minimális és maximális koncentrációk (***CMIN*** és ***CMAX***) különbségének hányadosa:

$$DCCELL_{j,i,k} = \frac{CMAX_{jik} - CMIN_{jik}}{CMAX - CMIN} \qquad (11.2.)$$

A paraméter tehát megmutatja, hogy a cella környezetében a koncentráció-változás mekkora hányada a teljes modellben észlelt koncentráció-változásoknak.

A korábban említett ***NPL*** paraméter a megadja a részecskék minimális számát. A program ezt akkor alkalmazza, ha kicsik a koncentrációkülönbségek a modell éppen aktuálisan vizsgált térségében. Az ***NPL*** paraméter minimális értéke zérus, ami nyugodtan alkalmazható, mert kis koncentrációváltozások, koncentráció-gradiensek esetén az advektív transzport elhanyagolhatóvá válik (amennyi szennyezőanyag távozik, ugyanannyi érkezik egy kiválasztott térrészbe). Az ***NPH*** paraméterrel azt állíthatjuk be, hogy hány részecske induljon azokból a cellákból, ahol a koncentráció-változások ***DCEPS*** küszöbértéknél nagyobbak. Az alkalmazandó részecskeszámot a modellező szabadon választhatja meg, azonban a részecskeszám felesleges emelése a számítás memória és időigényének ugrásszerű növekedéséhez vezet. Általánosságban akkor kell nagyobb részecskeszámmal dolgozni, ha a szivárgási sebességtér erősen inhomogén. CHIANG és KINZELBACH (2001) szerint síkmodellek esetén cellánként 16-nál, térmodellek esetén 32-nél több részecskével dolgozni ritkán szükséges. Amennyiben az ***NPL*** és ***NPH*** értékét azonosnak vesszük, akkor a részecskeelosztás a teljes modellezett térben homogénné válik.

Az ***NPLANE*** paraméter a részecskék cellán belüli elhelyezését szabályozza. A részecskék szétosztása az ***NPLANE*** paraméternek megfelelő számú síkon történik. Amennyiben az ***NPLANE*** paramétert zérusnak választjuk, akkor véletlenszerűen helyezi el a program a részecskéket a cellában. Ez utóbbit elsősorban homogén szivárgási térben érdemes alkalmazni, egyéb esetekben célszerűbb a részecskéket síkok mentén elhelyezni. Síkszivárgás esetén a paramétert 1-re érdemes választani. Térmodelleknél a paraméter értékét ugyan lehet bármekkorára választani, de általában két sík mindig elegendő.

NPMIN és ***NPMAX*** a cellában az időlépcső végén megengedhető részecskék minimális és maximális száma. A nem homogén sebességtérben a részecskék egyes cellákból teljesen eltávozhatnak, másutt összegyülekeznek a számítás során. Amennyiben egy adott cellában az ***NPMIN*** paraméterben megadottnál kevesebb részecske marad, akkor a program ott újabb részecskéket helyez el, ahol pedig az ***NPMAX*** értéknél több van, onnan elvesz. Ezzel a rendszerben található részecskék darabszáma egy racionális tartományon belül tartható.

Az ***SRMULT*** paraméterrel a szennyezőforrásként működő cellákban szabályozhatjuk a részecskék számát. Az ***SRMULT*** szorzótényező, értékét általában 1-re választják, ugyanakkor az érték emelésével a források környezetében a koncentráció-eloszlás finomabb változásait is számítani lehet.

Az ***NLSINK*** paraméter az MMOC megoldás esetén a részecskék kezdeti eloszlásának sémáját mutatja be. Megállapodás szerint azonos módon osztjuk szét a részecskéket a MOC és MMOC megoldásoknál, ezért az ***NLSINK*** értéke megegyezik az ***NPLANE*** értékkel. Az ***NPSINK*** paraméter adja meg a részecske számot az MMOC számítás során, értékét az ***NPH*** értékkel azonosan szokás felvenni.

A ***DCHMOC*** paraméter mutatja meg, hogy mekkora az a koncentráció-gradiens, ami felett a hagyományos, ami alatt pedig a módosított karakterisztika módszerét használja a hibrid módszer. A program cellánként összeveti a ***DCHMOC*** paramétert a *DCCELL* értékkel, majd ennek alapján határozza meg az alkalmazandó számítási megoldást (CHIANG – KINZELBACH, 1993).

11.4.3. A diszperzív transzportjellemzők megadása

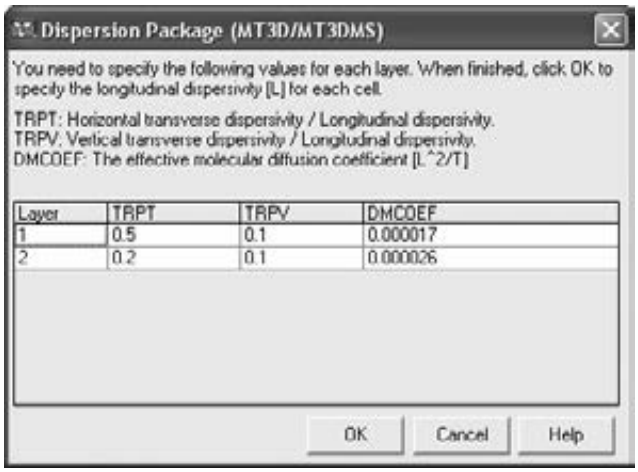
A diszperzív transzportjellemzőket a **Models → MT3D → Dispersion** parancs segítségével adhatjuk meg. A szennyezőanyag diffúzióját az effektív molekuláris diffúzió-állandó (***DMCOEF*** paraméter), a makro- és a hidrodinamikai diszperzió miatti szóródását a hidrodinamikai diszperzió-állandó határozza meg. A diszperzió-állandót, mint a szivárgási sebesség és a diszperzivitás szorzatát definiáltuk. Tekintettel arra, hogy a szivárgási sebességek komponenseit az MT3D program a MODFLOW számítás eredményeiből ismeri, ezért a programnak csak a diszperzivitás értékeit kell megadni.

A diszperzivitás szivárgási iránytól függő: három komponense a longitudinális diszperzivitás, a vertikális transzverzális és a horizontális transzverzális diszperzivitás. Az MT3D programmal közvetlenül csak a longitudinális diszperzivitás értékeit lehet elemenként megadni, a transzverzális diszperzivitásokat csak a longitudinális diszperzivitáshoz képest felvett arányszámokkal lehet definiálni.

A ***TRPT*** szám megmutatja a horizontális transzverzális és a longitudinális diszperzivitások, míg a ***TRPV*** szám a vertikális transzverzális és a longitudinális diszperzivitások arányát jellemzi.

A diszperziós csomag elindításakor a program előbb az arányszámokat és a diffúzió-állandót kéri (10. ábra), majd ezt követően egy ***Grid Editor*** ablakban megadható elemenként a longitudinális diszperzivitás.

A diszperziós csomag az explicit középponti differenciák módszerét használja, ezért a megoldás stabilitása érdekében az időlépcsőt korlátozni kell. A megengedhető maximális időlépcső arányos a késleltetési tényezővel és az elemek méretével, fordítottan arányos a diszperzió- és diffúzió- állandóval.



10. ábra
A diffúzió-állandó és a diszperzivitási arányok rétegenkénti megadása

11.4.4. A szorpció és a bomlás jellemzőinek megadása

A szorpció és bomlás jellemzőit a kémiai reakció csomagban (**Chemical Reaction Package**) lehet definiálni. A programhoz mellékelt MT3D csomagban csak rétegenként adhatók meg a paraméterek (***Layer-by-layer***), az MT3D96 és MT3D99 fejlettebb változatokban azonban már elemenként (***Cell-by-cell***). A **Models → MT3D → Chemical Reaction → Layer-by-layer** parancs kiválasztásával egy dialógusablakot nyitunk meg (10. ábra).

Itt először kiválasztandó egy legördülő menüből a szorpció és bomlás leírási módja:

Van mód a szorpciót figyelmen kívül hagyására (***No sorption***), lineáris szorpció (***Linear equilibrium isotherm***), Langmuir (***Langmuir nonlinear equilibrium isotherm***) vagy Freundlich (***Freundlich nonlinear equilibrium isotherm***) izotermák figyelembevételére. Függően attól, hogy a szorpciót milyen módon vesszük figyelembe egy vagy több paramétert nem szükséges megadni, ekkor ezek az oszlopok beszürkülnek.

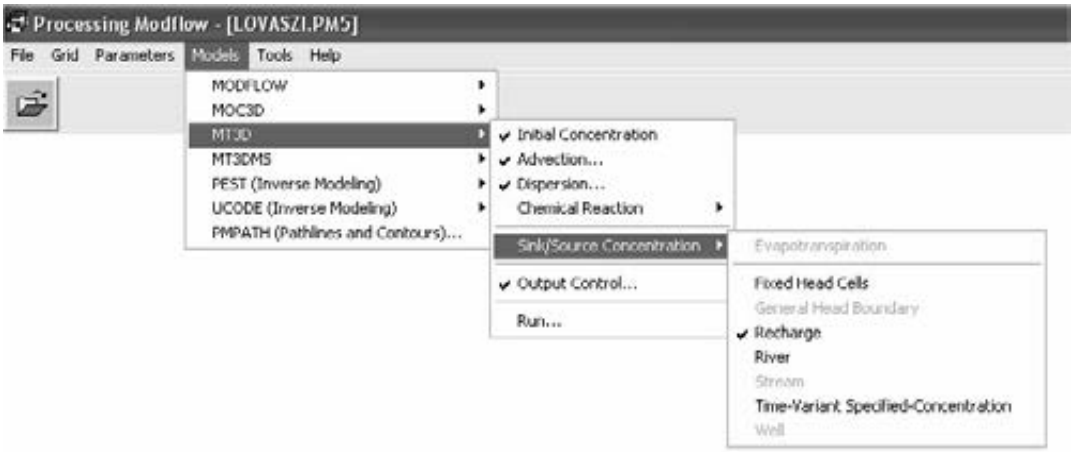
Valamennyi réteghez megadandó a talaj száraz állapotra vonatkozó térfogatsúlya (***RHOB*** paraméter). Amennyiben lineáris szorpciót tételezünk fel, akkor a K_d megoszlási együtthatót, Freundlich izoterma esetén az izoterma két paraméterét a ***KF*** konstans értéket és az ***A*** hatványkitevőt, Langmuir izoterma esetén a ***KL*** Langmuir állandót és az ***SC*** maximális szorpciós kapacitást kell megadni.

A radioaktív bomlást, illetve a biodegradációt a pórusbeli és a megkötött fázisra vonatkozó ***RC1*** és ***RC2*** bomlási állandókkal vehetjük figyelembe, ha a megfelelő jelölőnégyzet kiválasztásával engedélyeztük a bomlás figyelembevételét (***Simulate the radioactive decay or biodegradation***)

11.4.5. A források és nyelők megadása

Mint azt korábban említettük a szennyezőanyagok bevitele a modellezett térrészben a hidrodinamikai modellben definiált forrásokon keresztül történhet. Azt, hogy mekkora szennyezőanyag-mennyiség jut az egyes forrásokon keresztül a rendszerbe azt

az egyes forrásokon bejutó folyadékok koncentrációjával adhatjuk meg, a hidrodinamikai modellel számított hozamok mellett. A koncentrációkat a **Models → MT3D → Sink/Source Concentration** menüparanccsal adjuk meg.



11. ábra
Források és nyelők hozamának megadása

A menüben három módon jelennek meg az egyes lehetséges források (11. ábra):

A szürkével jelzett inaktív csomagok a hidrodinamikai modellben nem definiáltak, ezért azokon keresztül nem történhet szennyezőanyag-bevitel sem. A feketével megjelenített elemek szerepelnek a számításhoz felépített hidrodinamikai modellben, ezért ezek alkalmazhatók a szennyezőanyag bevitelre.

Amely elemek mellett egy kis pipa is megjelenik, azok a csomagok aktívak, azaz ezeken keresztül történik az adott modellben a szennyezőanyagok bejutása (pl. a 11. ábra szerint a Recharge csomagon keresztül).

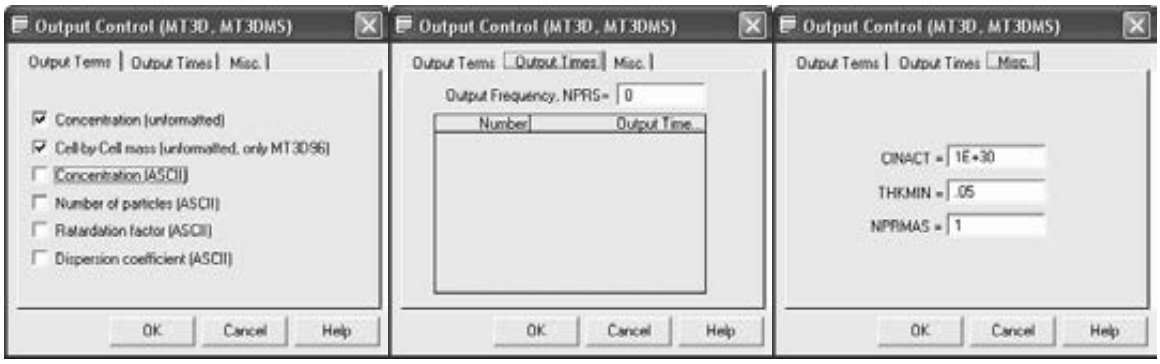
A megfelelő csomag kiválasztása után a ***Grid Editor*** ablak felhasználásával minden cellában a bejutó folyadékok koncentrációját megadhatjuk.

A rendszer mértékegység konzekvens, azaz figyelni kell arra, hogy amennyiben a koncentrációt a talajvizekben mg/l, azaz g/m^3 egységekben mérjük, akkor a tömeget g-ban kell megadni, azaz a talajok sűrűségét is g/m^3-ben, a megoszlási együtthatót m^3/g-ban kell megadni.

A nyelők által kivett folyadékok koncentrációját értelemszerűen nem kell megadni, hiszen a kitermelt folyadék koncentrációja megegyezik az adott elemre aktuálisan számított koncentráció értékével.

11.4.6. A kimeneti fájl beállításai (Output Control)

Az MT3D program mindig készít egy ***OUTPUT.MT3*** nevű kimeneti állományt, amibe a modellező által kiválasztott paramétereket menti a program. Az állomány igen nagy lehet, mivel egy terjengős szövegfájl, amelyiknek hossza pl. az időlépcsők számától, a modellcellák darabszámától és természetesen a kiírandó paraméterek mennyiségétől is függ. A kimeneti állomány beállításai a **Models → MT3D → Output Control (MT3D/MT3DMS)** menüvel érhetők el (12. ábra).



12. ábra
Az MT3D kimeneti paramétereinek beállításai

Az **Output Terms** lapon választhatók ki a kiírandó paraméterek és eredmények: a koncentráció értékek bináris és ASCII szövegállományba, a részecskeszám, a késleltetési tényező és a diszperzió-állandó cellánkénti számított értéke ASCII szövegállományba menthetők.

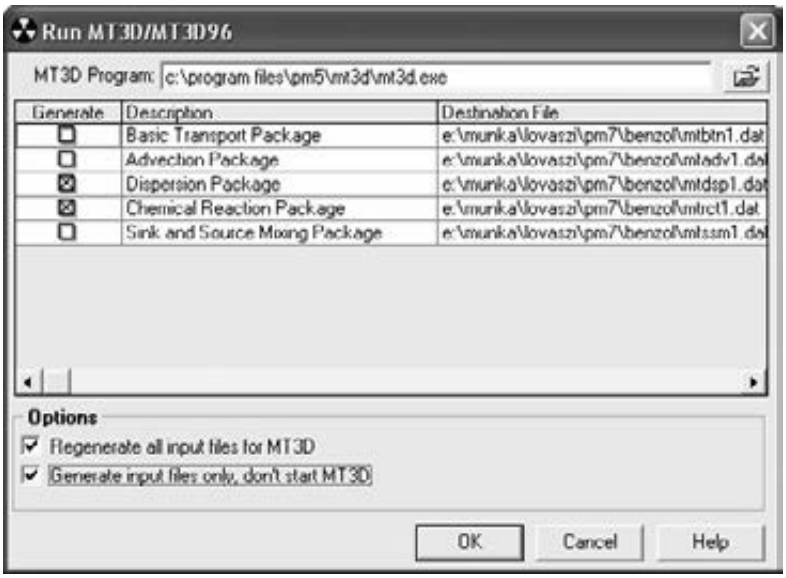
Az **Output Times** lapon a kiírás gyakoriságát lehet megadni. Alapértelmezetten elegendő minden időlépcső (***Period***) végén a koncentrációk és a kijelölt paraméterek kiíratása (***NPRS=0***), de előírhatjuk, hogy minden hányadik időlépés után történjék a kiíratás (***NPRS>0***), esetleg a lapon található táblázat kitöltésével a kiírási gyakoriságot időintervallumonként is változtathatjuk.

Az egyebek (**Misc.**) lapon az inaktív cellákhoz rendelt értéket (***CINACT***) állíthatjuk be, a minimális telített rétegvastagság értékét (***THKMIN***), illetve azt, hogy milyen gyakorisággal írja a program ki a szennyezőanyag-mérleg elemeit egy ***MT3D.MAS*** nevű állományba (***NPRMAS***). Sajnos a ***THKMIN*** opció csak a fejlettebb MT3D verziókban található meg, ezért a tradicionális, a programhoz adott MT3D verzió ezt nem veszi figyelembe (CHIANG – KINZELBACH, 1993).

11.4.7. Az MT3D program futtatása

A programot a **Models → MT3D → Run** paranccsal lehet lefuttatni (13. ábra). A dialógusablakban kiválaszthatjuk a futtatni kívánt MT3D programállományt (elérési úttal együtt), továbbá láthatjuk a modellben szereplő összes modellcsomagot, valamint azokat, melyek az utolsó futtatás óta megváltoztak. Ez utóbbiakat a ***Generate*** oszlopban található kereszt alakú jelölés mutatja.

A program alapértelmezésben csak a megjelölt csomagokat készíti el újra. Amennyiben valamennyi csomagot frissíteni szeretnénk, akkor ezt a ***Regenerate all input files for MT3D*** paranccsal tehetjük meg. Amennyiben a ***Generate input files only, don't start MT3D*** parancsot adjuk ki, akkor az összes MT3D állomány elkészül, és azokat később az aktuális modellkönyvtárban található ***MT3D.BAT*** nevű állomány végrehajtásával lehet futtatni.



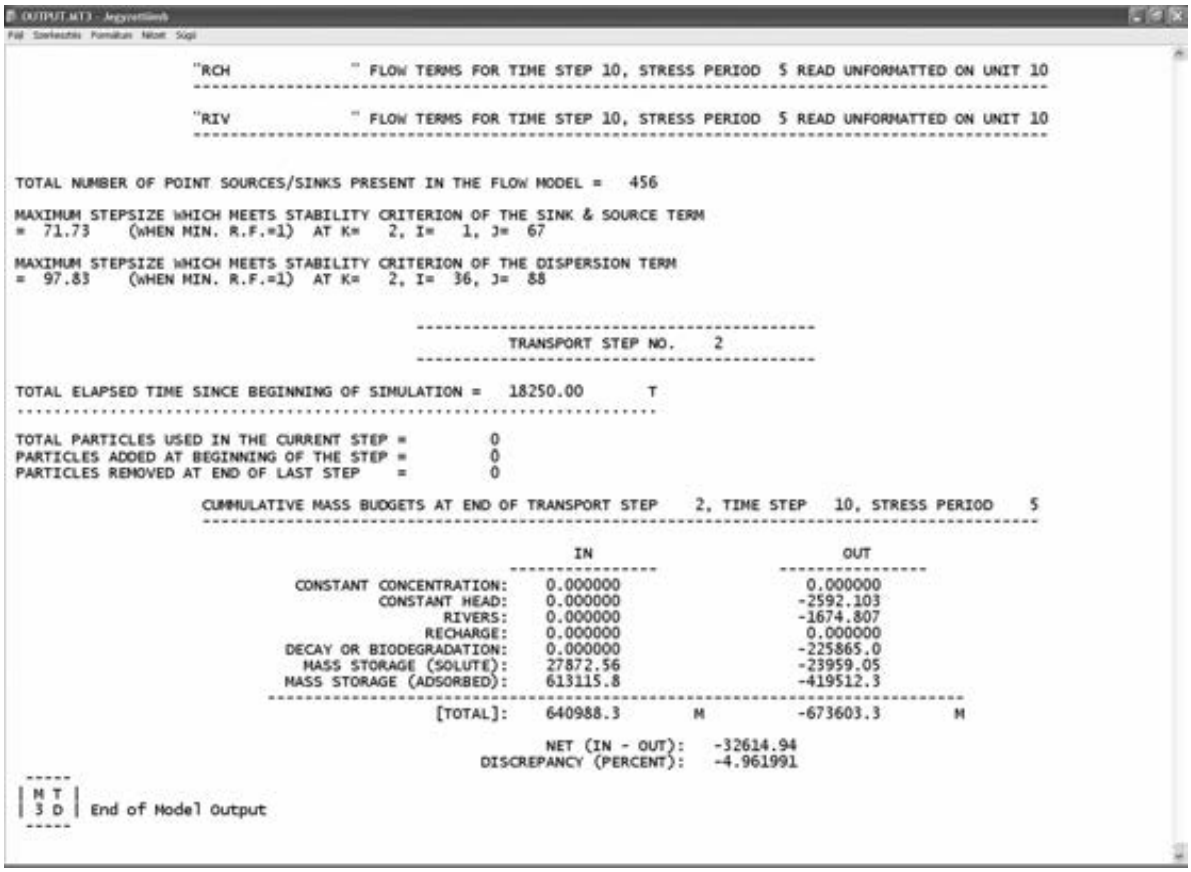
13. ábra
Az MT3D és MT3DMS futtatása

11.4.8. Teendők, ha valami nem sikerül...

Az MT3D egy régóta tesztelt program, ami alapvetően működik, azaz általában nem a programban van a hiba, ha valami nem működne...

Ha a futtatás parancs után a gép elkészíti az MT3D bemeneti állományait, majd leáll és kilép a PMWin környezetből, akkor ez egy kompatibilitási hiba, ami egyes Windows beállítások esetén előfordul. Egyes gépeken ugyanaz az adatrendszer produkálja a hibát, máson nem, esetleg a jelenség újabb, a PMWin-től független programok installálása után jön elő. A jelenség oka ismeretlen, de a megoldás egyszerű... Ilyenkor a futtatás során mindig be kell jelölni a ***Generate input files only, don't start MT3D*** négyzetet, és külön az ***MT3D.BAT*** állomány segítségével kell elvégezni a számolást !

Ha a program nem kezdene el futni, és a DOS ablakban hibaüzenet jelenik meg, akkor először nézzük meg a gép által készített ***OUTPUT.MT3*** nevű, kimeneti állományt, mely egy szövegfile, ami tetszőleges szövegszerkesztővel (Jegyzettömb, WordPad, Word, stb. olvasható). Olvassuk végig a szöveget, mert tartalmazza mindazt, ami a számítás során történt. A szöveg végén az ***End of Model Output*** szöveg olvasható (14. ábra), ha sikeresen futott le a program. Amennyiben nem, akkor a hiba okára utaló sort olvashatunk, ami segíthet a probléma megoldásában.



14. ábra
Az OUTPUT.MT3 állomány vége

Ha mégsem találjuk a hiba okát, akkor figyelmesen nézzük végig a megadott állományokat. A leggyakoribb hibák:

– A negatív koncentráció értékek megadása során a legtöbb esetben a program nem fut le. Előfordul, hogy a koncentráció térképeket térképszerkesztővel vagy a Field Interpolatorral készítettük el és ekkor a számított állományokban lehetnek negatív számok. Az állapotot a **Value → Search and Modify** paranccsal lehet a legegyszerűbben megszüntetni, a negatív számok keresésével, és zérus vagy a háttérnek megfelelő koncentrációkra való átírásával (***Replace*** opció).

– Túl kicsi vagy szeszélyesen változó rétegvastagságok esetén gyakran divergenssé válik a modell. Ez igen nehezen vehető észre, mert a rétegvastagságok pozitívak, így a MODFLOW nem jelez hibát. A szennyezőanyag mérleg számításakor azonban ezek a cellák egyrészt az időlépcső erős sűrűsödéséhez, másrészt sokszor a numerikus számító algoritmusok divergenciájához vezetnek. Megoldás, ha elkészítjük az egyes rétegek vastagsági térképeit és a néhány cm vastag területeken kissé kivastagítjuk azokat. Ezt különösen olyankor lehet nyugodtan megtenni, amikor a rétegek extrém elvékonyodását nem az alapadatok indokolják, hanem az alkalmazott inter- és extrapolációs algoritmusok.

– Javasolható hibakeresési lehetőség, amikor a transzportmodell nem fut, vagy extrém eredményekhez vezet, hogy az egyes csomagokat egyenként futtatjuk, azaz

olyan modelleket készítünk, melyekben csak a korábban felsorolt csomagok (advekció, diszperzió, kémiai reakció, forrás és nyelő) közül csak egyetlen aktív. Általában ilyenkor gyorsan kiszűrhető, hogy melyik csomag az, ami a helyes számítást akadályozza, ezután lehet a kiszűrt, nem korrektül működő csomagot tovább vizsgálni.

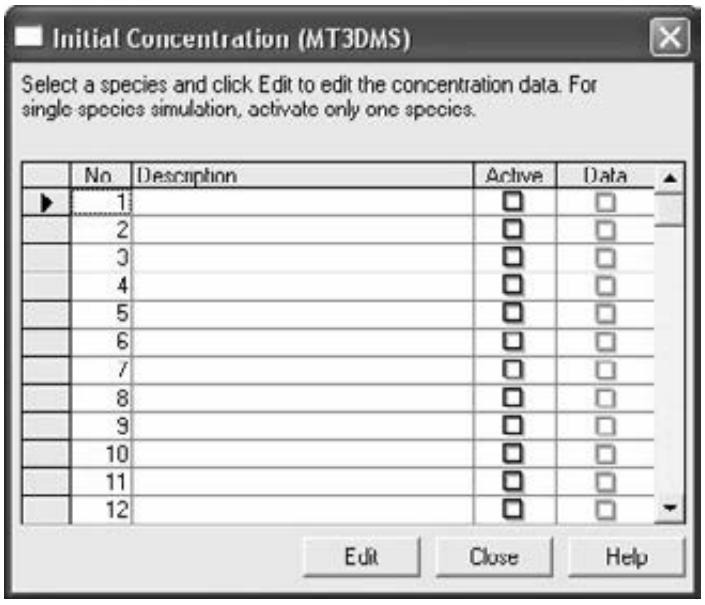
– Általános és sokszor elkövetett hiba, amikor nem konzekvensen alkalmazzuk a mértékegységeket. Pl. a sűrűséget gyakorta használjuk kg/m^3, régebben g/cm^3 egységben, a modellben pedig sokszor mg/m^3 vagy g/m^3 egységben kell dolgozni. Javaslom, hogy az eredmények dimenziója alapján történjék a tömeg mértékegységének megválasztása, mert általában sok koncentráció-eloszlást számolunk, majd publikálunk. Célszerű, hogy ezeket a megfelelő és általánosan használt mg/l vagy μg/l egységben kapjuk meg, mert egyébként az eredményeket kell később átszámolni, aminek elfelejtése vagy eltévesztése komoly problémákat okozhat. Ugyancsak fontos az idő dimenzióját értelmesen megválasztani, mert pl. másodperc esetén a számítási időt – ami sokszor akár 50-100 év – másodpercben kell megadni, ami azt jelenti, hogy általában tíz hatványaival dolgozunk. Sajnos ezek a számábrázolások annyira nem megszokottak, hogy azonnal szembeötlő volna bármilyen tévesztés, hiszen senki sem tudja fejből, hogy például mennyi 10 vagy 15 év másodpercekben. Ezek a hibák csak módszeres és kimondottan a mértékegység átszámolásra koncentráló hibakereséssel szűrhetők ki.

11.5. Az MT3DMS program használatának specialitásai

Az MT3DMS program az MT3D program egy módosított és továbbfejlesztett változata. A program nevében található MS betűk a multi-species, azaz több komponens szóra utalnak, tehát a programmal többkomponensű szennyezőanyag transzport számítása válik lehetővé. A program felépítése és koncepciója teljesen megegyezik az MT3D programéval: a működéséhez szükséges hidrodinamikai rendszert ebben az esetben is az ***MT3D.FLO*** állomány írja le.

Mivel többkomponensű a transzport, ezért a kezdeti koncentrációkat a komponensek számának megfelelő mátrixban kell tárolni, és az eredményeket is komponensenként kapjuk meg. Valamennyi komponensnek van egy sorszáma, neve, továbbá a rendszer nyilvántartja, hogy az aktuális adatokkal a mátrix fel van-e töltve (***Data***: szürke vagy fekete üres négyzet), illetve, hogy a következő szimuláció során az adott komponens transzportjával kell-e számolni (***Active***: üres vagy bejelölt négyzet, 15. ábra).

A transzport csomagok az MT3D programnál megszokottak, de néhány esetben részben továbbfejlesztettek. Az advektív transzport megadásánál a véges differencia megoldást továbbfejlesztették, lehet az explicit és a teljesen implicit megoldási algoritmus közül választani, továbbá bevezettek egy új, TVD nevű megoldási módszert is. A TVD megoldás előnye, hogy a numerikus diszperzióból és oszcillációból eredő hibákat jelentősen csökkenti.



15. ábra
A többkomponensű transzport kezdeti koncentrációinak megadása

A diszperzív transzport csomag újdonsága az explicit középponti differenciák módszerének és az implicit előrelépéses differenciák alkalmazásának választhatósága. A lehetőség egyes modelladat-rendszereknél segít a numerikus hibák nagyságának lecsökkentésében.

A kémiai reakció csomag tartalmazza az egyensúlyi szorpciót, illetve az irreverzibilis kémiai folyamatokat (radioaktív bomlás és biodegradáció) gyakorlatilag azonos módon, mint ahogy azt az MT3D program is teszi. Megjegyzendő, hogy az MT3DMS program az irreverzibilis reakciók tekintetében komponensenként számol a bomlással, a kompetitív transzportot más, ilyen tekintetben fejlettebb program, mint pl. a Processing MODFLOW Pro program által is támogatott RT3D képes számítani. A reakció csomag MT3DMS-beli újdonsága az első-rendű kinetikájú szorpció és a kettős porozitású tömegáram funkció.

Az első rendű kinetikájú szorpciót az alábbi egyenlet írja le (BEAR-VERRUIJT, 1987):

$$\rho_b \frac{\partial \overline{C}}{\partial t} = \beta\left(C - \frac{\overline{C}}{K_d} \right) \qquad (11.3.)$$

ahol a C a pórusbeli, $\overline{C}$ a megkötött anyag koncentrációja, K_d a megoszlási együttható, ρ_b a száraz állapotban mért talajsűrűség és β az első rendű megkötődési sebességállandó a pórusban és a felületen tárolt anyag között.

Amennyiben a folyadék mozgása lassú, akkor elegendő idő áll rendelkezésre ahhoz, hogy a szorpció végbemenjen, ekkor a hagyományos, a szorpciót leíró egyenletekhez jutunk.

A kettős porozitású rendszereket az MT3DMS program csak korlátozott mértékben tudja figyelembe venni. A rendszer porózus közegből és az azokat szabdaló repedéshálózatból áll. Mivel a repedésekben a víz mozgását gyorsnak tételezik fel (nyitott

vetők), a pórusokban pedig a szivárgás lassú, a két rendszerben eltérő jellegű anyagtranszport zajlik: a repedések környezetében az advektív, a porózus közegben a diffúzív transzport a domináns.

Az MT3D programmal való kompatibilitás érdekében a gyorsan mozgó, mobilis vizeket a **Parameters → Effective Porosity** menüben definiált pórusok tartalmazzák, az immobilis vizet az MT3DMS program kémiai reakció (**Chemical Reactions**) dialógus-ablakában kell megadni. Az itt megadott porozitás és a paraméterek között megadott szabad hézagtérfogat összege adja a teljes porozitását a kettős porozitásúnak feltételezett rendszernek.

A mobilis és az immobilis vizet tartalmazó térrészek közötti anyagtranszportot az alábbi egyenlettel közelítjük:

$$n_{im} \cdot \frac{\partial C_{im}}{\partial t} = \zeta \left(C_m - C_{im} \right), \qquad (11.4.)$$

ahol n_{im} a szekunder porozitás (immobilis vizet tartalmazó hézagtérfogat), C_{im} az immobilis, C_m a mobilis térrész pórusainak koncentrációja és ζ az első-rendű tömegáram sebesség-állandó a mobilis és az immobilis pórusok között.

Amennyiben nagy a ζ sebesség-állandó, akkor a rendszer viselkedése egyre inkább hasonlít a hagyományos porózus rendszerek viselkedésére, ha közelít a zérushoz, akkor az immobilis fázis egyre kevésbé vesz részt a folyamatokban, az így tárolt, illetve a pórusokba jutó szennyezőanyag áramok egyre inkább elhanyagolhatóvá válnak. A sebesség-állandó nem vagy alig mérhető, ezért elsősorban a koncentrációk alapján végzett kalibrációval állítható be.

Az MT3DMS utolsó újdonsága a GCG megoldó algoritmus, amely az MT3D megoldó algoritmusához képest számos kényelmi funkciót ajánl. A GCG algoritmusnál nincsenek stabilitást szolgáló állandók, melyek változtatása a megoldás gyorsaságának és stabilitásának változásával járna.

Az MT3D program futtatása a **Run** paranccsal történik teljesen hasonlóképpen az MT3D programhoz.

A könyvünkben az MT3DMS program teljes leírására nem törekedtünk, mivel azt számos mű részletesen megteszi, illetve a PMWIN programhoz a teljes programdokumentációt is mellékelik. Itt csak a kiindulási alapként szolgáló MT3D programtól való legfontosabb és legjellemzőbb eltéréseket tárgyaltuk.

12. Interpoláció, térképek szerkesztése, térképi műveletek Surfer for Windows™ programmal

A Surfer for Windows (GOLDEN SOFTWARE, 1997, 1999, 2002) egy 2.5 dimenziós felületszerkesztő program, amelyik számos egyéb alkalmazása révén a hidrodinamikai és transzportmodellezés során a modellező igen hasznos segítője lehet. A program v8 verziója legfontosabb részeinek ismertetését jelen fejezet tartalmazza, a programnak a modellezés során történő használatát a további fejezetek mutatják majd be.

A Surfer for Windows a Golden Software Inc. által gyártott kereskedelmi szoftver, melyet Magyarországon számos szoftverkereskedő is forgalmaz. A szoftverrel kapcsolatos információk, segédprogramok, mintaállományok a fejlesztők honlapján a ***http://www.goldensoftware.com*** lapon találhatók meg.

Amint azt korábban említettük, a program 2.5D térmodellező program, ami annyit jelent, hogy a valódi 3D megjelenítés ugyan nem lehetséges, mégis a kétdimenziósnál „térbelibb" ábrázolásra van lehetőség. Az alkalmazás során ugyanis minden „térfelület" esetén egy x,y koordinátapárhoz egyetlen z érték rendelhető hozzá, azaz, például egy gömbfelületet csak két felület (egy alsó és egy felső félgömb) együttes alkalmazásával ábrázolhatunk. A valóságban sokszor elegendő a 2.5 D megjelenítés, például, ha egy réteg szivárgási tényező, fedő- vagy feküszintvonalas térképét akarjuk megszerkeszteni. Van azonban, amikor még ilyen esetekben is egy x,y értékpárhoz több z érték tartozik, pl. amikor egy vízadó réteg szivárgási tényezőtérképét szerkesztjük meg és a réteget harántoló fúrásokból fúrásonként több szivárgási tényező értéket is meghatároztak. Az ilyen helyzeteket a program képes kezelni, miközben az igazi 3D térmodellezésre nincs lehetőség.

12.1. A program működése, állományai

A Surfer program több lépésben képes izovonalas térképek és térfelületek megszerkesztésére.

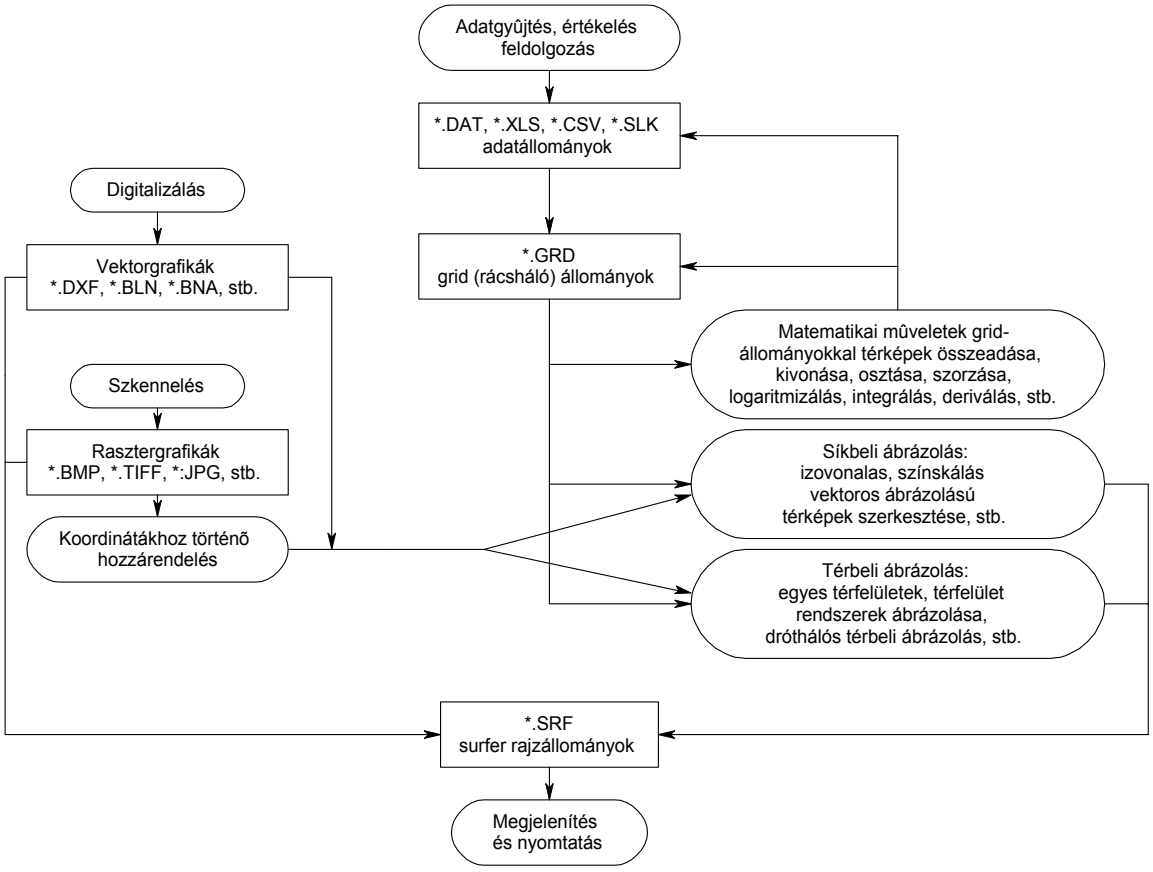
Kiindulásként olyan adatállományokra van szükség, melyekben minimálisan három oszlopban vannak adatok: az egyik oszlopban az x, a másikban az y, a további oszlopokban az izovonalas térképek és felületek szerkesztéséhez használt z_1, z_2, ..., z_i koordináták találhatók. A program adatállományai ASCII szövegállományok vagy táblázatkezelő állományok (pl. MS Excel, Sylk, stb.) is lehetnek (MS Access), melyek az egyes pontokhoz tartozó információt soronként tartalmazzák (rekordok).

Az adatállományok alapján a program először egy rácsháló-állományt, – a program nomenklatúráját követve – grid fájlt hoz létre. A grid állomány egy a felhasználó által meghatározott területrészre fektetett, az alkalmazott koordinátarendszer tengelyirányainak megfelelő tájolású, irányonként egyenközű rácsháló rácspontjaira, az adatállomány alapján számított legvalószínűbb interpolált vagy extrapolált értékeket tartalmazza, melynek számításához számos matematikai és geostatisztikai eszköz áll rendelkezésre. A grid állomány ennek megfelelően – kivételes esetektől eltekintve – nem tartalmazza az eredeti adatpontoknak megfelelő értékeket, csak az azokból szá-

mított „legvalószínűbb” értékeket, melyek a Surfer által számított, az alapadatpontokra fektetett térfelületet írják le.

A grid állományt a felhasználó többféle módon használhatja fel: van mód a térfelület izovonalas térképként vagy térfelületként történő megjelenítésére, de lehetséges a felületet leíró pontok felhasználásával, a térképekkel történő tetszőleges matematikai műveletek – beleértve a felületek deriválását és integrálását (pl. térfogatszámítás) is – elvégzése. A grid állományok és az azokkal végezhető matematikai műveletek sokfélesége biztosítja a program sokrétű felhasználhatóságát.

Összefoglalva a program alkalmazásának főbb lépéseit elmondható, hogy a felhasználónak először egy olyan adatállományt kell létrehoznia, melynek oszlopai tartalmazzák a koordinátákat, illetve a térfelület kiindulási adatpontjait, sorai egy-egy pont jellemzőit tartalmazzák. Az adatfájlból egy a felhasználó által definiált rácsháló csomópontjaira valamilyen kiválasztott matematikai eljárással, az adatpontokkal leginkább összhangban álló értékeket számítunk, melyek az adatpontok által jellemzett területi eloszlást a legjobban leírják, és ezeket az adatokat egy grid állományba mentik el. A grid állományokkal további műveletek végezhetők, illetve a grid állományban tárolt adatok grafikus térképi és térbeli megjelenítése rajzállományokba is megtörténhet. A Surfer a rajzállományokat SRF kiterjesztésű állományokba menti el.

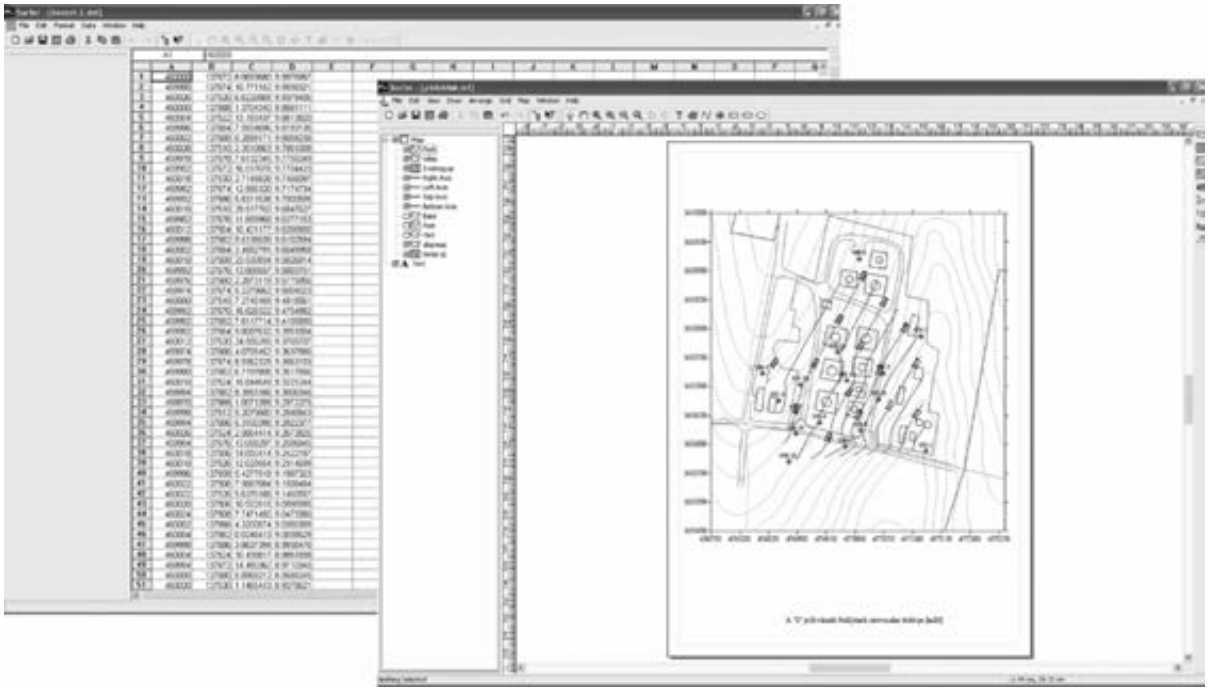


16. ábra
A Surferrel történő munkavégzés folyamata

12.2. A program menü-rendszere

A program elindítása a ***SURFER.EXE*** állomány futtatásával lehetséges, ami alapértelmezetten a Program Files könyvtár Golden Software alkönyvtárának Surfer vagy Surfer8 könyvtárában található, de elindítható a program a Start menüből is.

A program ezek után egy rajzablakot nyit meg, ami először üres, majd ide kerülnek a térképek és térfelületek. A Surfer három típusú ablakot használ: az említett rajzablakot (***Plot Window***), amiben ábrákat (térképeket és térfelületeket, illetve ezek tetszőleges kombinációit) lehet szerkeszteni, a táblázatkezelő ablakot (***Worksheet Window***), amelyben az adatállományokat lehet létrehozni, szerkeszteni, módosítani, végül a szöveg-ablakot (***Document Window***), amelyben a program általában információkat közöl a felhasználóval, illetve ezeket az információkat a felhasználó használhatja, módosíthatja, stb. (17. ábra).



17. ábra
A Surfer táblázatkezelő és rajzablaka

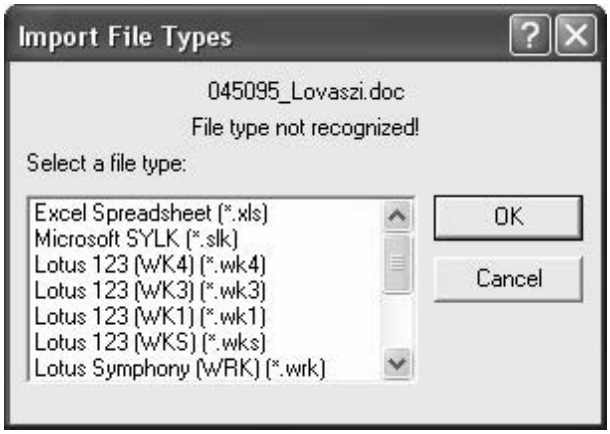
12.2.1. A File menü parancsai

A program **File** menüje a hagyományos parancsokat használja (18. ábra):

File → New: Új ablak létrehozására szolgál, mind üres táblázatkezelő, mind üres rajzablak készíthető vele.

File → Open: Állományok megnyitására szolgál. Valamennyi ismert állománytípust ezzel a paranccsal lehet megnyitni, a rendszer az adatállomány kiterjesztésétől függően azt rajz-, vagy táblázatkezelő ablakba nyitja meg. Amennyiben a kiterjesztés ismeretlen, akkor azt a megnyitás során a felhasználónak kell megadnia (19. ábra).

18. ábra
A File menü parancsai



19. ábra
Az ismeretlen kiterjesztésű állomány formátumának megadása

File → Close: Az aktuális ablak becsukása.

File → Save: Az aktuális ablak tartalmának elmentése a korábbi nevén.

File → Save As: Az aktuális ablak tartalmának elmentése új néven.

File → Import: A paranccsal számos ismert formátumú grafikát lehet a rajz- vagy a táblázatkezelő ablakba behívni. Fontos, hogy a grafikák rajzablakba történő importálása során nem történik meg a vonalak koordinátákhoz rendelése, csak a kép megjelenítése. Ezért a parancs alkalmas pl. egy logo megjelenítésére, de nem alkalmas pl. egy szkennelt alaptérkép koordinátahelyes felhasználására. Amennyiben szükséges a koordinátahelyes ábrázolás, akkor a **Map → Base Map** parancsot kell használni. Ha a parancsot aktív táblázatkezelő ablaknál hajtjuk végre, akkor a program az adatokat

hívja be. Ennek megfelelően egy vonal importálásánál a rajzablakban a vonal, a táblázatkezelő ablakban pedig a töréspontí koordináták jelennek meg.

File → Export: A parancs csak aktív rajzablakból érhető el és segítségével az aktuális ablak tartalmát vagy a kijelölt objektumokat a felhasználó által 21 lehetséges opció közül választott, külső formátumba lehet elmenteni. Van lehetőség a készített térképek és felületek raszter-grafikaként (BMP, TIFF, stb.) és vektor-grafikaként (WMF, EMF, SHP, stb.) történő kiíratására, továbbá koordinátahelyes kiíratásra is van mód AutoCAD DXF formátum használatával.

File → Page Setup: A munkalap beállítására szolgál. Beállítható a lap mérete (***Page Size***), tájolása (álló: ***Portrait***, fekvő: ***Landscape***) és a margók mérete (***Margins***). A lap beállításai a munka folyamán bármikor megváltoztathatók.

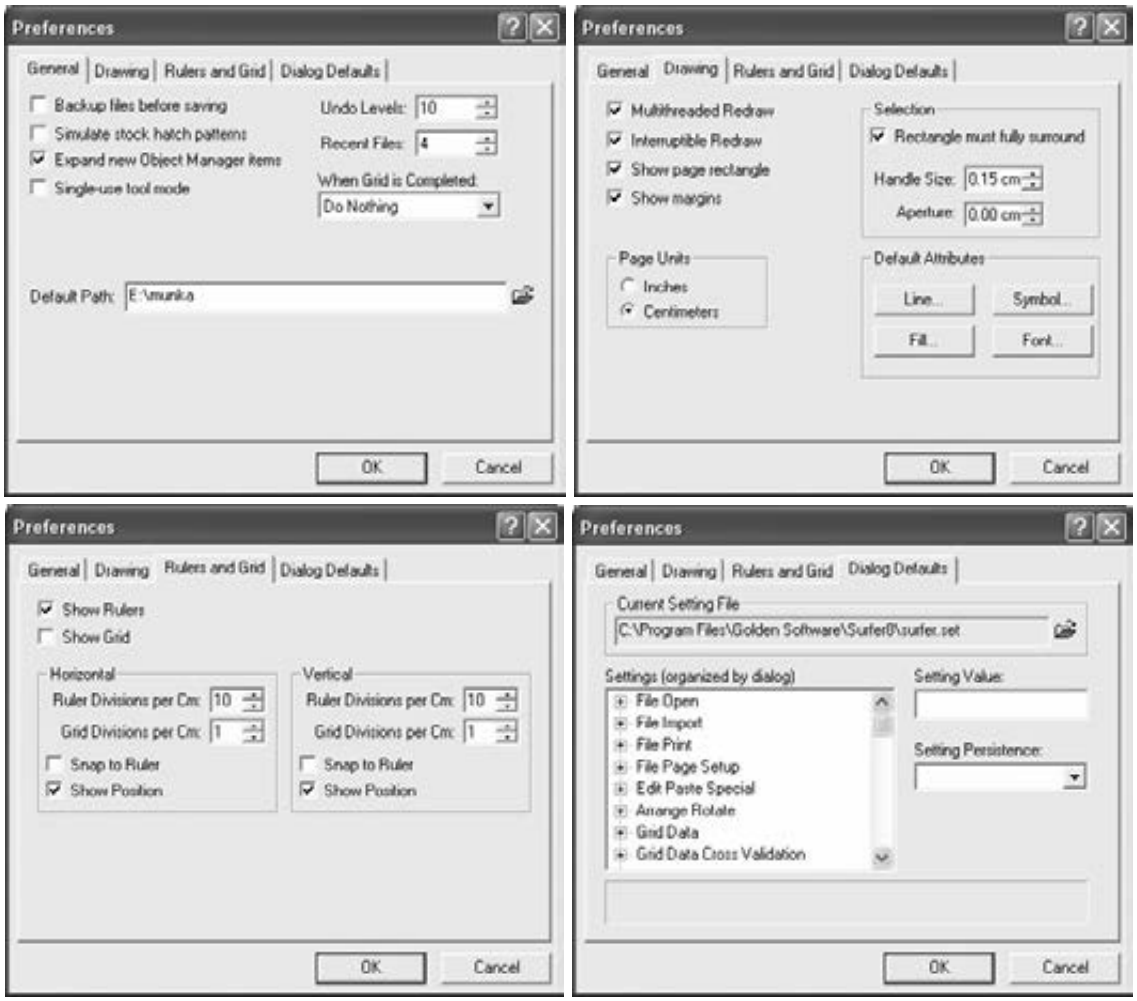
File → Print: Nyomtatási parancs. A hagyományos nyomtatástól való eltérés a nyomtatási mód (***Print Method***) paraméter, ahol a levágás (***Trunchate***), lapmérethez igazítás (***Fit***) és a darabolás (***Tile***) módszerek közül választhatunk. Amennyiben a készített térkép nagyobb, mint a nyomtatási méret, akkor a lelógó részt a program levágja, a grafikát a lap méretéhez igazítja, vagy eredeti méretben több darabban (több lapra) nyomtatja ki. Ez utóbbi esetben a darabok átfedését (***Overlap***) is beállíthatjuk. A teljes lapot (***All***) vagy egy kijelölt részét (***Range***) is nyomtathatjuk.

File → Preferences: A Preferences menü a program testreszabását teszi lehetővé. Érdemes a beállításoknál elidőzni, mert értelmes használatával a munkaidő jelentősen lerövidíthető. A parancs végrehajtásakor egy négy lapból álló ablak jelenik meg, melyek közül a fontosabbak jelentését adjuk csak meg (20. ábra).

Általános beállítások (***General***) között adható meg a visszavonási szintek száma (***Undo Levels***), illetve az utoljára szerkesztett állományok (***Recent Files***) száma, ami a File menü alján közvetlenül menüből elérhető. Be lehet állítani a munkakönyvtárat is (***Default Path***), amit célszerű is megtenni, mivel egyébként mindent a programállományok közé ment el a rendszer.

A rajzbeállítások (***Drawing***) oldalán adható meg a mértékegység, amit centiméterre érdemes átállítani. Itt adhatók meg az egyes elemek alapértelmezett beállításai (***Default Attributes***). A ***Line*** gomb a vonalak tulajdonságait, a ***Fill*** gomb a kitöltéseket, a ***Symbol*** gomb a szimbólumkészletek, a ***Font*** a betűtípusok alapértelmezését adja meg. Célszerű egy saját stílus előzetes kialakítása, hogy a betűk az ábrákon azonos betűtípussal jelenjenek meg. Amennyiben valakinek nem tetszik az alapértelmezett betűtípus, betűméret stb., akkor azt itt átállíthatja, egyébként viszont minden egyes objektumnál újra meg kell adnia. Célszerű az alapértelmezett 0 cm vastagságú hajszálvonalat is megvastagítani, mert csak nyomtatáskor fog kiderülni, hogy az ábrán a legtöbb vonal nem látszik. A program a láthatóság érdekében a hajszálvonalakat a képernyőn megjeleníti, azokat is, melyek később a nyomtatáskor esetleg nem látszanak már!

A vonalzók és rácsháló lapon (***Rulers and Grid***) célszerű az ábrán bemutatott beállításokat használni, ekkor minden oldalon egy cm skálájú, mm osztású vonalzó jelenik meg. Van lehetőség egy rácshálónak is a lapra fektetésére (***Grid***), de ez általában csak zavarja a munkát.



20. ábra
A Preferences menüablakok

A legfontosabb beállításokat a dialógusablak beállítások (***Dialog Defaults***) lapja tartalmazza. A program indulásakor beolvas egy ***SURFER.SET*** nevű állományt, amiben a program legtöbb ablakában megadandó paraméterek alapbeállításai találhatók. A ***Dialog Defaults*** ablakban egyrészt ezeken a beállításokon módosíthatunk, ami erősen javasolható, másrészt egy saját beállítás-állományt is szerkeszthetünk és behívhatunk. Az aktuális állomány nevét a ***Current Setting File*** ablakrészben adhatjuk meg.

A Surfernél valamennyi programváltozó háromféle tulajdonsággal vértezhető fel, amit a ***Setting Persistence*** (beállítás érvényessége) gördülőmenünél adhatunk meg. Amennyiben egy változó ***Allways Reset***, azaz mindig újradefiniált típusú, akkor bármikor is van rá szükség, a ***Setting Value*** (beállítási érték) kockában meghatározott értéket veszi fel, ami lehet egy a program által számított érték (***Internal Default***) vagy a felhasználó által megadott érték. Amennyiben pl. egy térkép területének határkoordinátáit ***Allways Reset*** típusúra és a beépített alapértéket (***Internal Default***) használóra választjuk, akkor a térképet mindig a rajta szereplő objektumokra illesztett téglatestbe foglalja. Ez nagyon zavaró, mert ha pl. egy vonalat nem ábrázolunk a

térképen mert az ott felesleges, lehet, hogy teljesen más terület fog az eredménytérképen szerepelni.

Amennyiben a változó ***Current Session Only*** (aktuális folyamatra vonatkozó) típusú, akkor a változó beállításai mindaddig érvényben maradnak, amíg a felhasználó a programot ki nem kapcsolja, vagy újra nem indítja. Ha a korábbi példa esetében a változó ***Current Session Only*** típusú, akkor csak egyszer kell a térkép határainak koordinátáit megadni, és mindaddig, amíg a programot ki nem kapcsoljuk, azonos területet ábrázol a program.

Ha a változó ***All Sessions*** típusú, akkor mindig a ***Setting Value*** értékbe írt változóértéket használja a program. Ez persze gondot jelenthet, mert ha pl. a térkép határát ilyen változóként definiáljuk, akkor egy másik területre készített térkép mindaddig nem ábrázolható, amíg ezt a beállítást meg nem változtatjuk, és a ***Setting Value*** értékét nem aktualizáljuk.

A beállítható paramétereket menübeli előfordulási sorrendben adja meg a program, és minden változó magyarázatát a dialógusablakban mutatja. Néhány célszerű beállítást tartalmazó ***SURFER.SET*** állomány a ***www.gama-geo.hu*** honlapról letölthető. Az eredeti ***SURFER.SET*** állományt célszerű biztos helyre elmenteni, mert ahogy a jó beállítások segítik, úgy a rosszak akadályozzák a hatékony munkát. A beállítások persze visszaállíthatók, ha tudjuk mit rontottunk el, de az ***Undo*** (visszavonás) gomb itt nem alkalmazható!!! Előfordul, hogy a beállítások hatására néha hibaüzenetet kapunk, ettől ne rettenjünk meg, mert néhány hibaüzenet árán sok felesleges kattintást spórolhatunk meg. Más beállításokkal viszont éppen ellehetetlenítjük a program működését, ezért ha ilyet tapasztalunk, térjünk vissza az eredeti és idejekorán elmentett ***SURFER.SET*** használatához.

File → Exit: Kilépés a programból

12.2.2. Az Edit menü

Az Edit menü (21. ábra) a Windows konvencióit követi.

Edit → Undo: Utolsó lépés visszavonása (***Undo***), amíg semmi sem történt, vagy ha elértük a visszavonások maximális számát, akkor a ***Can't Undo*** (visszavonás nem lehetséges) szöveg jelenik meg.

Edit → Redo: Utolsó visszavonás visszavonása (***Redo***), amíg nem történt visszavonás, akkor a ***Can't Redo*** (visszaállítás nem lehetséges) szöveg jelenik meg.

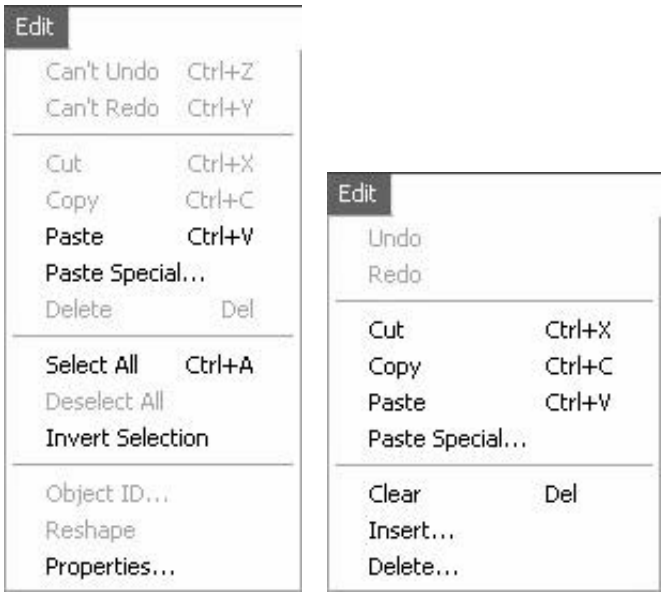
Edit → Cut: Hagyományos kivágás parancs

Edit → Copy: Hagyományos másolás parancs

Edit → Paste: Hagyományos beillesztés parancs

Edit → Paste special: Hagyományos beillesztés másként parancs

Edit → Delete: Hagyományos törlés parancs, ami a kijelölt objektumra vonatkozik. A törlési parancs visszavonható (***Undo***). Csak rajzablak esetén használható.



21. ábra
Az Edit menü parancsai rajz és táblázatkezelő ablak esetén

Edit → Select All: Az ablakban található összes objektum kijelölése, csak rajzablak esetén használható.

Edit → Deselect All: Az ablakban található összes kijelölt objektum kijelölésének megszüntetése, csak rajzablak esetén használható.

Edit → Invert Selection: Az ablakban található összes objektum kijelölésének megváltoztatása, a kijelöltek megszüntetése, a jelöletlenek kijelölése, csak rajzablak esetén használható.

Edit → Object ID: Az aktuális objektum nevének megadása, megváltoztatása. Csak rajzablak esetén használható.

Edit → Reshape: Az aktuális rajzobjektum alakjának megváltoztatása. Csak rajzablak esetén használható.

Edit → Properties: Az aktuális objektum valamennyi tulajdonságának a megjelenítése, szerkesztése és egyenkénti megváltoztatása. Csak rajzablak esetén használható.

Edit → Clear: Az aktuális cella, sor vagy oszlop tartalmának törlése. Csak táblázatkezelő ablak esetén használható.

Edit → Insert: Az aktuális cella, sor vagy oszlop mellé újabb beszúrása. Csak táblázatkezelő ablak esetén használható.

Edit → Delete: Az aktuális cella, sor vagy oszlop törlése. Csak táblázatkezelő ablak esetén használható.

12.2.3. A View (Nézet) menü

A **View** menü a képernyőre, nézetre vonatkozó beállításokat tartalmazza (22. ábra). A menü csak rajzablak esetén érhető el.

22. ábra
A View (Nézet) menü

A menü segítségével beállíthatjuk, hogy a rajz kitöltse az ablakot (***Fit to Window***), a teljes lapot mutassa, függetlenül a rajz méretétől (***Page***), eredeti méretben jelenítse meg (***Actual Size***), teljes képernyősen mutassa (***Full Screen***). A ***Zoom*** lehetőséggel nagyíthatunk (***Zoom In***), kicsinyíthetünk (***Zoom Out***), vagy egy kiválasztott téglalap alakú részre koncentrálhatunk (***Zoom Rectangle***). A ***Pan Realtime*** módban a lapot az egér segítségével minden irányban mozgathatjuk.

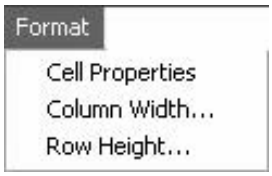
A **Redraw** parancs újrarajzolja a képernyő tartalmát. Az **Autoredraw** (automatikus újrarajzolás) kiválasztásával minden művelet után a térkép vagy felület újrarajzolódik. Ezt a lehetőséget általában érdemes kihasználni, ugyanakkor célszerű kikapcsolni mindig, ha sok időt vesz igénybe az újrarajzolás. Ekkor több beállítás megváltoztatása után a Redraw paranccsal lehet az újrarajzolást kérni. Amennyiben a Windows memóriája megtelt, az automatikus újrarajzolás nem működik, ilyenkor a kijelölt műveleteket a program végrehajtja, de nem ábrázolja. Ebben az esetben a munkát célszerű elmenteni, majd a programot, sokszor az egész operációs rendszert is újraindítani. Erre csak ritkán kerül sor, de főleg nagy DXF állományok kirajzolásánál (pl. nagyszámú áramvonal kirajzolása a PMPATH programmal) megtörténhet.

A View menü alsó részén kiválaszthatjuk a képernyőn megjelenítendő elemeket a vonalzókat (***Rulers***), a rácshálót (***Drawing Grid***), az eszköztárakat (***Toolbars***), az alsó állapotsort (***Status Bar***) és az Objektumszervezőt (***Object Manager***) Ez utóbbit célszerű mindig bekapcsolva tartani, mert nagyon megkönnyíti a munkát.

12.2.4. A Format (formázás) menü

A **Format** (formázás) menüpont (23. ábra) csak a táblázatkezelő ablakból érhető el, és célja a bemeneti adatok formátumának megadása. A ***Cell Properties*** paranccsal a kijelölt cellákban található számok formátumát, az igazítási rendet (jobbra, balra, középre és általános alak), illetve a cellák háttérszínét lehet beállítani. A ***Coloumn***

Width menü az oszlopszélességek, a ***Row Height*** menü pedig a sorok magasságának beállítására szolgál.

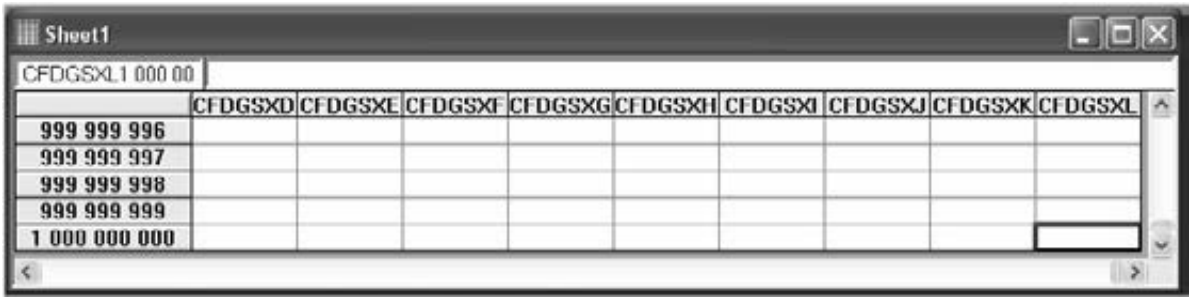


23. ábra
A Format (formázás) menü

12.2.5. A Data (adatműveletek) menü

A **Data** (adatműveletek) menüpont (24. ábra) a bemeneti adatok szerkesztésére és számítások elvégzésére szolgál. A Surfer nagy előnye, hogy az általa kezelhető adatállomány igen nagy méretű lehet, az elvileg maximális méretű táblázat utolsó elemének koordinátája (CFDGSXL, 1 000 000 000), azaz akár egymilliárd rekord feldolgozása is lehetséges (25. ábra), valójában azonban a rendelkezésre álló memória mérete határozza meg a maximális adatállomány-méretet.

24. ábra
A Data (adatműveletek) menü



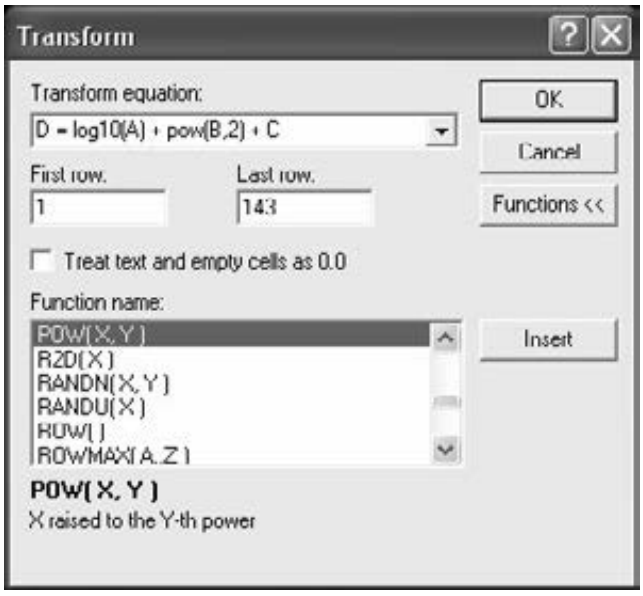
25. ábra
A táblázatkezelő ablak jobb alsó része

A Surfer táblázatkezelője alapvetően hasonlít a megszokott táblázatkezelőkhöz (MS Excel, Quattro Pro, Sylk, stb.), azonban jelentős különbség, hogy a Surfer feltételezi, hogy az adatok oszlopokba rendezetten állnak rendelkezésre, ezért oszlopon belüli módosításokra, számolásokra nincs szükség. Ennek megfelelően a műveleteket a Surfer oszlopokkal végzi el, melyeket A...CFDGSXL oszlopoknak nevez. A Surferben nincs lehetőség egyes cellákkal való munkavégzésre, ezért ha ilyen jellegű problémát kell megoldani, akkor azt egy másik táblázatkezelővel célszerű elvégezni. A táblázatkezelők közül az MS Excel valamennyi formáját jól értelmezi a program,

de vigyázni kell arra, hogy a program csak egy munkalapból álló állományokat tud menteni. Tehát egy több munkalapos Excel állomány megnyitható, de ha módosítás történik, akkor csak az aktív munkalapot képes elmenteni, miközben a többi munkalap tartalma elvész! Az adatvesztésre angol nyelvű hibaüzenet figyelmeztet. A napi gyakorlatban általában elég a szövegformátumba való adatmentés, ezért azt javasoljuk, hogy a felhasználó mindent lehetőleg Golden Software ASCII XYZ adatformátumba mentsen, mert így az adatvesztés elkerülhető.

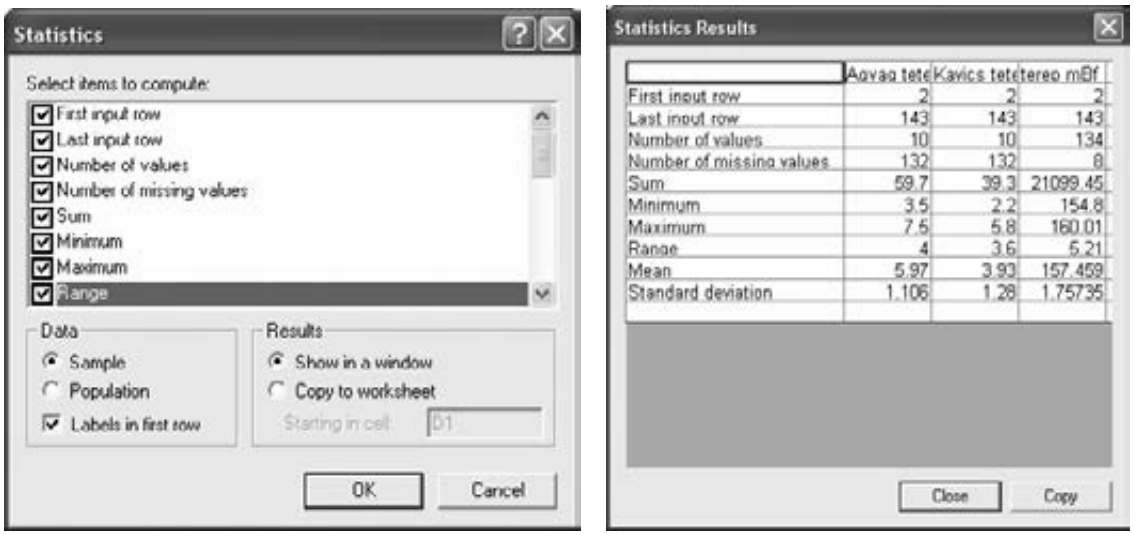
A **Data → Sort** menüvel az adatok növekvő vagy csökkenő sorrendbe rendezése végezhető el, három oszlop adatai alapján. A sorba rendezés előtt ki kell jelölni a rendezendő sorokat vagy oszlopokat, de a táblázat bal felső sarkára kattintva egy lépésben az egész táblázat is kijelölhető.

A **Data → Transform** menüvel az oszlopokkal végezhetünk műveleteket számos aritmetikai, trigonometriai, logikai és egyéb függvény segítségével (26. ábra). Az egyes függvények neve sokszor eltér a megszokottól ezért célszerű a függvénytárat egyszer előzetesen átnézni. A ***Transform Equation*** mezőbe lehet beírni az egyenletet, ami a matematikai műveletet leírja. A sorok kezdő és végző sorszámát, mellyel a művelet elvégzendő a ***First row:*** és ***Last row:*** mezők tartalmazzák. A függvényeket a ***Function name*** mező tartalmazza, mely alatt megtalálható a függvény rövid leírása is. Az üres és szövegmezőket a számítás figyelmen kívül hagyja, kivéve, ha bejelöltük a ***Treat text and empty cells as 0.0*** dobozt, mert akkor azokat zérusnak tekinti a rendszer.



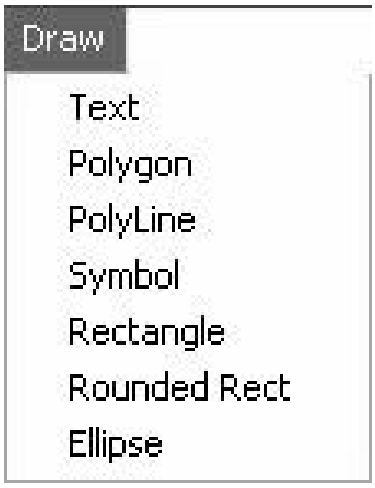
26. ábra
A Transform menü dialógusablaka

A **Data → Statistics** menüvel az adatsorok egyszerű statisztikai jellemzőit határozhatjuk meg (27. ábra). A dialógusablakban megadhatók a számítandó paraméterek, melyeket egy külön ablakba vagy a táblázat egy üres részébe menthetünk el.



27. ábra
Az adatok statisztikáját számító dialógusablak és a számítás eredményei

12.2.6. A Draw (rajzolás) menü



28. ábra
A Draw (rajzolás) menü

A **Draw** menüpont csak a rajzablakban érhető el. A célja egyszerű objektumok: poligonok (***Polygon***), törtvonalak (***Polyline***), jelek (***Symbol***), téglalapok (***Rectangle***), lekerekített sarkú téglalapok (***Rounded Rect***), valamint körök és ellipszisek (**Ellipse**) rajzolása, szöveges feliratok (***Text***) készítése. A **Draw** menüvel készített objektumok legfontosabb tulajdonsága, hogy a laphoz és nem térképi koordinátákhoz rögzített helyzetűek. Ha egy térképen egy feliratot a **Draw → Text** paranccsal készítünk és a megfelelő helyre elhelyezzük, az elcsúszik, amennyiben a térkép léptékét megváltoztatjuk. Az objektumokat ezzel a paranccsal nem lehet koordinátákhoz kötni, csak a **Map → Post Map** paranccsal.

12.2.7. Az Arrange (igazítás) menü

29. ábra
Az Arrange (igazítás) menü

Az Arrange menüvel a rajzablakokon található objektumokkal (térképek, szöveg- és rajzobjektumok, stb.) lehet műveleteket végezni. Az objektumok egymáshoz viszonyított helyzetét az **Order Objects** paranccsal lehet megváltoztatni, a kijelölt objektumot lehet legelőbbre hozni (***Move to Front***), leghátulra vinni (***Move to Back***), előrébb hozni (***Move Forward***) és hátrébb vinni (***Move Backward***).

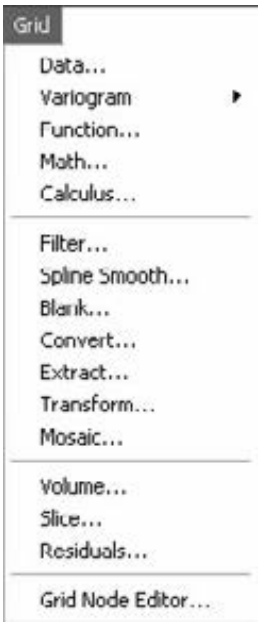
A térképi objektumok több fedvényt tartalmazhatnak (pl. egymásra fektetett térképek, koordinátákhoz rendelt feliratok, szkennelt alaptérkép, stb.), melyeket a Map paranccsal lehet létrehozni. A térképen belül a fedvények (***Overlays***) sorrendjét az **Order Overlays** paranccsal lehet megváltoztatni, a felülre (előre) hozott fedvény teljesen látszik, és részben takarja az alatta (hátrébb) található fedvényeket. A mozgatás az objektummozgatás parancsainak megfelelő módon történik a kijelölt fedvényt lehet legelőbbre hozni (***Move to Front***), leghátulra vinni (***Move to Back***), előrébb hozni (***Move Forward***) és hátrébb vinni (***Move Backward***).

Az **Align Objects** paranccsal az objektumokat vízszintesen balra (***Left***), középre (***Center***) és jobbra (***Right***), továbbá függőlegesen felülre (***Top***), középre (***Middle***) és alulra (***Bottom***) rendezni.

Az objektumokat csoportba lehet rendezni a **Combine** paranccsal, és a csoportokat szét lehet bontani a **Break Apart** menüpont segítségével. Sajnos a csoportba foglalt objektumok nem módosíthatók mindaddig, amíg a csoportot szét nem bontottuk.

A kijelölt objektumok a felhasználó által megadott fokkal elforgathatók (***Rotate***), vagy kézzel szabadon forgathatók (***Free Rotate***). A **Transform** menüvel a kijelölt objektum megadott hosszúságegységnyit X és Y irányba eltolható (***X*** és ***Y Offset***), iránytól függő mértékben nagyíthatók (***X*** és ***Y Scale***), továbbá mindkét irányban változó mértékben torzítható (***X*** és ***Y Share***).

12.2.8. A Grid (rácshálóműveletek) menü



30. ábra
A Grid (rácshálóműveletek) menü

A **Grid** menü a térképszerkesztés legfontosabb lépéseit vezérli, ezért egyes részeit később részletesen ismertetjük. Itt csak az egyes menüpontok célját, és röviden a használat módját adjuk meg.

A grid file funkciója a paraméterek síkbeli (térkép) vagy térbeli (térfelület) eloszlásának reprezentálása: ezek az állományok hordozzák magukban azt az információt, amivel a felületek szöveges vagy bináris formában leírhatók. Kezdetben a felületek szakadásokat nem tartalmazhattak, ekkor két formátuma volt a rácshálóknak: egy terjengősebb ASCII szöveg formátum (***GS ASCII (*.grd)***) és egy tömörebb bináris formátum (***GS Binary (*.grd)***). Mindkét formátum azonos adatokat tartalmazott, egyrészt definiálta a készített rácshálót, majd soronként tartalmazta alulról felfelé a rácshálóban a térfelület értékeit. A bárki által előállítható szöveges formátumú grid file formátuma a következő:

DSAA	Az ASCII szövegfile azonosítója
NX, NY	A rácsháló csomópontjainak száma X és Y irányban
XMIN, XMAX	A rácsháló első és utolsó oszlopának koordinátája
YMIN, YMAX	A rácsháló első és utolsó sorának koordinátája
ZMIN, ZMAX	A térfelület minimuma és maximuma
$Z_{11}, Z_{21}, ..., Z_{n1}$	A rácsháló utolsó (alsó) sorában található csomópontok értékei
$Z_{12}, Z_{22}, ..., Z_{n2}$	A rácsháló alulról második sorában található csomópontok értékei
...	
$Z_{1n}, Z_{2n}, ..., Z_{nn}$	A rácsháló első (felső) sorában található csomópontok értékei

Később a felületek már szakadásokat (pl. vetők) is tartalmazhattak, ezért egy újabb bináris formátumot (***Surfer 7 (*.grd)***) vezettek be. Az új bináris formátumot csak vetődéses szerkezetek ábrázolásánál kell használni, a többi esetben valamennyi formátum használható.

A grid műveleteknek több csoportjuk van. Az egyik csoport célja a korábban említett, irányonként különböző mértékben egyenközű rácsháló (téglarács-háló) csomópontjaira értékek előállítása, a másik csoportba a már korábban készített grid állományokkal műveletek, átalakítások végrehajtása újabb grid vagy más adatállományok, esetleg szöveges eredmény-állományok létrehozása céljából.

A **Grid → Data** paranccsal egy véletlenszerűen elhelyezkedő pontokban a szerkesztendő térkép adatait tartalmazó adatállományból grid állományt hoz létre. Kiindulási adatként legegyszerűbb ASCII szövegfájlokat használni, melyet a Surfer ***ASCII XYZ (*.dat)*** állományoknak nevez. Ezek formátuma:

X_1, Y_1, Z_{11},..., Z_{1n}

X_2, Y_2, Z_{21},..., Z_{2n}

...

X_n, Y_n, Z_{n1},..., Z_{nn}.

Az elválasztó karakter lehet szóköz, tabulátor, vessző, de elvileg más karakter is, ezért a Windows Clipboard formátuma is tekinthető egy Surfer adatállománynak.

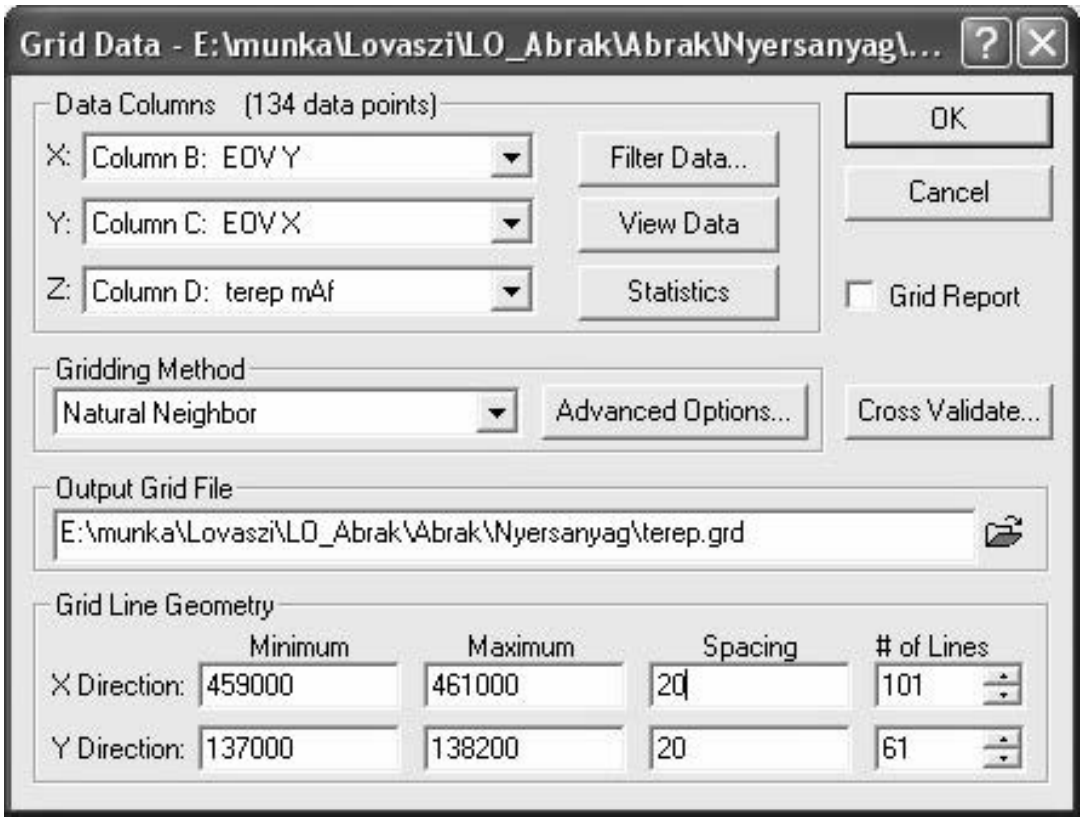
A bemeneti adatállomány lehet továbbá számos ismert táblázatkezelő formátum is.

A **Grid → Data** parancs kiadását követően a program kéri az adatállomány nevét, majd beolvassa azt, és a 31. ábra szerinti dialógusablak jelenik meg.

Az ablakban be kell állítani az adatokat tartalmazó oszlopokat (***Data Coloumns*** mező). Az ***X:***, ***Y:*** és ***Z:*** rovatokba a legördülő menüből kiválasztandó a megfelelő oszlop. Itt hívjuk fel a figyelmet arra, hogy a Surfer a hagyományos Descartes koordináta-rendszert használja szemben pl. a jobbsodrású EOV koordinátarendszerrel, ennek megfelelően a Surfer X koordinátáit az EOV Y koordinátákat tartalmazó oszlop tartalmazza és fordítva.

A ***Filter Data*** gombbal a felhasználó az adatállomány általa megadott feltételeknek megfelelő adatait kizárhatja (***Data Exclusion Filter***), és rendelkezhet az azonos ponthoz rendelt több adat (***Duplicate Data***) sorsáról is. Először definiálandó az azonos pont fogalma egy X és egy Y irányú toleranciaérték (***X Tolerance***, ***Y Tolerance***) segítségével (ha a két pont távolsága a toleranciaértékeknél kisebb, akkor a két pont helyét azonosnak tekinti a rendszer). Az azonos helyen található pontokhoz rendelt értékek sorsáról a ***To Keep*** mezőben dönthet a felhasználó: megtarthatja az elsőt, az utolsót, átlagolhat, összegét képezheti, a minimális vagy maximális X vagy Y koordinátához tartozó értéket használhatja, stb.

A ***View Data*** gombbal az adatokat egy kis táblázatkezelő ablakban megnézheti a felhasználó. A ***Statistics*** gombbal, pedig az adatok egyszerű statisztikai jellemzőit számíthatja ki, melyek egy szövegablakban jelennek meg ***Data Statistics Report*** címmel (32. ábra).



31. ábra
A Grid → Data dialógusablak

32. ábra
Az adatállomány statisztikai jellemzői

A ***Grid Report*** mező kijelölésével a grid állomány készítésének adatait írathatjuk ki egy szövegablakba. Kezdetben érdemes ezt a lehetőséget használni, később az állományok számának csökkentése érdekében nyugodtan kikapcsolhatjuk ezt az opciót.

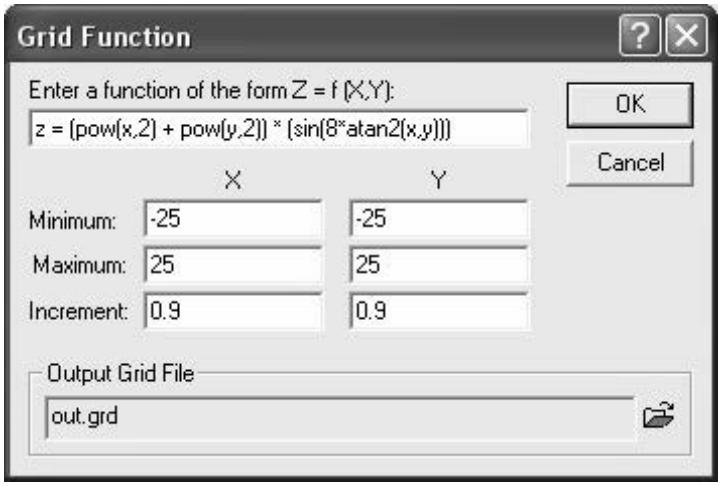
A ***Grid Line Geometry*** mezőben definiáljuk a téglarács-hálót. Meg kell adni a mind X, mind Y irányban (***X Direction***, ***Y Direction***) azt a koordináta tartományt, amely területet a rácshálóval le kívánunk fedni, továbbá meg kell határozni vagy a téglalapok oldalának méretét (***Spacing***) vagy a rácsháló vonalainak számát (***# of Lines***). A két utóbbi közül értelemszerűen csak az egyik adandó meg, a másik már a többi adatból számítható. A rendszer a szükséges vonalak számát kérdezi, ezért 100 m-es osztásköz választásakor 1000 m-es területhossz esetén 11 vonalat kell megadni!

Az eredményállomány nevét és formátumát az ***Output Grid*** mezőben kell megadni. Van lehetőség nemcsak grid, hanem adatformátumba történő kiíratásra is, amit pl. a modelladat-rendszer előállítása során jól ki lehet használni.

A ***Gridding Method*** ablakban kell azt a módszert és annak paramétereit kiválasztani, mellyel a rendelkezésre álló, véletlen eloszlású adatokból a rácsháló csomópontjaira a legvalószínűbb értékeket ki lehet számolni. Mivel a módszerek különösen fontosak az eredmény szempontjából, azért ezzel külön fejezetben foglalkozunk. Itt csak annyit említünk meg, hogy bár vannak alapértelmezett beállítások, azok használata csak különösen erős indokok esetén célszerű. A program minden adatállományból képes eredményt számítani, azonban annak minősége és helyessége a felhasználó felelőssége.

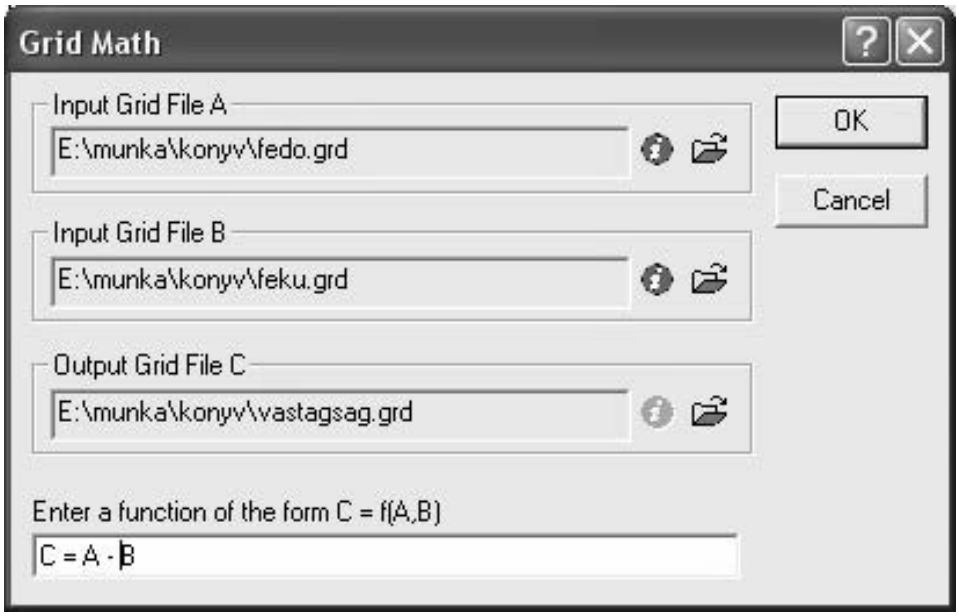
A **Grid → Variogram** paranccsal az adatállományból a krigelés nevű interpolációs módszer használatához szükséges félvariogramot lehet kiszámítani. Alkalmazását az interpolációt bemutató fejezetben részletezzük.

A **Grid → Function** paranccsal egy térfüggvény jeleníthető meg (33. ábra): egy megadott x, y intervallumban (***Minimum***, ***Maximum***) az ***Increment*** mezőben megadott távolság-lépésenként a program számítja a z(x,y) térfüggvény pontjait és elkészíti azokból a grid állományt (***Output Grid File***).



33. ábra
A Grid Function dialógusablak

A **Grid → Math** paranccsal egy vagy két grid állománnyal (***Input Grid File A*** és ***Input Grid File B***) matematikai műveleteket (***Enter a function of the form C=f(A,B)*** mező) végezhetünk, majd az eredményt egy harmadik gridállományba (***Output Grid File C***) írhatjuk ki (34. ábra). Fontos megkötés, hogy a két bemenő állomány azonos területről, azonos rácsháló alkalmazásával készült állomány kell, hogy legyen. A dialógusablakban a Surfer valamennyi beépített matematikai függvényét szabadon használhatjuk, akár egymásba ágyazva is. A parancs alkalmas térképek összeadására (pl. összvastagsági térkép), összeszorzására (pl. transzmisszivitás térkép a szivárgási tényező és a rétegvastagsági térkép felhasználásával), stb..

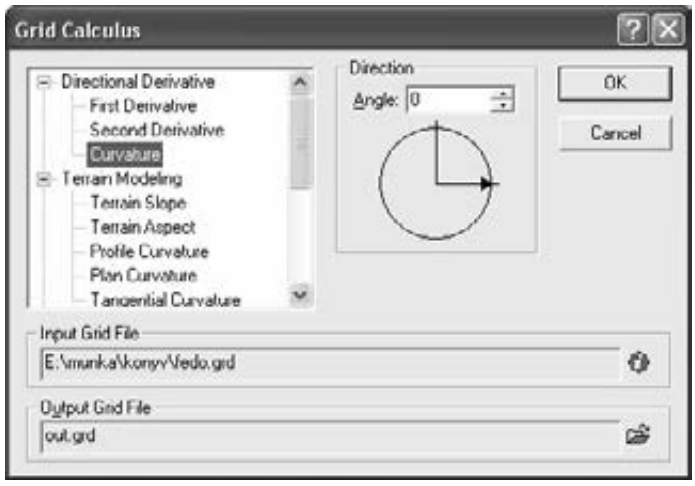


34. ábra
A Grid Math dialógusablak

A **Grid → Calculus** paranccsal a számos a térfelület deriválásával kapcsolatos műveletet hajthatunk végre, melyek közül csak néhány fontosabbat mutatunk be. Valamennyi esetben meg kell adni a deriválandó felületet (***Input Grid File***) és az eredmény állomány nevét és formátumát (***Output Grid File***).

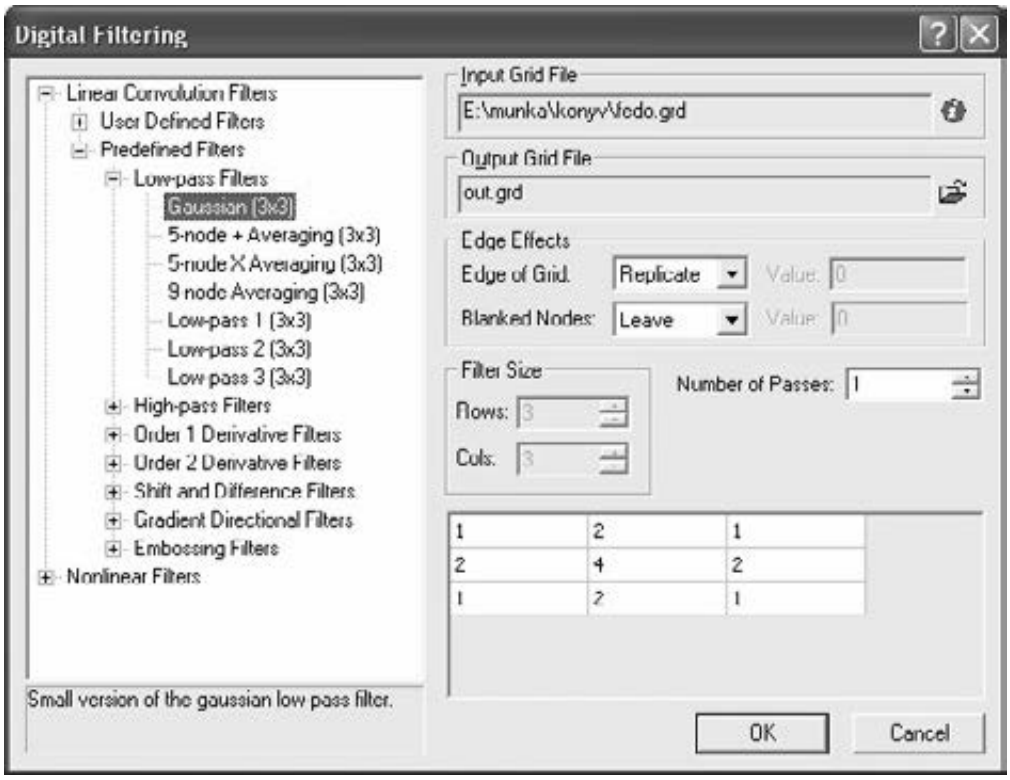
Az irány szerinti deriváltak képzésénél (***Directional Derivative***) első (***First Derivative***) és második (***Second Derivative***) deriváltakat, illetve a felület görbületét (***Curvature***) számíthatjuk az ***Angle*** mezőben megadott iránynak megfelelő szögben.

A Terrain Modeling utasítások között jól használható a lejtőhajlás számítás (***Terrain Slope***) és a kitettség számítása (***Terrain Aspect***). A lejtő hajlását 0 és 90 fok közötti szöggel, a kitettséget az északi iránytól mért szögekkel (azimut) adja meg a program. A ***Plan Curvature*** számítás során a kapott negatív értékek azokat a területeket jelölik, ahonnan a felszíni vizek szétterülnek, a pozitív értékek pedig, ahol a vizek összegyülekeznek.



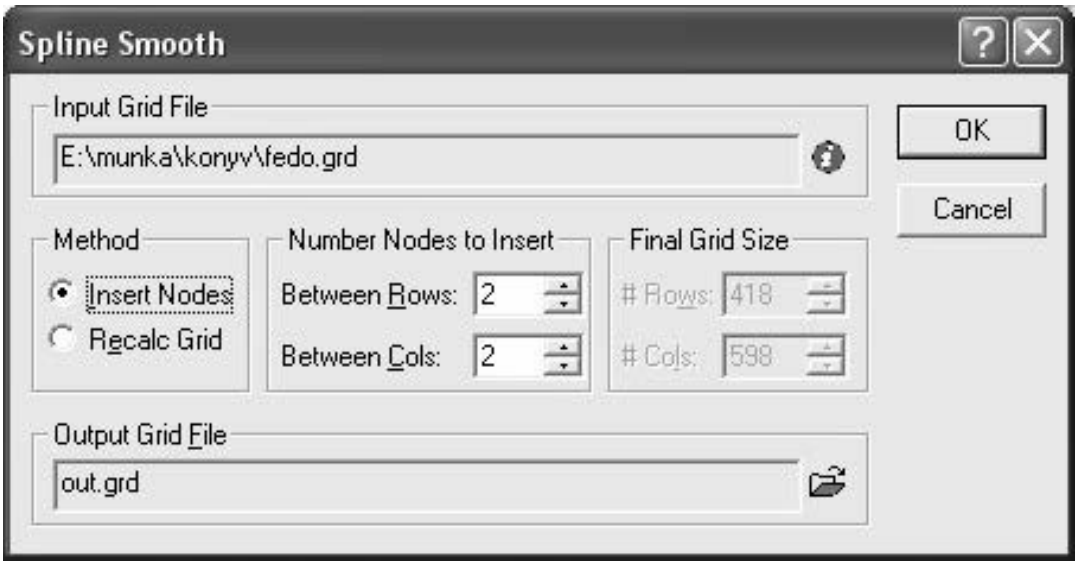
35. ábra
Irány szerinti deriváltak számitása Grid Calculus paranccsal

A **Grid → Filter** paranccsal a felhasználó által definiált vagy más előre beépített szűrővel történhet meg a térfelület adatainak szűrése. A szűréssel elérhető a felület simítása, a kiugróan magas vagy alacsony értékek kiszűrése (36. ábra).



36. ábra
A Grid Filter dialógusablak

A **Grid → Spline Smooth** paranccsal a térfelület spline interpolátorral történő simítását lehet elvégezni vagy a teljes rácsháló újraszámolásával (***Recalc Grid***), vagy a rácspontok közé beillesztett újabb rácspontok (***Insert Nodes***) alkalmazásával (37. ábra).



37. ábra
A Spline Smooth dialógusablak

A **Grid → Blank** paranccsal a térkép egy részének törlését lehet elvégezni. A törléshez szükséges egy bemenő grid file, egy a törlendő területet meghatározó törlő állomány, amit a Surfer blank állománynak nevez, és készül egy új törölt eredmény gridfile. A program valójában nem töröl adatokat a grid állományból, hanem a törlendő területre eső pontoknál az ábrázolható legnagyobb számot, 1.70141+e38 értéket ír be, amelyeket a program szoftveresen kezel.

A törléshez használt *.BLN blank állomány egy szövegállomány, mely tartalmazza a kijelölendő terület körülzárásához szükséges pontok számát, illetve a pontok koordinátáit:

N, 0 vagy 1

X_1, Y_1

X_2, Y_2

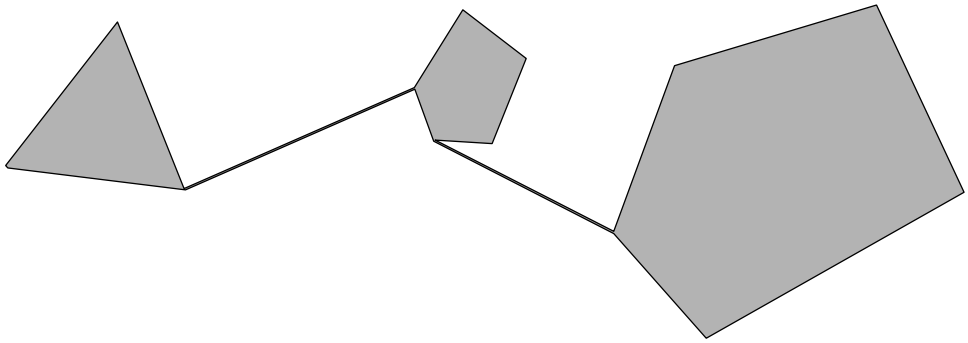
...

X_N, Y_N

A törléshez zárt alakzatra, poligonokra van szükség, ezért az első és utolsó pont koordinátájának meg kell egyeznie. Ennek megfelelően egy háromszög alakú területet négy, egy négyszöget öt pont ír le, stb.. A pontok száma melletti 0 vagy 1 szám azt jelenti, hogy a program a poligonon belül (1) vagy kívül (0) töröljön.

Amennyiben több területrészt kell törölni, akkor a BLN állományban egymás után több poligon adata is szerepelhet sorkihagyás vagy bárminemű elválasztás nélkül, de megadható egy a 38. ábra szerinti területrész is.

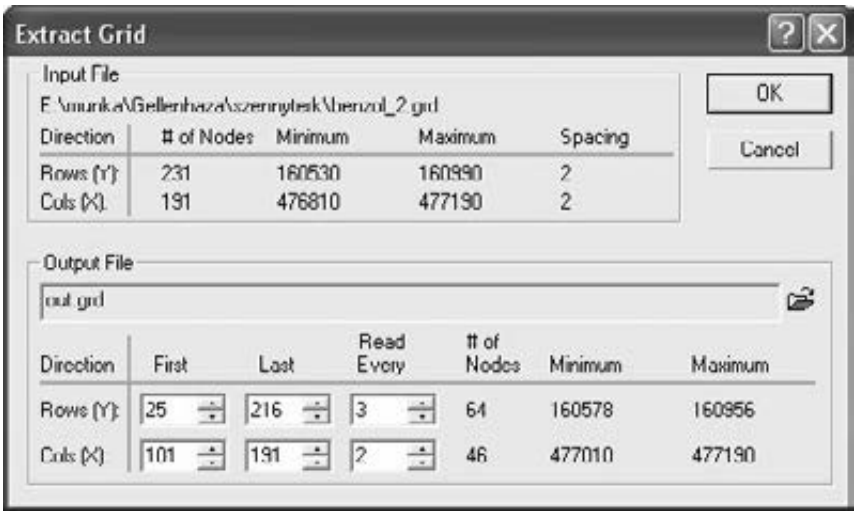
A BLN állomány vonalak rajzolására is alkalmas, ebben az esetben az első és az utolsó koordináta nem azonos, így a vonal nem záródik be, továbbá a 0 vagy 1 paraméter alkalmazása is felesleges.



38. ábra
Több részből álló területrész törléséhez használható poligon vázlata

A **Grid → Convert** parancs a grid állományok valamennyi formátumának egymásba alakítására, konverziójára szolgál.

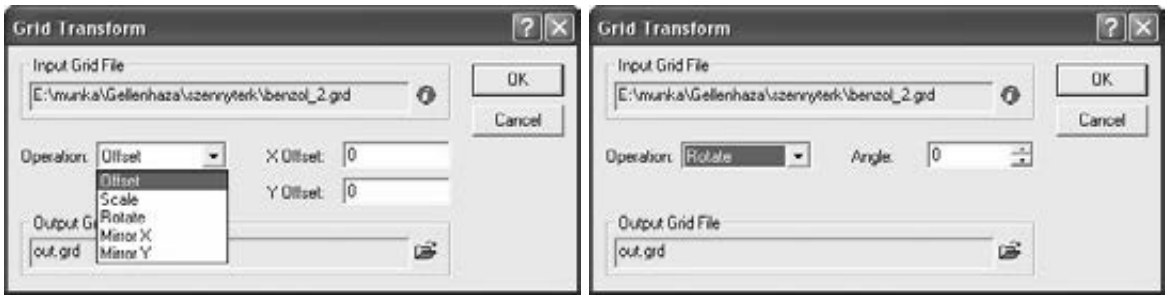
A **Grid → Extract** paranccsal a meglévő grid állomány egy részét ki lehet vágni, illetve a készítendő eredmény állományban a rácsháló pontjait ritkítani lehet (39. ábra). A megnyíló dialógusablakban a bemeneti állomány adatai olvashatók az Input File mezőben. A ritkított eredmény file nevét az Output File mezőben kell megadni, definiálva az eredeti állomány első (***First***) és utolsó (***Last***) sorát (***Rows (X)***) és oszlopát (***Cols (Y)***), amelyet az eredmény állománynak tartalmaznia kell. Megadandó, hogy minden hányadik rácspont értékét (***Read Every***) tartalmazza a kimeneti állomány. A mező jobb oldalán olvashatók eközben a készítendő állomány fontosabb adatai segítve az önellenőrzést.



39. ábra
A Extract Grid dialógusablak

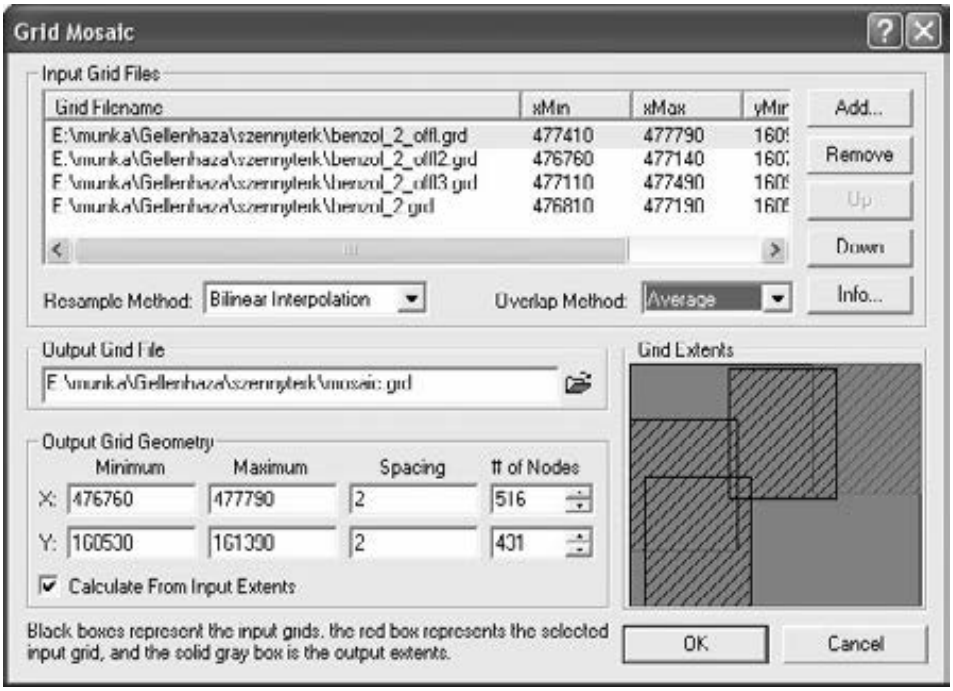
A **Grid → Transform** paranccsal a rácsháló adatokat lehet módosítani (40. ábra). Lehetőség van a felület X és Y irányba történő eltolására (***Offset***: paraméterei ***X*** és ***Y Offset***), a lépték változtatására a rácsháló bal alsó sarkának helybentartása mellett (***Scale***: paraméterei ***X*** *és* ***Y Scale***), 90 fokkal és többszöröseivel való elforgatására

(***Rotate***: paramétere forgatási szög (***Angle***)), illetve X és Y irányú tükrözésre (***Mirror X*** és ***Mirror Y***).



40. ábra
A Grid Transform dialógusablak

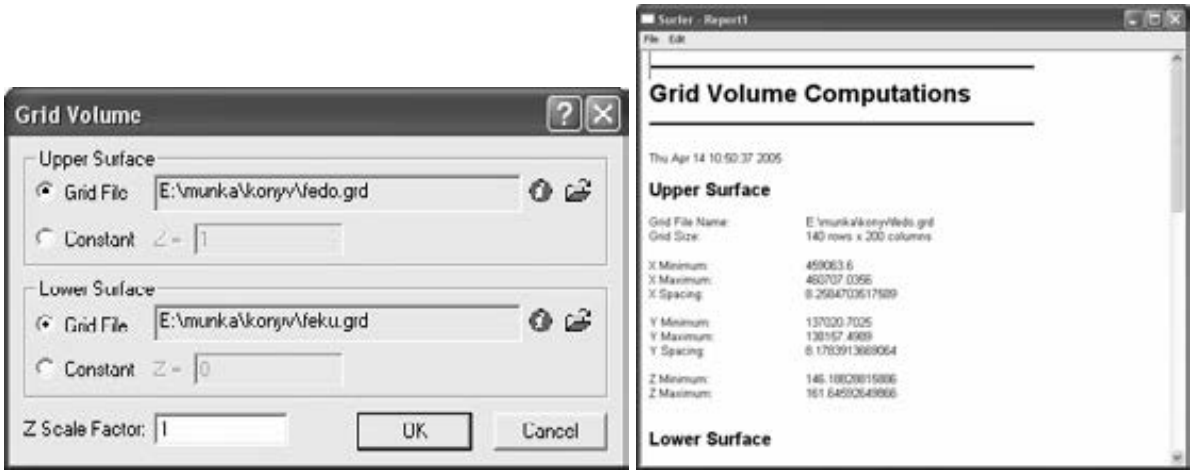
A **Grid → Mosaic** parancs több, eltérő területet lefedő grid állomány felhasználásával képes újabb, az addigiaktól eltérő területre rácsháló állományt készíteni. A használathoz definiálni kell a forrásadatokat tartalmazó rácsháló állományokat (***Input Grid Files***) és azt hogy átfedéses területeken hogyan képezze az új értékeket (***Overlap Method***): átlagolással (***Average***), első (***First***) vagy utolsó (***Last***) érték, esetleg a legkisebb (***Minimum***) vagy legnagyobb (***Maximum***) érték elfogadásával. Végül definiálni szükséges a készítendő rácsháló állomány geometriáját (***Output Grid Geometry***) a **Grid → Data** parancsnál megadottakhoz hasonlóan.



41. ábra
A Grid Mosaic dialógusablak

A **Grid → Volume** paranccsal két felület közötti térfogat számítása végezhető el. A használatkor definiálandó egy „felső” felület (***Upper Surface***) és egy „alsó” felület (***Lower Surface***), természetesen a két felület egymást metszheti, ahol a felső felület

alsó felületté válik! A vizsgált felületek lehetnek vízszintes síkok (***Constant Z=***) vagy tetszőleges grid állományok (***Grid File***) által meghatározott felületek. A program az eredményeket három módon számítja (trapéz szabály: ***Trapezoidal Rule***, Simpson-szabály: ***Simpson's Rule***, és 3/8-os Simpson-szabály: ***Simpson's 3/8 Rule***), továbbá azokat egy ***Grid Volume Computations*** című szövegablakban megjeleníti (42. ábra).



42. ábra
A Grid Volume dialógusablak és a számítás eredményei

Az eredményben a program leírja a vizsgált felületeket és megadja a következő adatokat:

Térfogatértékek (***Volumes***):

- pozitív térfogat (***Positive Volume [Cut]***): Annak a térfogatnak a nagysága, ahol a „felső" felület az „alsó" felett van (bevágás);
- negatív térfogat (***Negative Volume [Fill]***): Annak a térfogatnak a nagysága, ahol a „felső" felület az „alsó" alá metsz (feltöltés);
- nettó térfogat (***Net Volume [Cut-Fill]***). A pozitív és negatív térfogat előjeles összege;
- teljes térfogat (***Total Volume***).

Felületértékek (***Areas***):

A síkvetületek területe (***Planar Areas***):

- Pozitív területek (***Positive Planar Area [Cut]***): Annak a területnek a nagysága, ahol a „felső" felület alatt található az „alsó";
- Negatív területek (***Negative Planar Area [Fill]***): Annak a területnek a nagysága, ahol a „felső" felület az „alsó" alá metsz;
- Törölt területek (***Blanked Planar Area***);
- Összes terület (***Total Planar Area***).

Felületek (***Surface Areas***), azaz a térfelület mentén mért területek:

– Pozitív felületek (***Positive Surface Area [Cut]***): Annak a felületnek a nagysága, ahol a „felső” felület alatt található az „alsó”;

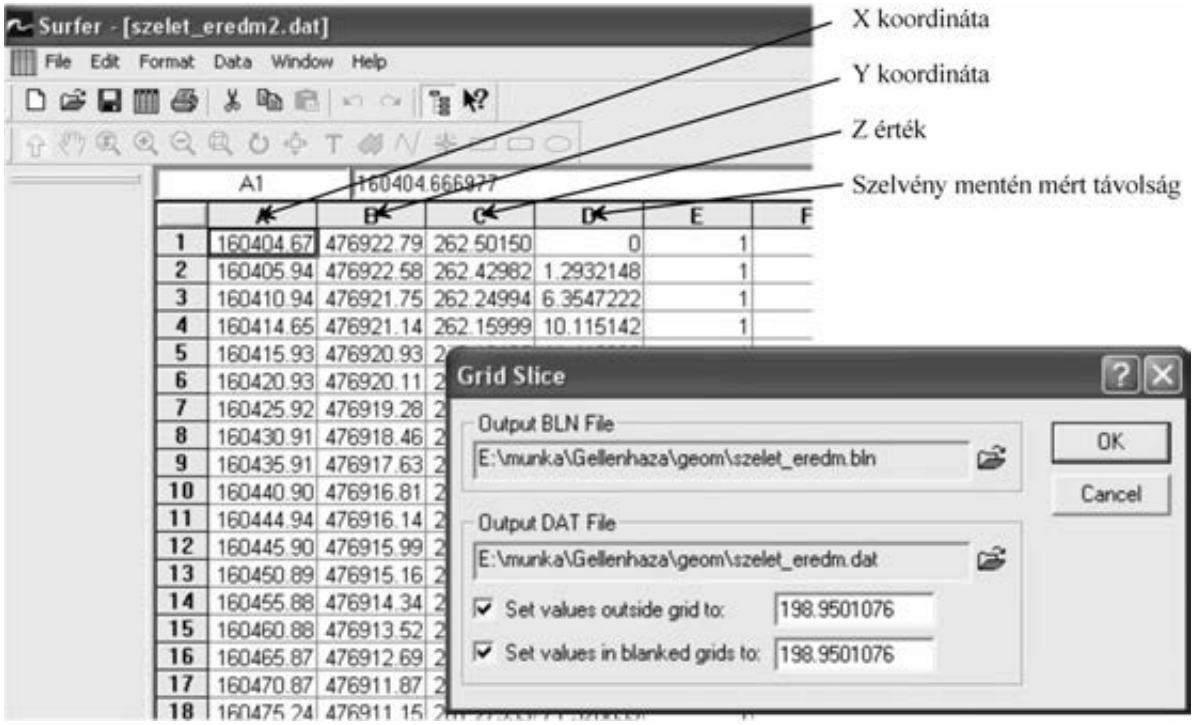
– Negatív felületek (***Negative Surface Area [Fill]***): Annak a felületnek a nagysága, ahol a „felső” felület az „alsó” alá metsz.

A **Grid → Slice** paranccsal egy térfelület Z értékeit egy tetszőleges törtvonal mentén meghatározhatjuk. A számításhoz szükséges a térfelületet leíró rácsháló állomány (Input Grid File), a vonalat leíró *.BLN vonalállomány. Az eredményeket a program egy ASCII XYZ *.DAT adatállományba írja ki (43. ábra).

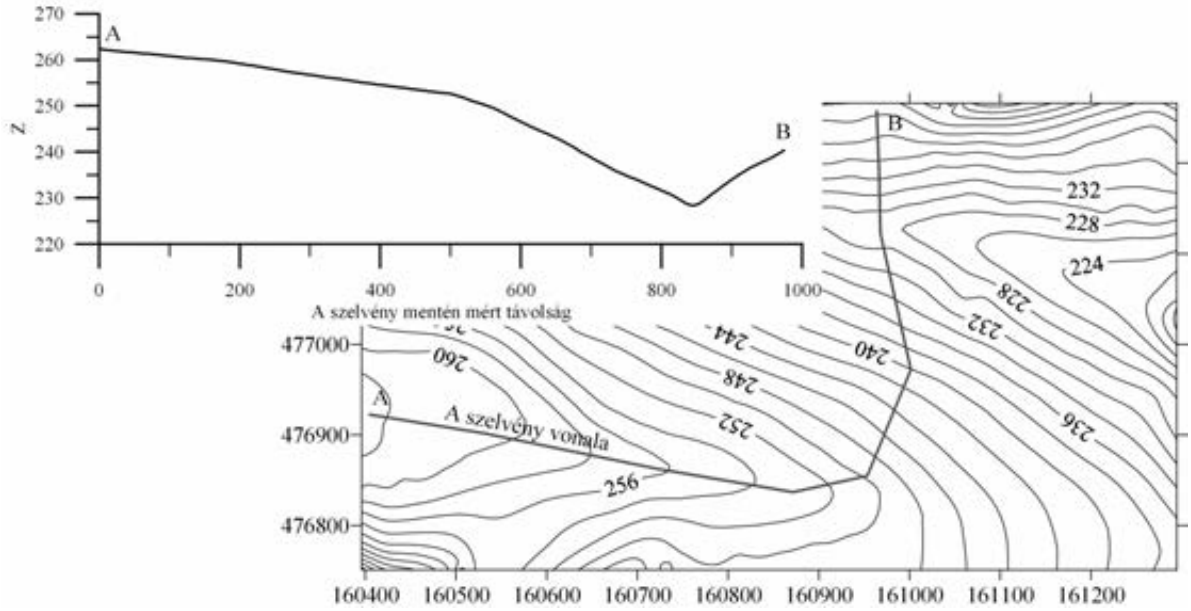
Az adatállomány felhasználásával grafikonként megszerkeszthető a metszete a felületnek, amivel akár szelvények szerkesztése is lehetségessé válik. A 44. ábra bemutat egy felületet és azt a nyomvonalat, ami mentén a felület értékeit leolvastuk.

A **Grid → Residuals** paranccsal az eredeti adatpontok és az azokra a pontokra a Surfer által számított értékek különbségét lehet meghatározni.

A **Grid → Grid Node Editor** paranccsal bármely rácsháló állomány megjeleníthető és a rácspontbeli értékek megváltoztathatók. Alapvetően vizualizációs eszköz, a rácspontokat egyenként átírni gyakorlatilag értelmetlen dolog, ha rossz a szerkesztett grid állomány, akkor a számítási módon kell változtatni, és nem az állományba „belebarkácsolni”, de azért előfordulhat, amikor „a cél szentesíti az eszközt”.



43. ábra
A Grid Slice dialógusablak és a számítás eredményei



44. ábra
Egy térfelület és a Grid Slice paranccsal számított szelvény

12.2.9. A Map (térképszerkesztés) menü

45. ábra
A Map (térképszerkesztés) menü

A **Map** menü segítségével lehet az elkészített grid állományokból térképet készíteni, illetve a térképeken digitalizálni, és a térképi elemekkel műveleteket végezni.

A Surfer számos térképtípust ismer:

Az izovonalas térképek (***Contour Maps***) az azonos értékeket összekötő vonalakkal (izovonalakkal) ábrázolják a vizsgált paraméter eloszlását. A térképek alá – a jobb tájékozódás érdekében – lehetséges alaptérképeket (***Base Map***) behívni, ami lehet

raszteres és vektoros grafikai állomány is. A térképre helyhez kötött objektumokat, pl. fúrások jele, illetve helyhez rögzített szövegeket, fúrások neve, a kutakban mért vízszint, koncentráció, stb. adatpont (***Post Map***) típusú térképekkel rakhatunk fel. Készíthetünk színskálás térképeket, amiket a program ***Image Map***-nek nevez, és előállíthatunk árnyékolt térszín (***Shaded Relief***) térképeket is. A változások irányait vektor-térképekkel (***Vector Map***) lehet szemléltetni, pl. egy vízadóban a víz szivárgási irányát, a szivárgás lokális irányát és sebességét jelző vektorokkal ábrázolhatjuk.

A térfelületeket mind kitöltött felületekként (***Surface Map***), mind drótháló ábrázolással (***Wireframe Map***) szemléltethetjük.

12.2.9.1. A térképszerkesztés ablak és objektumrendszere

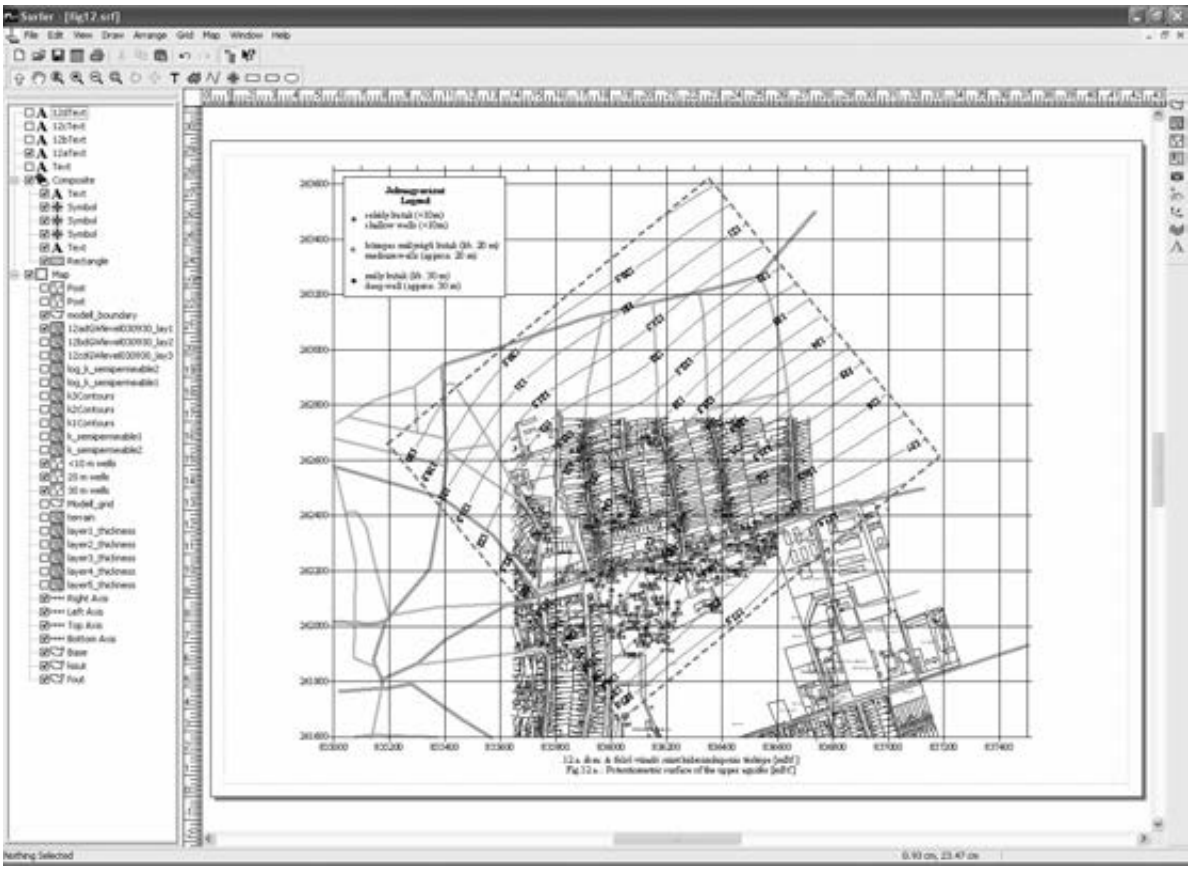
A program ablakrendszere a rajz-ablakból és az objektum managerből (***Object Manager***) áll (46. ábra). A munkalap bal szélén található objektum manager a jobb oldali ábrán található különálló objektumokat és azok részeit ábrázolja, felülről lefelé, láthatósági sorrendben. Az ablakban bármely objektum kiválasztható, majd a tulajdonságai a jobb egér gombbal történő klikkeléssel megtekinthetők és módosíthatók.

Több objektum a Windowsban megszokott módon a Ctrl vagy a Shift billentyűk megnyomása közben történő klikkeléssel jelölhető ki. Több objektum kijelölése esetén csak azok közös tulajdonságai módosíthatók (**Edit → Properties** parancs). Az objektumok egy része önálló, mint pl. a legfelülre rendezett szövegek (***Text***), mások csoportba foglaltak a korábban bemutatott **Arrange → Combine** paranccsal. Ezeket a manager, mint kompozit (összekapcsolt) objektumokat (***Composite***) mutatja, melyeket csak a csoport szétbontása után lehet megváltoztatni vagy szerkeszteni.

A munkalapon egy vagy több térkép objektum (***Map***) lehet megtalálható. A térkép objektum kezdetben minimálisan öt elemből áll: a négy koordináta tengely (***Left, Right, Top*** és ***Bottom Axis***) és az a térképelem, amit ábrázolunk. Az ábrán itt most ugyan csak egy térképobjektum található, azonban annak számos eleme van: izovonalas térképek, adatpont-térképek és alaptérképek. Ezeket a térképi elemeket fedvényeknek nevezzük. A térképi elemek mellett található egyrészt az elem típusát jelző ikon, másrészt egy jelölőnégyzet, ami az adott elem láthatóságát, aktuális megjelenítettségét jelzi. Az objektum manager szolgál nemcsak a fedvények egymáshoz viszonyított helyzetének megjelenítésére és azoknak az egérrel fel-le történő mozgatására, hanem az elemek megjelenítettségének vezérlésére is.

A kijelölt térképi objektumok az **Edit** menü parancsaival tetszés szerint másolhatók, törölhetők, stb..

A térképi objektumok külön-külön koordináta rendszerrel rendelkeznek akkor is, ha ezeket nem jelenítjük meg, vagy pontosan egymásra mozgatjuk. A térképek egy koordináta rendszerbe szervezését, egyben fedvényekké alakítását a térképobjektumok kijelölésével, majd a **Map → Overlay Maps** paranccsal lehet elérni. A fedvényeknek a térképobjektumról történő leszakítását egyben új térképobjektummá alakítását a **Map → Break Apart Overlay** paranccsal tehetjük meg, ekkor az új objektumhoz új koordináta tengelyek rendelődnek. A térbeli ábrázolások (térfelület, drótházórajz) egymáshoz rögzítésére a **Map → Stack Maps** parancs szolgál.



46. ábra
A Surfer térképszerkesztéshez használt munkaterülete

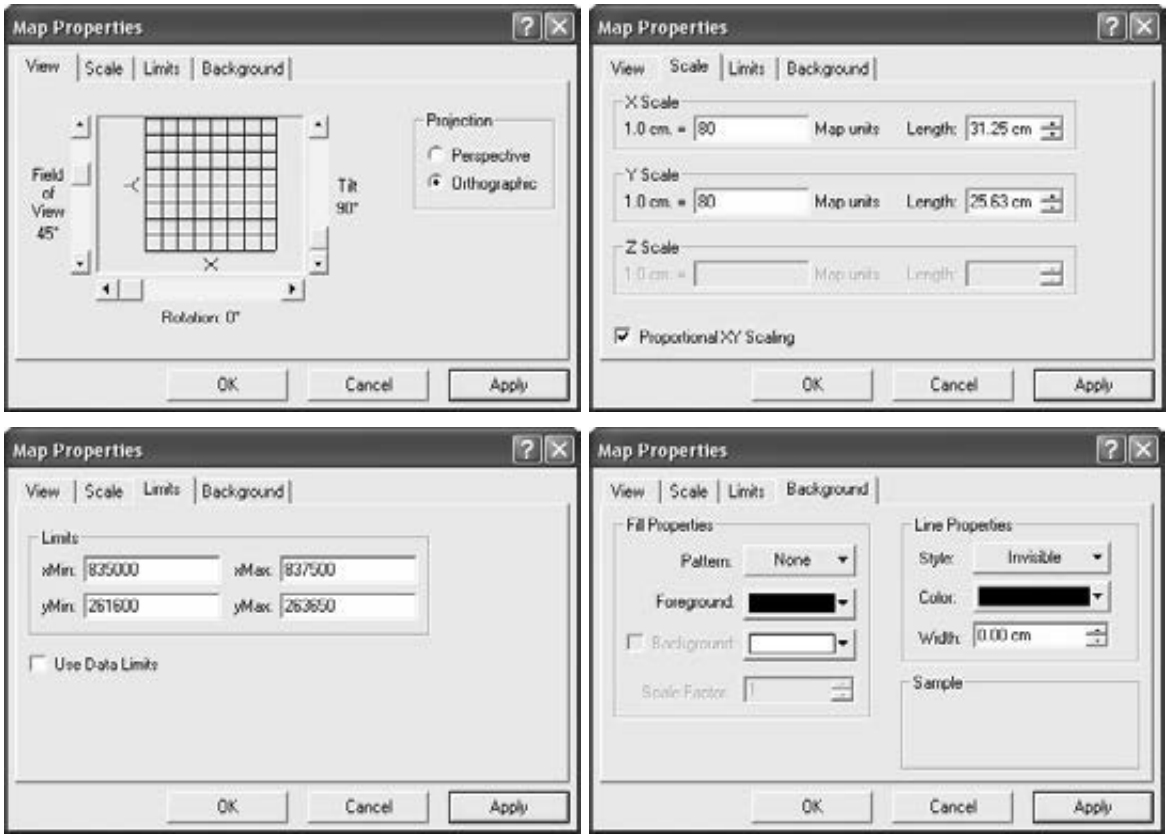
12.2.9.2. A térképobjektumok főbb tulajdonságai: nézet, méretarány és térképhatárok

A térképobjektum tulajdonságait és beállításait – az objektum kijelölése után – az **Edit → Properties** parancs kiadásával vagy a jobb egérgombbal elérhető helyi menü Properties parancsával tekinthetjük meg (47. ábra). Az ablakok alján három gomb található: az ***OK*** gomb a beállításokat elfogadja és bezárja az ablakot, a ***Cancel*** (mégse) gomb elveti a módosításokat, az ***Apply*** (alkalmaz) gomb az ablak bezárása nélkül menti a megváltozott beállításokat. Mivel általában több lapon szeretnénk a módosításokat elvégezni, ezért az ***Apply*** gomb használatával sok időt takarítunk meg, nincs szükség állandóan az ablakok becsukására és megnyitására.

A ***View*** (nézet) lapon a térbeli elhelyezkedést látjuk, amire azért van szükség , mert a térképobjektum síkbeli és 2.5D ábrázolást is tartalmazhat. Izovonalas térképnél természetesen elforgatás nélkül 90°-os szögből nézzük az objektumot. 2.5D ábrázolás esetén a perspektivikus (***Perspective***) és ortogonális (***Orthogonal***) ábrázolás (***Projection***) közül választhatunk, miközben a nézőpontot is három csuszka segítségével megváltoztathatjuk.

A ***Scale*** (lépték) lapon a térkép méretarányát változtathatjuk. Fontos tudni, hogy bár lehet, de nem tanácsos a térkép méretét a Windowsban megszokott módon egérrel

megváltoztatni. A térkép lényege az ismert méretarány, amit a ***Scale*** lapon adunk meg. A lépték eltérő lehet tengelyirányonként, azaz hossz-, oldal- és magassági torzítást is alkalmazhatunk, ami speciális felhasználási lehetőségeket nyújt. Általánosságban a lépték X és Y irányban (***X Scale, Y Scale***) azonos, amit a ***Proportional XY Scaling*** jelölőnégyzet használatával biztosítunk. Amíg a térkép csak síkelemeket tartalmaz, a Z irányú lépték (***Z Scale***) megadására nincs szükség és lehetőség. A lépteket úgy definiáljuk, hogy a kiválasztott alap mértékegységhez (nálunk cm, más országokban inch) felhasználó által megadott egy térképi egységet (***Map units***) rendelünk. Ha a térképünk EOV rendszerben készült, akkor az egység méter, ebben az esetben, ha 1 cm pl. 80 m, akkor a térkép méretaránya 1:8000. A program azonnal számolja a megadott méretarány esetén a térkép méretét (***Length***) is.



47. ábra
A térképobjektumok tulajdonságai

A ***Limits*** lapon a térképen ábrázolt terület határait adjuk meg. Van mód az adatokkal lefedett térrészre szerkeszteni térképet (***Use Data Limits***), de megadhatjuk az ettől eltérően megválasztott határokat is.

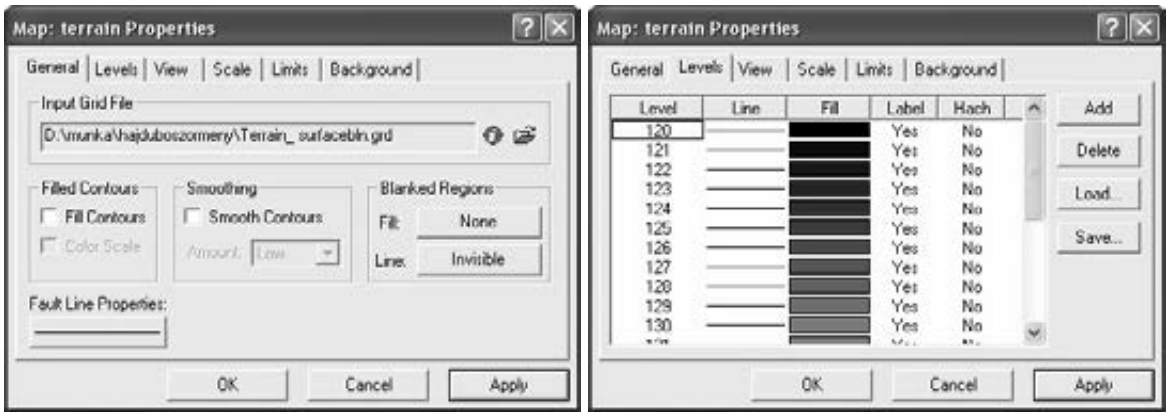
A ***Background*** lapon a háttér tulajdonságait állíthatjuk be.

12.2.9.3. Az izovonalas térképek

A **Map → Contour Map → New Contour Map** parancs elindítását követően a program kéri a térfelületet leíró rácsháló állomány nevét, majd az alapértelmezett beállításokkal megjeleníti annak izovonalas térképét. Az izovonalas térkép beállításai

(48. ábra) két lapon találhatók, és értelemszerűen egy izovonalas térképfedvény kiválasztásával, és a helyi menüvel vagy a korábban bemutatott paranccsal érhető el. Mivel a fedvény része a térképobjektumnak is, ezért a korábban bemutatott térképtulajdonságokat tartalmazó egyéb lapok (***View, Scale, Limits*** és ***Background***) innen is elérhetők.

A ***General*** lapon az izovonalas térkép általános jellemzői találhatók: melyik grid állományból készült (***Input Grid File***), az izovonalak közötti tér színezett legyen-e (***Fill Contours***), és ha igen, akkor a térképen a színskála megjelenjék-e (***Color Scale***). Megtörténjen-e az izovonalak simítása (***Smooth Contours***), és ha igen, akkor csak kicsit, közepesen vagy nagyon (***Low, Medium, High***) simítsa ki az algoritmus a vonalakat. A ***Blanked Regions*** mezőben formázhatjuk a **Grid → Blank** paranccsal kitörölt területek helyét, és megadhatjuk a szakadási vonalak, földtani vetőket jelölő vonalak (***Fault Line Properties***) tulajdonságait is.



48. ábra
Az izovonalas térkép tulajdonságai

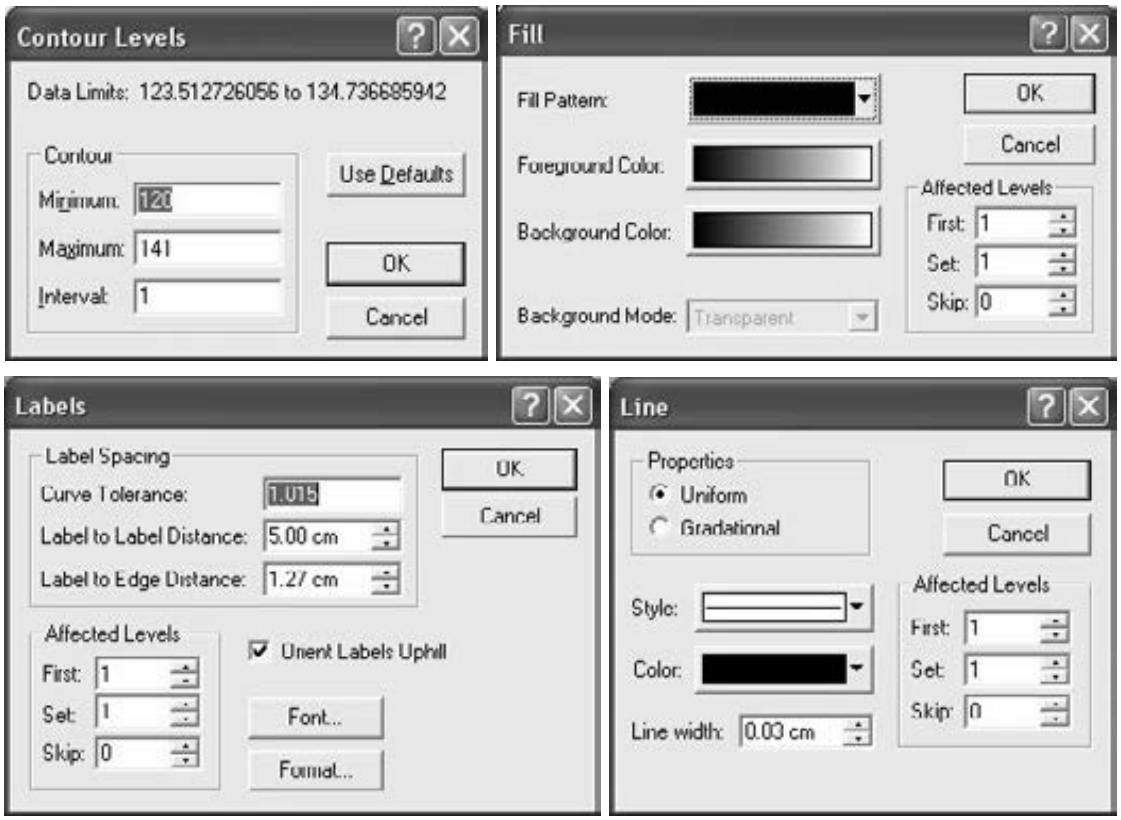
A ***Levels*** lap az izovonalak formázását szolgálja. Rengeteg lehetőség van, melyek közül csak a legfontosabbakat mutatjuk be. A lapon egy táblázat mutatja be az aktuálisan kirajzolt izovonalakat. A táblázat mellett található gombokkal a táblázatba új sort szúrhatunk be (***Add***) vagy törölhetünk (***Delete***), a táblázat értékeit elmenthetjük (***Save***) vagy a korábban mentett táblázatot betölthetjük (***Load***). Valamennyi oszlopazonosító egyben parancsgomb is (49. ábra).

A ***Level*** felirat megnyomásával az izovonalak kezdő (***Minimum***) és záróértékét (***Maximum***), illetve a lépésközt (***Interval***) is megadhatjuk.

A további gombok esetén izovonalakhoz rendelt tulajdonságokat lehet változtatni. Az aktuálisan változtatandó izovonalakat az érintett szintek (***Affected Levels***) mezőben választjuk ki. Az első izovonal sorszámát amit érint a változtatás a ***First*** mezőbe írjuk be. A ***Set*** mezőben megadott számú ezt követő izovonalat ugyanilyen tulajdonsággal ruházzuk fel, míg a következő, ***Skip*** mezőbe írt számú izovonalat a beállítás nem érinti, ezeket átugorja a formázás.

A ***Line*** gomb segítségével az izovonalakat formázhatjuk: a vonalvastagság (***Line Width***), a vonal színe (***Color***) és stílusa (***Style***) szerint. A vonalak lehetnek egyformák

(***Uniform***) vagy tendenciaszerűen változók (***Gradational***). Amennyiben ez utóbbit választjuk, akkor egy színskálát és egy vastagság-tartományt is meg kell adni.



49. ábra
Az izovonal-formázás dialógusablakai

A ***Fill*** gombbal az izovonalak közötti tér kitöltését szabályozhatjuk, végül a ***Label*** gombbal az izovonalak feliratait lehet formázni. Az izovonal-feliratok egymástól való távolságát a ***Label to Label Distance***, a térkép szélektől mért minimális távolságát a ***Label to Edge Distance*** határozza meg. Azt, hogy mennyire görbe szakaszokra kerülhet felirat, azt a ***Curve Tolerance*** érték határozza meg: minél közelebb van az érték 1-hez, annál egyenesebb izovonal-szakaszokra kerülhet csak felirat. Az ***Orient Labels Uphill*** jelölőnégyzettel elérhetjük, hogy a feliratok mindig az izovonalak növekvő irányába nézzenek, ami segít bonyolult esetekben a tájékozódásban.

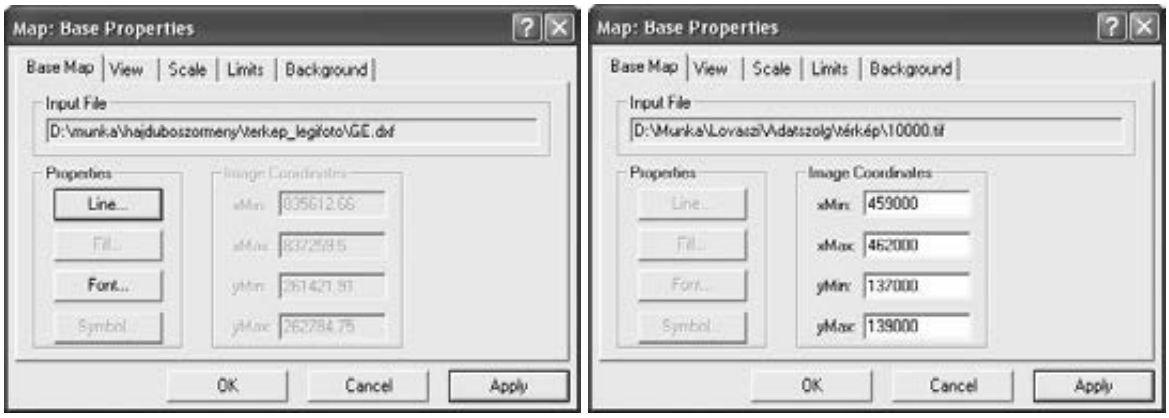
A **Map → Contour Map → Edit Labels** parancs csak aktív izovonal fedvény esetén működik, és hatására az izovonalak cimkéi körül kis téglalapok jelennek meg, melyeket tetszés szerinti helyre mozgathatunk vagy akár törölhetünk is. A feliratok formázása az izovonal-szerkesztés legutolsó lépése, mert az itt végzett formázások minden további módosítás esetén azonnal elvesznek, amire hibaüzenet figyelmeztet.

A **Map → Contour Map → Export Contours** parancs az aktív izovonalas térképfedvényt vektorgrafikus formában exportálja egy AutoCAD DXF állományba.

12.2.9.4. Alaptérképek

Alaptérképeket a **Map → Base Map** paranccsal lehet előállítani. Alaptérkép készülhet vonalrajzból is (vektorgrafika), de éppúgy használható egy beszkennelt térképlap (rasztergrafika) is alaptérképként. Az alaptérképként használt vektor- vagy rasztergrafikát az különbözteti meg a rajzobjektumoktól, hogy azokhoz koordinátákat rendelünk, így a grafika minden pontja egy-egy konkrét, ismert helyet jelent a vizsgált térségben. Amennyiben egy szkennelt térképet alaptérképként hívunk be, azonnal hozzárendelődik egy koordinátarendszer, melynek bal alsó sarka az origó és egységei alapértelmezetten a grafika képpontjai (pixeljei), amit az objektum managerben a térképobjektumhoz rendelt koordinátatengely-objektumok is jeleznek. Amennyiben egy koordinátákat tartalmazó vonalrajzot hívunk be, pl. dxf vagy bln állományt, akkor a valós koordináták jelennek meg.

Amennyiben az alaptérkép vektorgrafikus, akkor a vonalak színét és vastagságát a **Line**, a poligonok kitöltését a **Fill**, a szöveges objektumokat a **Font** gombbal módosíthatjuk a **Properties** mezőben (50. ábra). Az állomány nevét az Input File mező, a befoglaló téglalap határkoordinátáit az ***Image Coordinates*** mező tartalmazza. Rasztergrafikus állományok esetén a gomboknak nincs szerepük, ugyanakkor lehetőségünk van a kép határoló koordinátáinak (***xMin***, ***xMax***, ***yMin***, ***yMax***) megadására (***Image Coordinates*** mező).

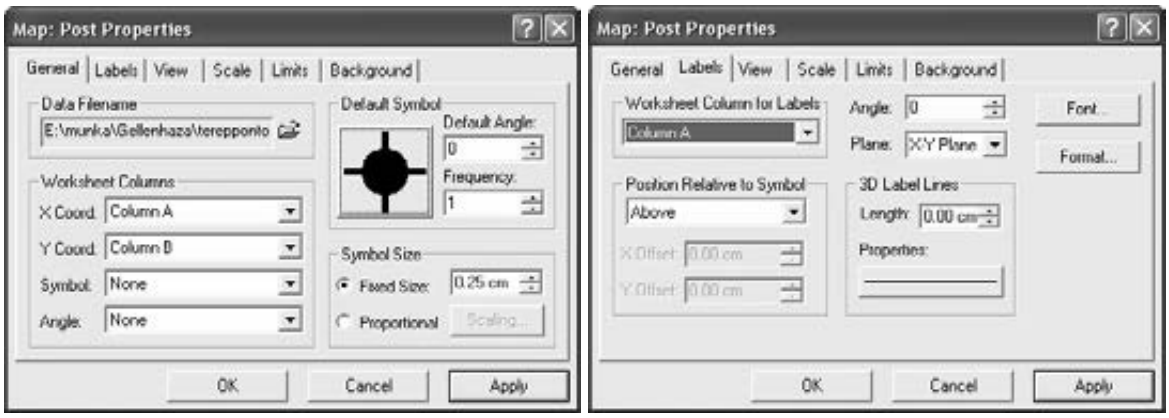


50. ábra
Az alaptérképek tulajdonságai vektor és rasztergrafikus állományesetén

12.2.9.5. Az adatpont-térképek

A **Map → Post Map** paranccsal a térképekre koordinátákhoz rendelve lehet szimbólumokat és feliratokat elhelyezni, pl. fúrási pontokat jelölni lehet, továbbá a szimbólumok mellé fel lehet írni a fúrás nevét, és egyéb paramétereket, mint pl. a terepszint tengerszint feletti magasságát, vagy a fúrásban észlelt vízszinteket, koncentrációkat, stb. A **Post**(adatpont-) térképeknek két alaptípusa van, a hagyományos alappont-térkép és az osztályozott alappont- térkép (**Classed Post Map**). A hagyományos alappont-térkép esetén valamennyi pont azonos jelölésű, míg az osztályozott alappont-térkép esetén egy változó értékétől függ a pont jelölésének formája (színe, alakja, mérete). Ez utóbbi esetben az adatállománynak tartalmaznia kell egy olyan adatoszlopot, amelybe az osztályozás alapjául szolgáló értékek találhatók és a program ezen adatok és a felhasználó által megadott érték-intervallumok alapján

ezen adatok és a felhasználó által megadott érték-intervallumok alapján határozza meg, hogy milyen módon jelöli az egyes pontokat.

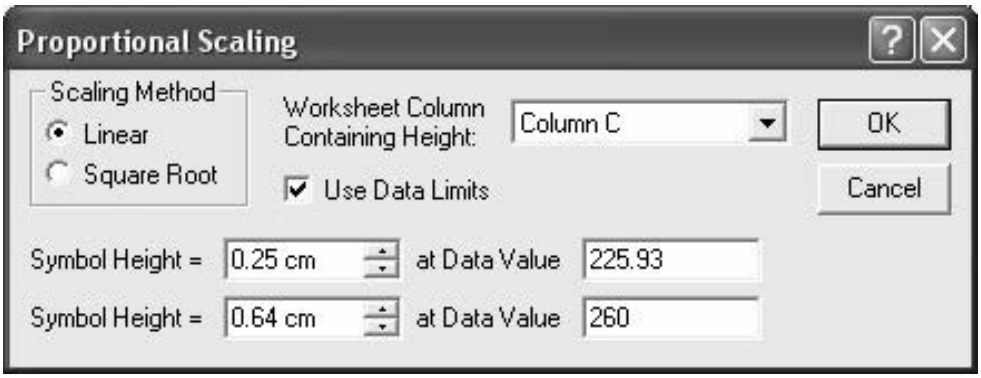


51. ábra
Az adatpont-térképek beállításai

A hagyományos adatpont térkép létrehozásához **Map → Post Map → New Post Map** parancsot kell kiadni, majd megadandó egy adatállománynak a neve, amelyikben az oszlopok bármilyen sorrendben tartalmazzák minimálisan az X és Y koordinátákat, de tartalmazhatják a pontok mellé írandó feliratot és számos további paramétert is. A hagyományos adatpont-térképek tulajdonságait az 51. ábra mutatja be. A tulajdonságokat az általános (**General**) és a feliratok (**Labels**) lapokon adhatjuk meg. Az adatfile nevét a ***Data Filename*** mezőben adhatjuk meg, illetve módosíthatjuk. A jel helyét a ***Worksheet Coloumns*** mezőben az ***X Coord*** és ***Y Coord*** mezőknél legördülő menüben adhatjuk meg. Az oszlopok jelölését, illetve ha az első sorban az oszlopok megnevezése található, akkor azokat is automatikusan beolvassa a program, aminek feltétele, hogy szövegmezők legyenek az első sorban, mivel a számmezőket nem tekinti a Surfer feliratnak. Van lehetőség arra, hogy az adatpontokat jelölő szimbólumokat egyenként definiáljuk, ekkor az adatállomány egyik oszlopában az aktuálisan használandó szimbólum sorszámát tartalmazó adatoszlopot a ***Symbol*** redőnymenüben kell kiválasztani. Lehet továbbá minden egyes jelet egy megadott szöggel egyenként elforgatni, amit szintén az adatállomány egyik oszlopában kell megadni, majd azt az ***Angle*** menüből kiválasztani. Amennyiben a pontokat jelölő szimbólumokat nem adtuk meg külön oszlopokban – ami általában így van – azaz ***Symbol: None***, akkor a program az alapértelmezett szimbólumot használja, amit a ***Default Symbol*** mezőben lehet definiálni. A szimbólum alakját a gombra kattintva lehet változtatni, és megadható minden jel azonos mértékű elforgatása (***Angle***), illetve lehetséges a pontok kiíratási gyakoriságának megváltoztatása (***Frequency***). Ez utóbbi főképpen akkor hasznos, ha nagyon sűrűn vannak a pontok, és ezért zavaróan közel kerülnének egymáshoz.

A jelek mérete lehet azonos (***Fixed Size***), vagy egy a felhasználó által megadott oszlopban (***Worksheet Coloumn Containing Height***) tárolt értéktől függően változó (**Proportional**). Ez utóbbi esetben megadandó a szimbólum nagysága (***Symbol Height***) két eltérő adatértéknél (***at Data Value***), és a program a két pontpár alapján vagy lineáris (***Linear***) vagy gyökös (***Square Root***) függvényillesztéssel inter-, illetve

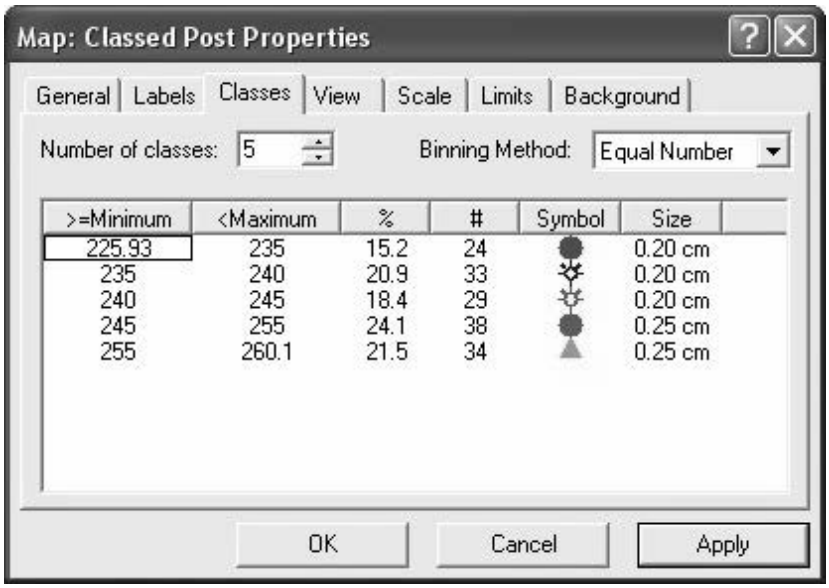
extrapolálva határozza meg a szimbólumok nagyságát. A beállítással lineáris jelek (pl. nyilak) hossza arányos lehet valamely jellemző nagyságával, vagy a gyökös összefüggés esetén megoldható, hogy a jelek (pl. kör, négyzet) területe arányos legyen az ábrázolt mennyiséggel (52. ábra).



52. ábra
A változó jelnagyság megadása

A feliratok (***Labels***) lapon megadható a feliratokat tartalmazó oszlop (***Worksheet Coloumn for Labels***), a feliratok helye a jelölő szimbólumhoz képest (***Position Relative to Symbol***), illetve a betűtípus (***Font***) és a kiírás formátuma (***Format***) (számformátumok). 3D ábrázolás esetén megadható, hogy a feliratokat melyik síkra írja a program (***Plane***), illetve, hogy milyen hosszú (***Length***) és alakú (***Properties***) vonalak tetejére kerüljön a felirat (***3D Label Lines***).

Az osztályozott adatpont-térkép létrehozásához **Map → Post Map → New Classed Post Map** parancsot használjuk hasonlóan a hagyományos adatpont-térképekhez. Az osztályozott adatpont-térképek tulajdonságai azonban a **Classes** (osztályok) tulajdonságlappal bővülnek (53. ábra).



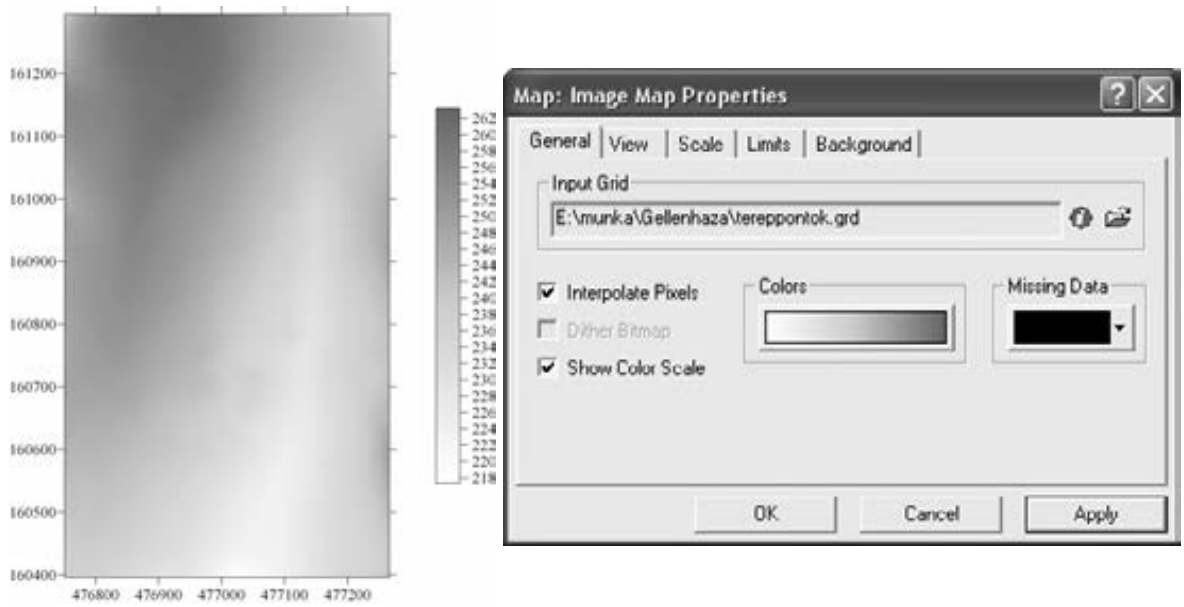
53. ábra
Az osztályozott adatpont-térképek beállításai

A lapon megadandó az eltérő jellel jelölt csoportok, osztályok száma (***Number of Classes***) és az, hogy hogyan határozza meg a program a csoportok határait: közel azonos számú adat legyen minden csoportban (***Equal Number***), azonos nagyságú intervallumot fogjanak át az egyes csoportok (***Equal Interval***) vagy a csoportok határértékeit a felhasználó határozza meg (***User Defined***). A csoportok adatait a táblázat tartalmazza: a csoporthatárok (***Minimum*** és ***Maximum***), az adatok hány százaléka esik az adott csoportba (***%***), a csoportba tartozó adatok száma (**#**), a jelölő szimbólum típusa (***Symbol***) és mérete (***Size***). A táblázat bármely értékét a felhasználó megváltoztathatja.

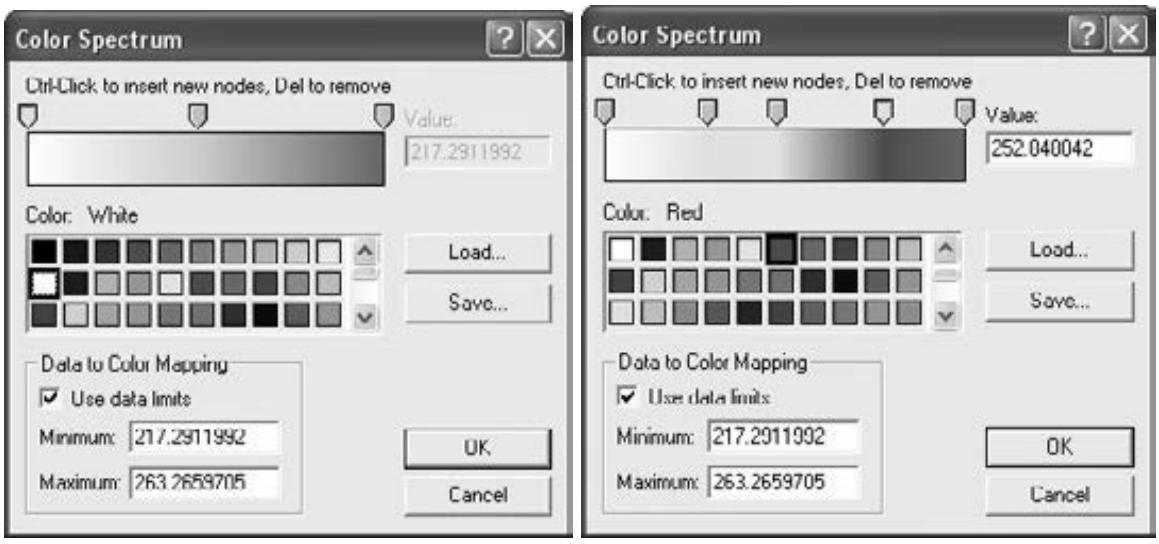
12.2.9.6. A színtérképek

A **Map → Image Map** paranccsal a térfelületeket színek átmeneteivel tudjuk ábrázolni (54. ábra). A térkép mellett színskálát is létrehozhatunk (***Show Color Scale***). A színeket a **Colors** gomb megnyomásával határozhatjuk meg (55. ábra), illetve a törölt vagy adathiányos területeket eltérő színekkel jelölhetjük (***Missing Data***)

A színskálát értékpontokhoz rendelt színekkel adjuk meg a ***Color Spectrum*** dialógus-ablakban (55. ábra). A színskála kezdő és végpontján túl a Ctrl billentyű lenyomásával bármennyi új pontot és a hozzá tartozó színeket is definiálhatunk. A színskála két végpontját a ***Data to Color Mapping*** mezőben adjuk meg (***Minimum*** és ***Maximum***). Az elkészített színskálákat a **Save** gombbal menthetjük el, és a **Load** gombbal tölthetjük be.



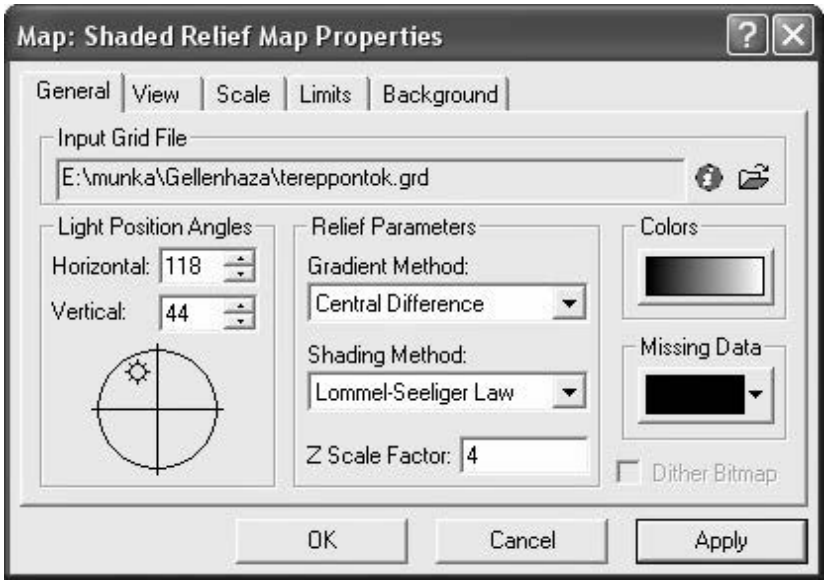
54. ábra
Egy színtérkép és beállításai



55. ábra
A színskála meghatározása a Color Spectrum dialógusablakban

12.2.9.7. Árnyékolt térszín-térképek

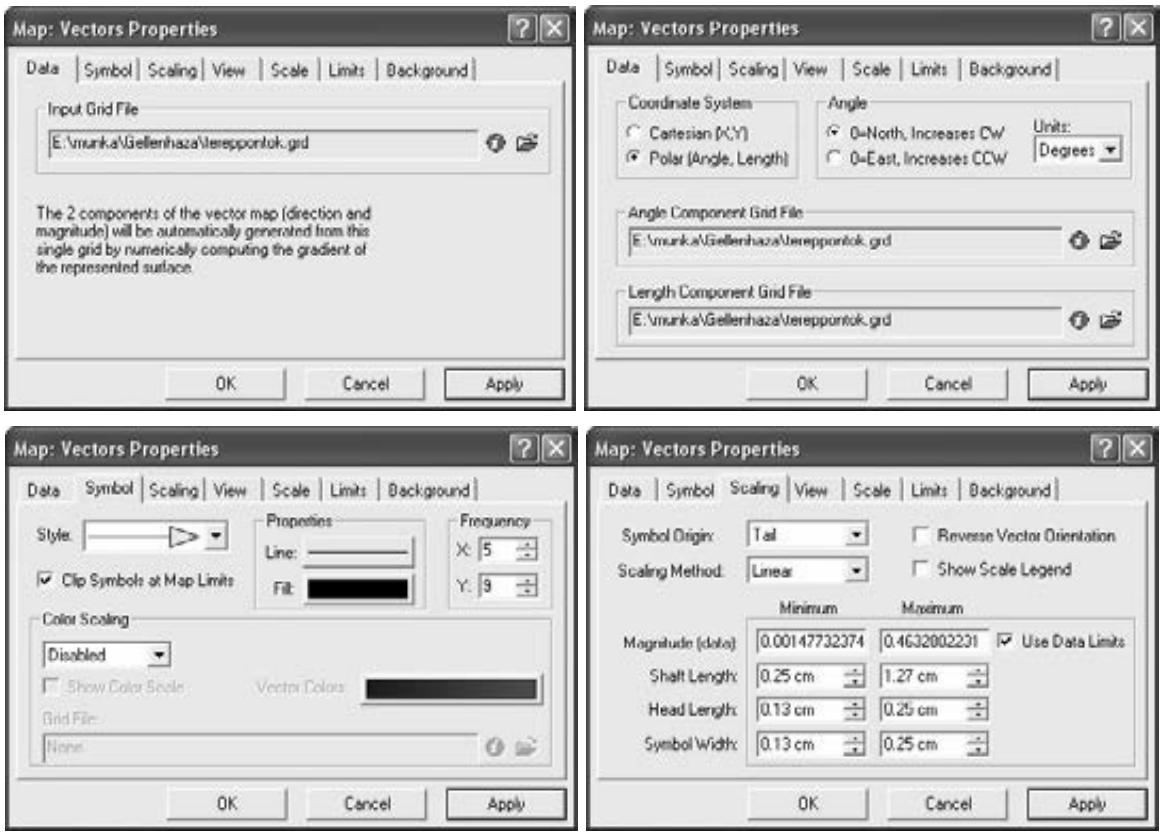
A **Map → Shaded Relief Map** paranccsal árnyékolt térszín térkép készíthető. A térkép ahhoz hasonlít, mint ahogyan a bolygók (Hold, Mars, stb.) felszínének képét szokták ábrázolni. Az ábrázoláshoz megadandó a fényforrás helye (***Light Position Angles***), továbbá a színskála (***Colors***) és az adathiányos területek (**Missing Data**) színezési beállításai. A **Relief Parameters** menüben az árnyékolás számításához használt beállításokat adhatjuk meg, melyekre nézve tanácsot nehéz adni. Az árnyékolás célja a minél jobb láttatás, ezért célszerű a fényforrás helyét és a számítási beállításokat addig változtatni, míg az eredmény a leglátványosabb nem lesz. Egy-egy változtatást követően az **Apply** gomb megnyomásával azonnal megtekinthető az eredmény, és az **Undo** gombbal a kedvezőtlen változtatásokat rögtön visszaállíthatjuk (56. ábra).



56. ábra
Az árnyékolt térszín térkép beállításai

12.2.9.8. A vektortérképek

A **Map → Vector Map** paranccsal vektortérképeket hozhatunk létre. A vektortérképek a rácsháló rácspontjaiba helyezett nyilakkal mutatják a térfelület változásait. Két típusa az egy grides (**Map → Vector Map → New 1-Grid Vector Map)** és a két grides (**Map → Post Map → New New 2-Grid Vector Map)** vektortérkép. Az egygrides vektortérkép esetén a felület maximális meredekségének iránya és a meredekség határozza meg az ábrázolandó nyilak irányát és nagyságát. A kétgrides vektortérkép esetén a grid állományok a vektor x és y irányú komponensének nagyságát (***Cartesian X,Y típus***), vagy a nyilak nagyságát és irányát (***Polar (Angle, Length*) *típus***) tartalmazzák, amiből az eredő vektor irányát és nagyságát ábrázolja a program. Polár-koordináták esetén, ha a kezdőpont az északi iránynak megfelelő, és a szögek óramutató járásával egyező irányba nőnek, akkor a ***0=North, Increases CW*** opció, ha a kezdőpont a keleti iránynak megfelelő és a szögek óramutató járásával ellenkező irányba nőnek, akkor ***0=East, Increases CCW*** opció választható (***Angle***).



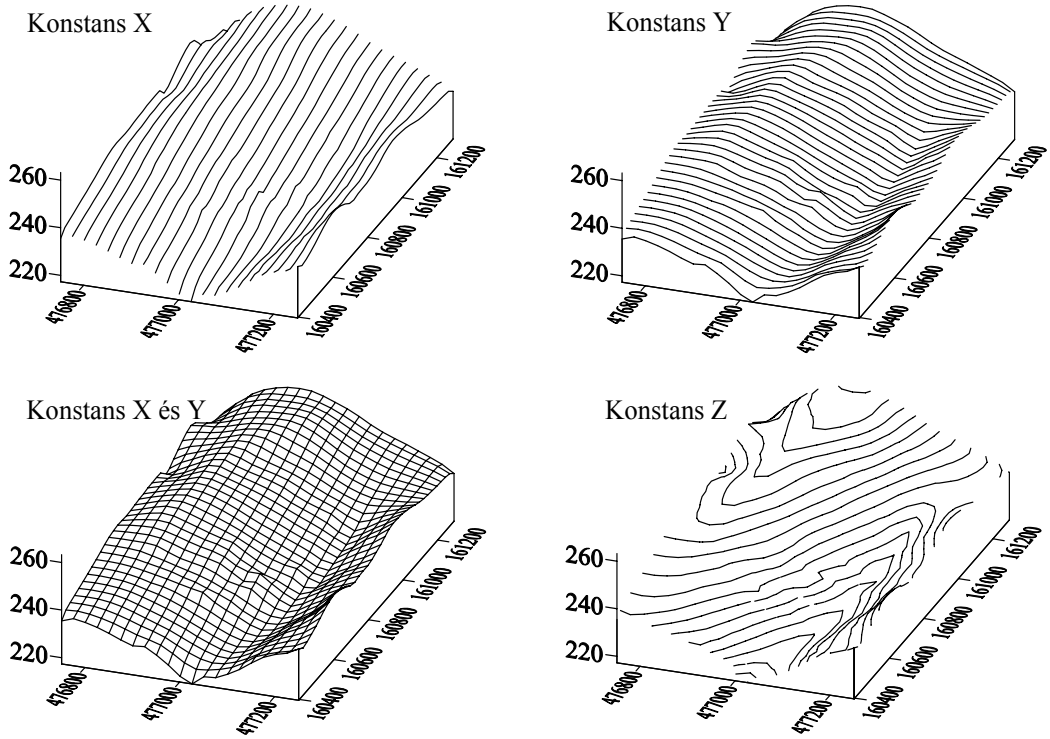
57. ábra
A vektortérképek beállításai egy- és kétgrides változat esetén

A vektor tulajdonságait a **Symbol** lapon állíthatjuk be, ahol megadható a nyilak formája (***Style***), kitöltése (***Properties***), esetlegesen a meredekségtől függően változó színe (**Color Scaling**). A Scaling lapon a nyilak mérete szabályozható. A két felület-meredekség értékhez (***Magnitude Data***) megadandó a nyíl testének (***Shaft Legth***) és fejének (***Head Length***) hossza, illetve szélessége (***Symbol Width***). A nyilak rajzolási kezdőpontját a ***Symbol Origin***, a vektor-rajzolási léptéket a ***Scaling Method*** mező-

ben definiáljuk. A vektorokat ellenkező irányba forgathatjuk a ***Reverse Vector Orientation***, az ábrához jelmagyarázatot fűzhetünk a ***Show Scale Legend*** jelölőnégyzet bejelölésével.

12.2.9.9. A dróthálós felületábrázolás

A **Map → Wireframe** paranccsal a felületeket a rájuk fektetett, konstans X, Y vagy Z irányban haladó „drótokkal" (vonalakkal) ábrázoljuk (58. ábra). A felület paramétereit három dialógusablakban lehet megadni (59. ábra).

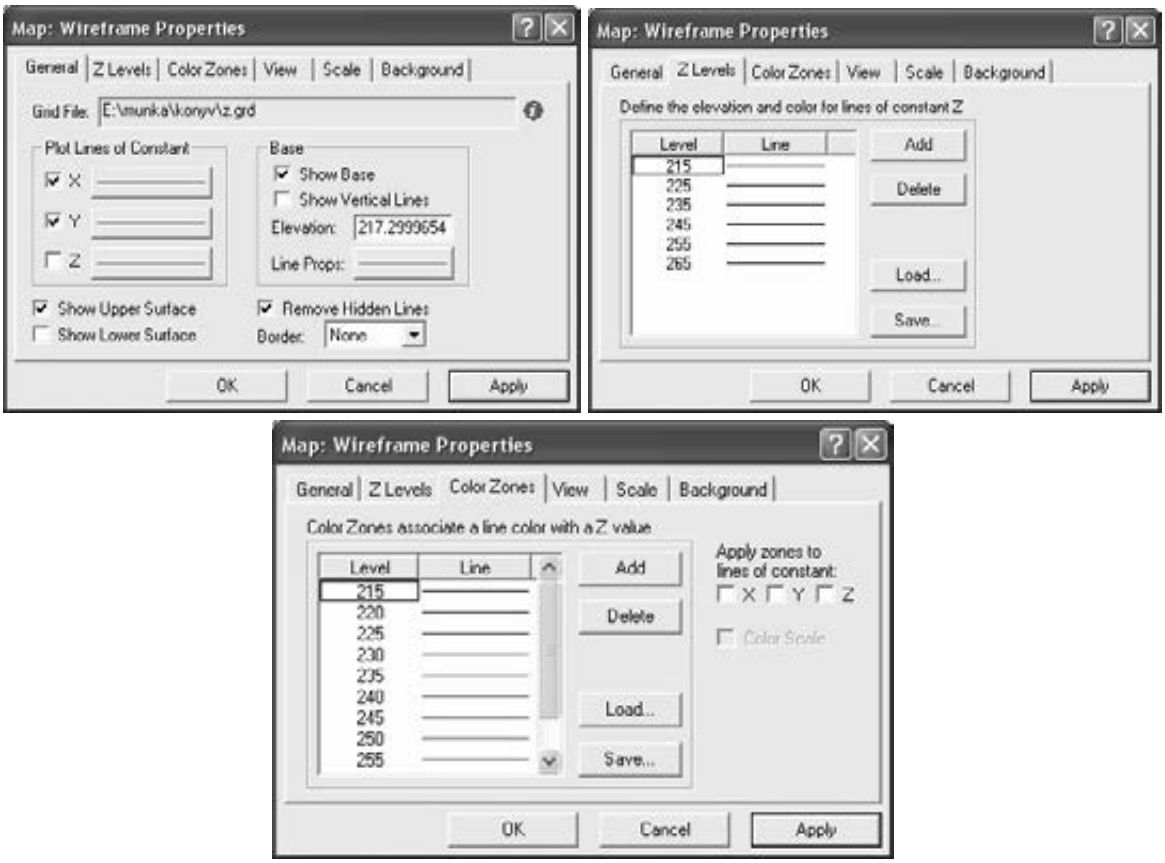


58. ábra
A dróthálós felületábrázolás típusai

A **General** lapon a szerkesztéshez használandó grid állomány választható ki (***Grid File***), illetve az 58. ábra szerinti ábrázolásmód (***Plot Lines of Constant*** mező). A ***Show Base*** opcióval a lábazat rajzolása egy adott konstans Z szintig (***Elevation***) történik. Amennyiben nincs lábazat, akkor értelmezhető az alsó (***Show Lower Surface***) és a felső felület (***Show Upper Surface***) rajzoltatása. Bármelyik mező kijelölése esetén megjelenik a felület alsó és/vagy felső részén ábrázolt vonalsereg. A ***Remove Hidden Lines*** opció láthatósági ábrázolást tesz lehetővé.

A **Z Levels** lapon az ábrázolandó konstans Z értékeket és azok tulajdonságait lehet megadni. Értelemszerűen csak abban az esetben van erre szükség, ha a **General** lap ***Plot Lines of Constant Z*** mező ki van jelölve.

A **Color Zones** lapon a drótháló adott Z értékintervallumba eső szakaszait egy színskálának megfelelően eltérő színekkel jelölhetjük. A színskálát a lapon található táblázatban, míg azt, hogy az X, Y, vagy Z tengellyel párhuzamos vonalakra vonatkozzék-e a formázás az ***Apply Zones to Lines of Constant*** mezőben kell megadni.



59. ábra
A „dróthálós” felületek beállításai

12.2.9.10. Kitöltött felületábrázolás

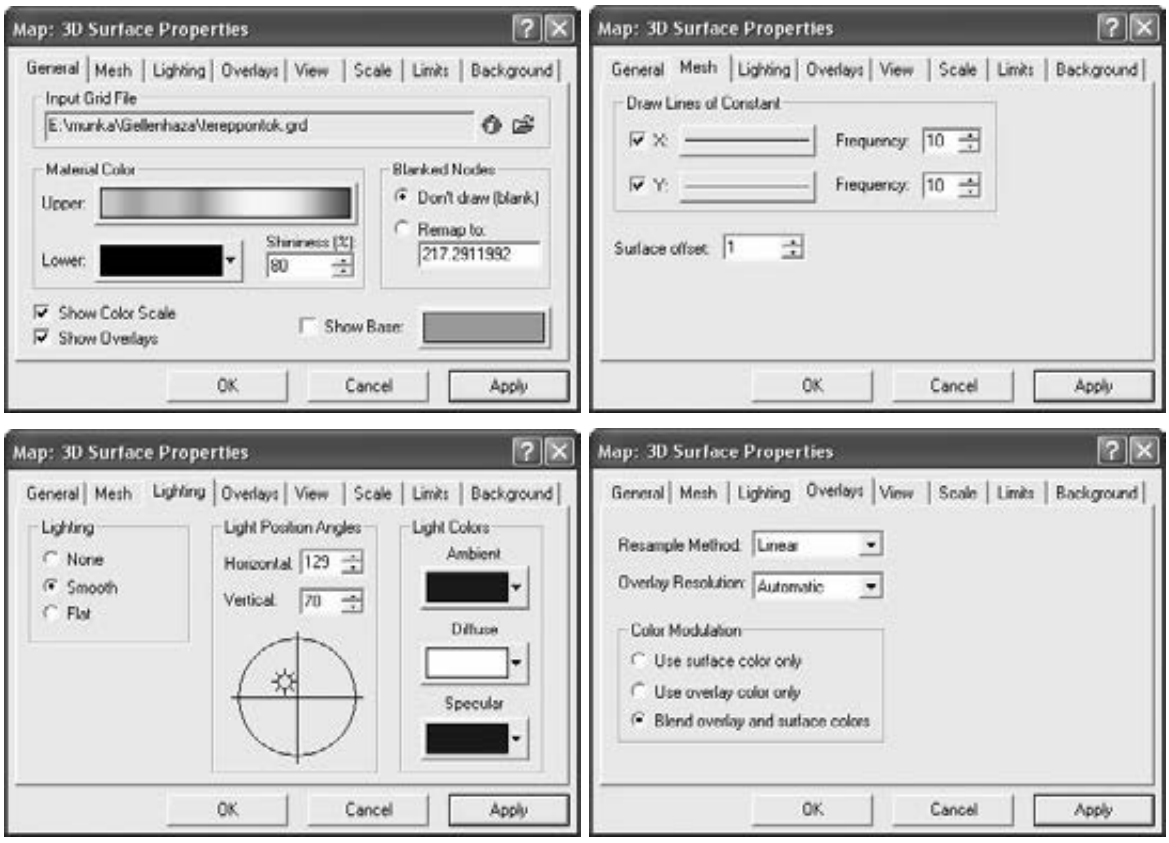
A **Map → Surface Map** paranccsal kitöltött térfelületek rajzolhatók. A beállításokat négy ablakban lehet megváltoztatni (60. ábra), itt csak a legfontosabb paramétereket magyarázzuk el.

A **General** lapon a felület szerkesztéséhez használt gridállományt (***Input Grid File***) változtathatjuk meg, illetve a ***Material Color*** mezőben az ábrázoláshoz használt színskálát adhatjuk meg. A színskála beállítási módja azonos a ***Color Spectrum*** dialógusablakéval (55. ábra). A rácsháló állományok törölt részein (***Blanked Nodes*****)** A felület rajzolását letilthatjuk (***Don't draw (blank)***) vagy egy adott értéknek megfelelő színnel ábrázolhatjuk (***Remap to:***).

A felületet ábrázolhatjuk oldalkitöltéssel (***Show Base***) vagy anélkül.

A **Mesh** lapon az X vagy Y tengellyel párhuzamos rácshálót fektethetünk a felületre, a vonalak sűrűségét a ***Frequency*** mezőben állíthatjuk be.

A **Lighting** lapon a megvilágítás irányát, míg az **Overlays** lapon a fedvényekkel kapcsolatos jellemzőket állíthatjuk be.



60. ábra
A kitöltött térfelületek beállításai

12.2.9.11. Léptékvonalzó rajzolása

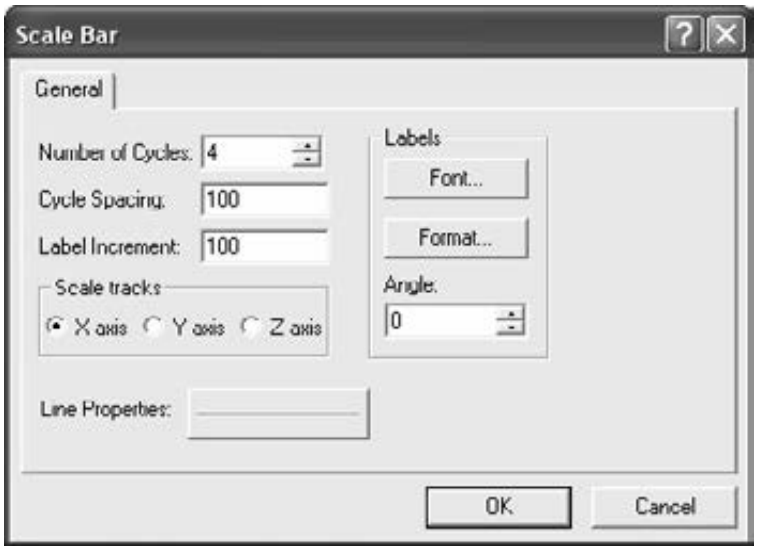
A **Map → Scale Bar** paranccsal léptékvonalzó rajzolható a térképre (61. ábra). A léptékvonalzó osztásainak számát a ***Number of Cycles***, az egyes osztások hosszát a ***Cycle Spacing***, a feliratok számsorának a lépésközét a ***Label Increment*** mezőben kell megadni. A feliratokat a ***Labels*** mezőben lehet formázni: a betűtípust a ***Font*****,** **míg** a számábrázolás formátumát, a számok elé és után írt szöveget, stb. a ***Format*** gombbal lehet definiálni.

A ***Scale tracks*** rádiógombokkal annak a tengelynek az irányát határozhatjuk meg, aminek alapján a léptékvonalzó készül. A beállítások hatását a készített léptékvonalzóra a 62. ábra mutatja be.

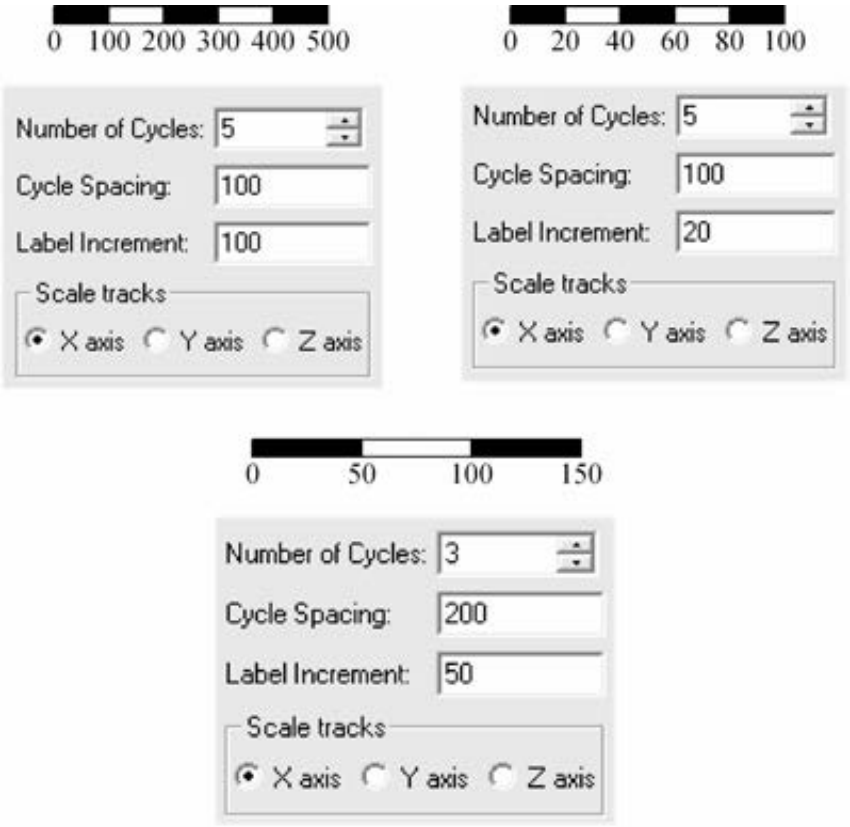
12.2.9.12. Digitalizálás

A **Map → Digitize** paranccsal egy kijelölt térkép típusú objektumon határozhatjuk meg a kurzor aktuális helyének koordinátáit. A parancs aktiválása esetén a menüben a menüpont mellett egy kis pipa jelenik meg jelezve a digitalizáló üzemmód bekapcsolását, miközben a kurzor célkereszté alakul. Ebben a helyzetben a képernyő bármelyik, akár a térképen ábrázolt térrészen kívül található pontjára kattintva a program meghatározza a kiválasztott pont helyzetét és annak koordinátáit, majd azokat egy újonnan megnyíló szövegablakba illeszti. A pontok koordinátái mellé további szöveget vagy adatokat írhatunk. Egy szövegablakba több pont koordinátáit is rög-

zíthetjük, majd a pontokat a korábban ismertetett ***.DAT** adat- vagy ***.BLN** vonalrajz-formátumba menthetjük. Amennyiben ***.BLN** formátumba kívánjuk az adatokat menteni, akkor lehetőség van egy szövegablakon belül több vonaldarab egyidejű digitalizálására és mentésére, ebben az esetben a vonalszakaszokat leíró pontsorozatok közé egy-egy elválasztó üres sort kell beilleszteni.



61. ábra
A léptékvonalzók beállítása



62. ábra
Eltérő beállításokkal készített léptékvonalzók

12.2.9.13. A Trackball használata

A trackball segítségével a térbeli ábra nézetét lehet interaktívan megváltoztatni. Az eszköz a **Map → Trackball** paranccsal aktiváljuk, mire a kurzor alakja megváltozik (a parancs csak akkor érhetjük el, ha valamelyik térképi rajzobjektumot korábban már kiválasztottuk!).

A parancs hatására a kiválasztott térkép körül egy befoglaló téglalap (2D) vagy téglatest (3D) jelenik meg, majd az egér mozgatásával az objektumot a térben (3D) vagy a síkban (2D) elfordíthatjuk.

12.2.9.14. A 3D objektumok igazítása

A **Map → Stack Maps** paranccsal lehetőség van azonosan tájolt egy rajzlapon található 3D térfelületek összeigazítására. A parancs használata előtt valamennyi igazítani kívánt objektumot teljesen azonos tájolásúvá kell tenni, amit a ***View*** tulajdonságoknál lehet ellenőrizni.

Ezt követően a parancs hatására az igazítani kívánt térképek oldalirányban azonos helyre rendeződnek (a koordináták alapján), míg a parancs a kijelölt objektumok függőleges helyzetét nem befolyásolja.

12.2.9.15. Térképek közös koordináta rendszerbe foglalása

A Surfer egyik legalapvetőbb parancsa a **Map → Overlay Maps** parancs. Amikor térképeket, objektumokat készítünk, valamennyi térkép saját önálló koordinátarendszerrel rendelkezik, amit az mutat, hogy az objektumhoz négy koordinátatengely is tartozik. Amennyiben egy rajzot több térképből állítunk össze, akkor több koordináta-rendszert is készítünk és célszerű azokat egy térképpé „olvasztani". Kezdő felhasználók egymásra „húzogatják" a térképeket, azonban ennek rengeteg hátránya van a további szerkesztések során. Ennek elkerülésére szolgál a **Map → Overlay Maps** parancs, amivel több kijelölt térképet egy térképpé alakítunk úgy, hogy a korábbi különálló térképek az új egységes térkép fedvényeivé válnak.

A parancs fordítottja a **Map → Break Apart Overlay** parancs, amivel az egy térképbe foglalt fedvények közül az aktuálisan kijelöltet leválaszthatjuk és egy külön térképpé alakíthatjuk.

12.2.10. A Window (ablak) menü

A **Window** (ablak) menünél (63. ábra) az ablakkezelő funkciókat érhetjük el. A **New Window** paranccsal egy ablak újabb nézetét kérhetjük, egyszerre több állományt nézhetünk úgy, hogy felosztjuk az aktuális ablakot vízszintesen (**Tile Horizontal**) és függőlegesen (**Tile Vertical**), vagy egymásra helyezve több ablakot (**Cascade**) nézünk. Amennyiben az ablakok ikon formába vannak összezárva, akkor az **Arrange Icons** paranccsal lehetőség van azoknak a lap aljára rendezésére. A menü alján a

program az aktuálisan nyitott ablakokat sorolja fel, melyek közül bármelyiket kiválaszthatjuk az egérrel.

63. ábra
A Window (ablak) menü

12.2.11. A Help menü

64. ábra
A Help menü

A **Help** menüben (64. ábra) segítségképpen elérhetjük a program angol nyelvű leírását (**Contents**), a tanulórendszert és példákat (**Tutorials**), a parancsok leírását (**Menu Commands**), illetve a Surfer makróprogramozási lehetőségek leírását (**Automation Help**). Lehetőségünk van a Golden Software honlapján frissítések keresésére (**Check for Update**), a cég honlapjára ugrásra (**Golden Software on the Web**), és javaslatok küldésére (**Feedback**) a szerzőknek. Tapasztalat szerint a cég valós programhibák esetén gyorsan válaszol és kijavítja azokat. Több javaslatunk az újabb verziókba beépült. Az **About Surfer** menüpontnál a verziószámot, a szerzői jogokra vonatkozó adatokat és a szerzőket kapjuk meg.

12.3. Interpolációs algoritmusok, diszkretizáció

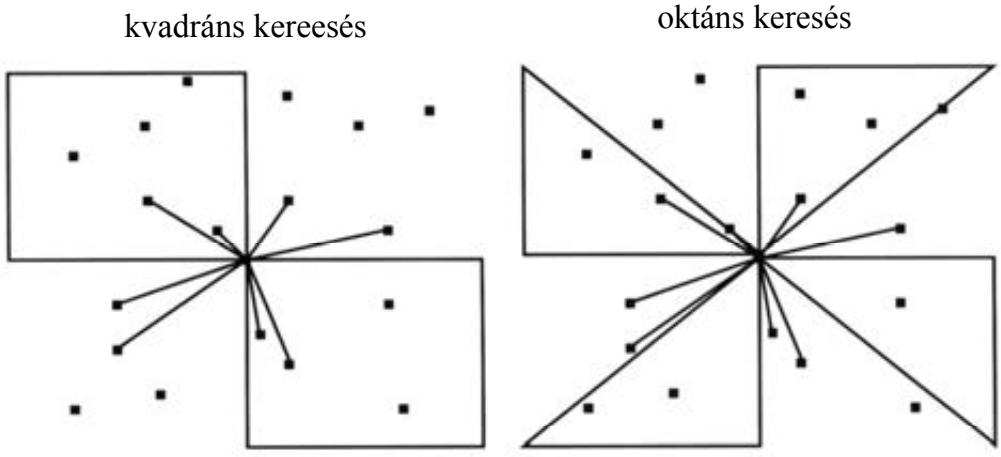
Mint azt a 6.2.2.2 fejezetben már röviden említettük, a modellezés során fúrási pontokhoz rendelt információk állnak általában rendelkezésre, az alkalmazandó hidrodinamikai vagy transzportmodellező programok azonban megkövetelik, hogy valamennyi elemhez egy-egy értéket hozzárendeljünk (diszkretizáció). A hozzárendelést általában geostatisztikai eljárásokkal végezzük el, melyeket a következőkben egyszerűsítve interpolációnak hívunk.

Röviden összefoglalva az I. kötetben leírtakat elmondható, hogy ha ismert a vizsgált terület több pontján egy adott paraméter értéke, akkor ezekre a pontokra matematikai eljárások felhasználásával folytonos térfüggvényeket lehet fektetni, amelyek a módszertől és az adatok térbeli eloszlásától függő mértékben közelítik a keresett paraméter térbeli eloszlását. Ugyancsak lehetséges a meglévő pontokból interpoláció segítségével közelítő érték meghatározása az adott elemre vagy csomópontra.

Az eljárás alkalmazása során feltételezzük, hogy bármely kiválasztott pontban a keresett paraméter értéke a legközelebb eső adatokból származtatható, azaz nem véletlen jellegű. A számításhoz szükséges n darab pontban, melynek koordinátái (x_1,y_1), (x_2,y_2),… (x_n,y_n), az interpolálandó mennyiség értékeit (z_1, z_2, …, z_n) ismerni.

Egy kiválasztott pontban a legvalószínűbb érték meghatározásához általában a legközelebbi adatpontokat veszik figyelembe. Már az interpoláció kezdetén meghatározzuk az interpoláció során felhasználandó adatok minimális számát, valamint azt a távolságot, melyen belül a paraméterek nagysága közötti kapcsolat feltételezhető (hatástávolság). Kiindulva abból a feltételezésből, hogy az egymáshoz közeli helyeken a vizsgált paraméterek hasonlítanak egymáshoz, a két pont közötti távolság növekedésével kell lennie egy olyan távolságnak, amikortól kezdve a két érték függetlenné válik, amit hatástávolságnak neveznek.

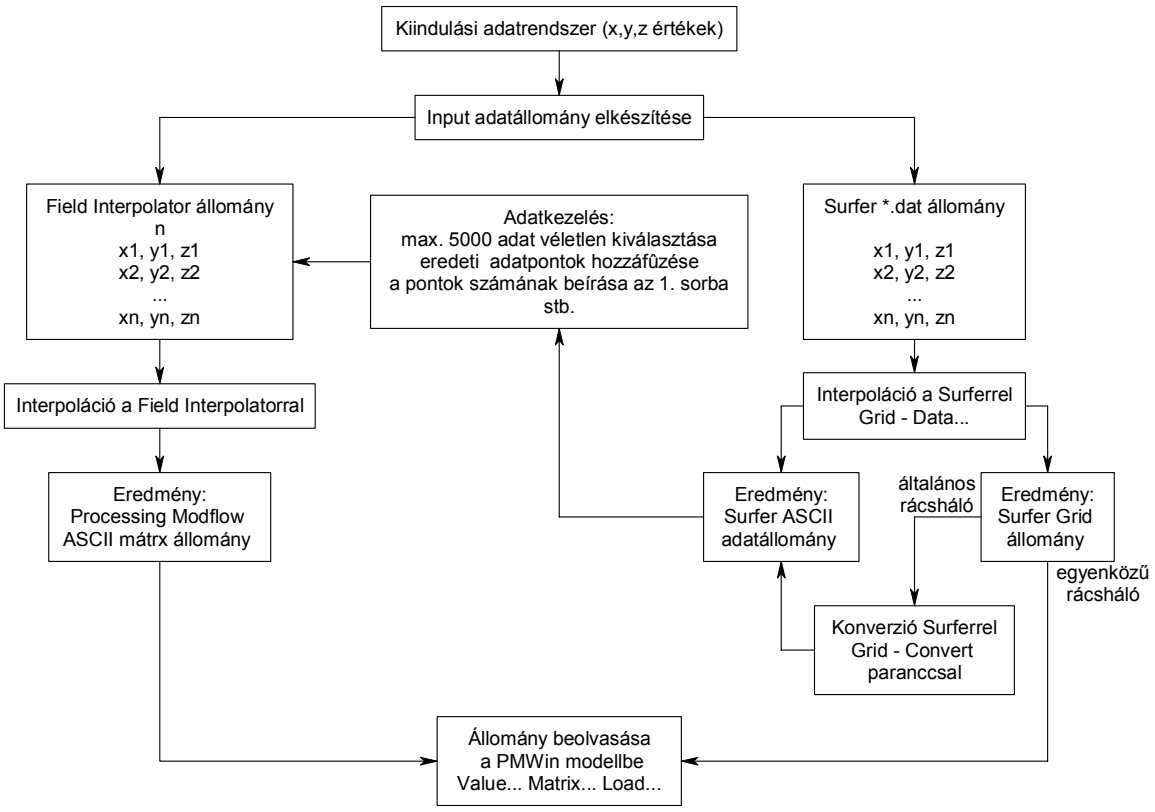
A hatástávolságon belüli adatpontokból bizonyos keresési szabályoknak megfelelően választjuk ki a számításokhoz ténylegesen használandó adatpontokat. Amennyiben a kiválasztott helyhez bármilyen irányból legközelebb eső pontok alapján számolunk, azt egyszerű keresésnek (***Simple search***) hívjuk. Van azonban arra is lehetőség, hogy általunk megadott számú térrészenként (**Sectors**) a legközelebbi n pont adatát (***Data per Sector***) használjuk fel. Amennyiben a vizsgált területet térnegyedekre osztjuk akkor kvadráns **(*Search method: Quadrant*)**, ha térnyolcadokra osztjuk, akkor oktáns **(*Search method: Octant*)** keresésről beszélünk (65. ábra).



65. ábra
A kvadráns és az oktáns keresés elve
(in ed: CLAUSER, 2003)

Az interpolációt több módon is elvégezhetjük: használhatjuk a Surfer programot, de van lehetőség a Processing MODFLOW környezetbe épített Field Interpolator használatára is. A leggyakrabban a két megoldást együtt alkalmazzuk.

A Surfer az ismert, ***.DAT*** állományban tárolt pontokból a **Grid → Data** paranccsal egyenközű rácsháló pontokra tud térfelületet illeszteni. Ez egyenközű rácshálóval történt térosztás esetén a modellezés során közvetlenül is alkalmazható, azonban általában a rácsháló a modellezésnél nem egyenközű. Ilyenkor a legcélszerűbb két lépcsőben megoldani a feladatot. Első lépésben a Surferrel, kihasználva annak nagyteljesítményű és professzionális interpolációs algoritmusait egy a területre illesztett sűrű, de egyenközű rácshálóra meghatározzuk az ismert adatok alapján a terület egészére a legvalószínűbb paraméter-eloszlást. Ezt követően a kapott adatokat egy második lépcsőben felhasználjuk a Field Interpolator program bemeneti adataiként, esetleg hozzáfűzve az eredeti adatpontokat is, aminek segítségével már egy általános rácsháló pontjaira számoljuk a kertesett értéket a PMWin kevésbé fejlett interpoláló algoritmusai felhasználásával. Ekkor már a felületet jobban leíró, nagyságrendekkel több pont alapján végezzük el a számításainkat (66. ábra).

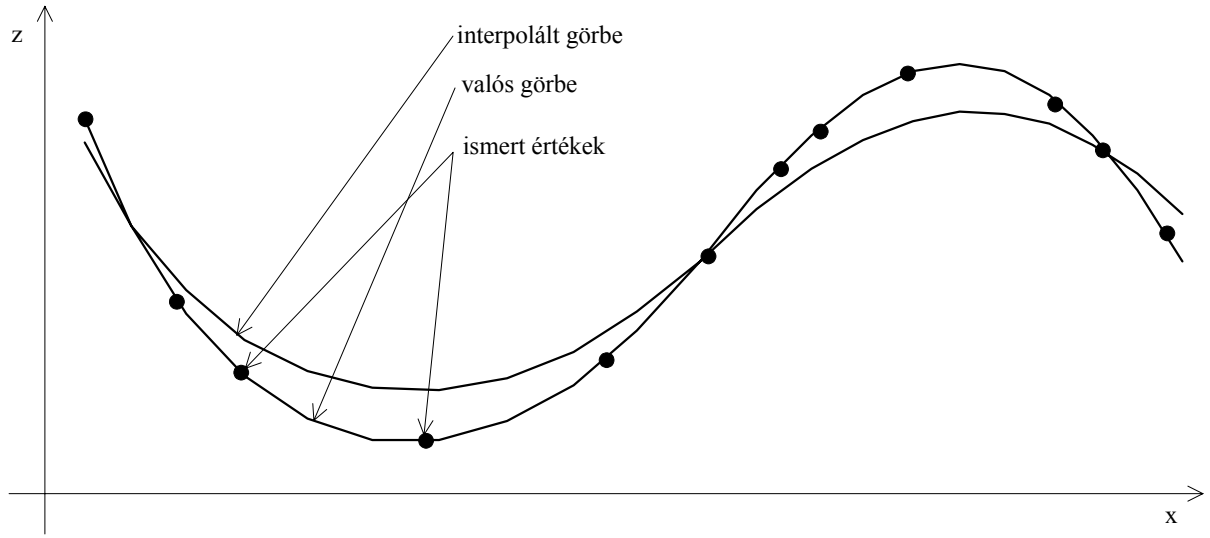


66. ábra
Az interpoláció folyamata

A modellezés során használt interpolációs eljárásokra jellemző, hogy alkalmasak mind inter-, mind extrapolációra, mivel valamennyi modellelemre szükséges az ismert értékeken alapuló értékbecslés elvégzése akkor is, ha az összes kiindulási adat a modellezendő területen belül helyezkedik el. Nem engedhető meg, hogy a módszer

ne számítson értékeket bármely pontra, még akkor sem, ha az extrapolációval kapott értékek megbízhatósága erősen megkérdőjelezhető. A Surfer program ezért engedélyezi azt, hogy alulhatározott felületek esetén az interpolációt ne végezze el, míg a Field Interpolator minden cellára mindig számít értéket függetlenül annak realitásától.

Az interpolációs algoritmusoknak két alapvető típusuk van. A torzításmentes interpolációk egy-egy ismert ponthoz közeledve egyre jobban közelítik annak értékét és az ismert pontban az „interpolációval" képzett felület értéke pontosan visszaadja az ismert értéket. Az ilyen módszereket torzításmentes közelítésnek nevezzük. A torzításmentes közelítés legismertebb típusai a lineáris interpoláció vagy a legkisebb görbület módszere. A másik csoport az úgy nevezett torzításos interpolációk csoportja, ebben az esetben a számított térfelület egy ismert pontban kisebb-nagyobb mértékben eltér az ismert értéktől. Torzításos közelítést alkalmaz minden súlyozott átlagszámításon alapuló megoldás, amit könnyen beláthatunk. Amennyiben egy pont kiugróan magas értékű a környezetében, akkor a súlyozott átlagszámítás során a körülötte található alacsonyabb értékű pontokat is felhasználva a magas és az alacsony értékű pontok közötti eredményeket kapunk és az átlaggal számított érték sosem érheti el a maximumot, azaz a térfelület a kiugró ponton nem haladhat át. A minimumhelyek környezetében éppen ezért a számított, „interpolált" érték mindig a minimumnál nagyobb lesz. Mivel az átlagszámítás a maximumhelyeket levágja, a minimumhelyeket pedig „feltölti" (67. ábra), ezért a torzításos interpolációval kapott interpolált térfelület „simább" lesz, mint a torzításmentes interpolációkkal kapott felület.



67. ábra
A súlyozott átlagszámítás felület-kiegyenlítő hatása

Néhány interpolációs megoldást a következőkben mutatunk be. A módszerek részletes ismertetését az alkalmazott matematikai, geostatisztikai és térinformatikai szakkönyvek (STEINER, 1990.; de MARSILY, 1986.; DELHOMME, 1976., WACKERNAGEL, 1995, TAMÁS 2000a, TAMÁS 2000b) és a kapcsolódó szoftve-

rek felhasználói kézikönyvei (KECKLER, 1999., PANNATIER , 1996) részletesen tartalmazzák.

Valamennyi esetben induljunk ki abból, hogy rendelkezésünkre áll a vizsgált térfelületet kellően jellemző *n* db mért érték a mérési pont koordinátáival. A pontok esetében törekedni kell arra, hogy a vizsgált (gyakorlatban a modellezett) térrész területén kívülre is essenek ismert pontok annak érdekében, hogy a folyamat során minden elemre interpolált és ne extrapolált értékeket számítsunk. Valamennyi módszernél felhívjuk a figyelmet a módszer hibáira is.

12.3.1. A háromszögelésen alapuló módszerek

A megoldás torzításmentes interpolációt jelent, mert az adatpontokban a módszerrel visszakapjuk az eredeti értékeket. A háromszögelésen alapuló interpolációs eljárást mind a Surfer (***Linear Interpolation with Triangulation***), mind a PMWin Field Interpolatora (***Renka Triangulation***) alkalmaz. Mindkét megoldás során az adatpontokra a rendszer háromszöghálót illeszt úgy, hogy a lehető legizometrikusabb háromszögekkel fedje le a területet (háromszögelés), a megoldás ezután tér el egymástól.

12.3.1.1. A lineáris interpoláció

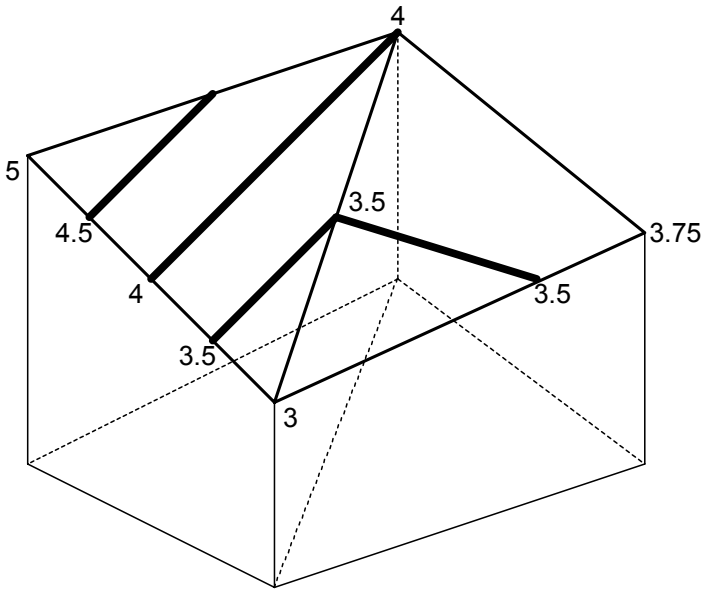
A lineáris interpoláció során feltételezzük, hogy két ismert pont között a változás egyenletes, azaz, ha pl. A pontban 100 mBf. , B pontban 90 mBf. a terepszint, akkor a kettő között félúton 95 mBf., az A ponthoz közelebb eső negyedtávon 97.5 mBf. a terepszint várható értéke. Ezután a háromszögek sarokpontban mért értékeire a rendszer síkokat illeszt, és a kapott síkok aktuális magassága megadja minden a háromszög területén belüli pontban az interpolált közelítő értéket. A módszer legnagyobb előnye az egyszerűség, hátrányai a következők. Extrapoláció esetén a számítás során feltételezzük, hogy az adathiányos külső területrészen a változás tendenciája megegyezik a pontokkal leírt térrész szélén tapasztalt változásokkal, azaz a szélső háromszögekre fektetett síkokat tetszőleges mértékben meghosszabbítjuk oldalirányban. Ennek következménye az, hogy jelentős hibák lehetnek a számítás során, pl. a koncentráció a szélső adatpontban 10 mg/l, a hozzá legközelebb, 50 m-re eső pontban 50 mg/l. Ennek alapján a szélső ponton kívül további 50 m távolságban –40 mg/l-es koncentrációt számolunk, ami képtelenség. További hiba, hogy az izovonalak a háromszögek határain törnek, ami nem realisztikus közelítés (68. ábra).

A Surfer használ lineáris interpolációs algoritmust.

12.3.1.2. A Renka-féle interpoláció

A *Renka-módszer (***Renka Triangulation,** RENKA, 1984a, 1984b*)* esetén is egy, az ismert pontokra illesztett háromszögrendszer segítségével történik az interpoláció, azonban ebben az esetben egy olyan harmadrendű interpolációs-függvényt használunk fel, amelyiknek az első deriváltja folytonos térfüggvény. Ez a folytonos térfüggvény túlhalad a szélső háromszögeken és ez teszi lehetővé, hogy a módszerrel extrapolációt is végezzünk. Mint minden extrapoláció esetén, ebben az esetben is távolodva a mérési pontoktól egyre kevésbé reprezentatív értékeket kapunk. Mivel a függvény első deriváltja is folytonos, ezért a háromszög élei mentén nincsenek töré-

sek, azaz a függvénnyel származtatott paraméter-eloszlással végzett numerikus számítás a lineáris interpolációhoz képest stabilabb. A Field Interpolator a Renka-módszert használja.



68. ábra
A lineáris interpoláció

12.3.1.3. A kétváltozós Akima-féle interpoláció

A *kétváltozós Akima-féle interpoláció (**Akima Bivariate Method,*** AKIMA, 1978a, 1978b*)* is az ismert pontokra illesztett háromszögrendszert használja fel, azonban az ismert z értékekre az interpolációt a kétváltozós ötödik Hermite-polinom felhasználásával végzi el a háromszögön belül. Az Akima-féle interpolációt a Field Interpolator alkalmazza.

12.3.2. Súlyozott átlagszámításon alapuló interpolációk

A súlyozott átlagszámításon alapuló interpolációk során a vizsgált pont környezetében található *n* db legközelebbi pontban észlelt z értékek súlyozott átlaga alapján számítjuk az interpolált értéket.
Súlyozott átlagszámítás esetén az átlagot az alábbi függvénnyel számítjuk:

$$\overline{p} = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} w_i p_i}{\sum_{i=1}^{n_p} w_i}, \qquad (12.1.)$$

ahol w_i az adott értékre vonatkozó súly-érték.

A módszerek a súly meghatározási módjában térnek el egymástól. A súlyozott átlagszámításon alapuló interpolációs módszerek közül a legismertebbek a Shepard-módszer, a távolsággal fordítottan arányos súlyozás módszere, a radiális bázisfüggvény-módszer, a természetes szomszéd módszer és a krigelés.

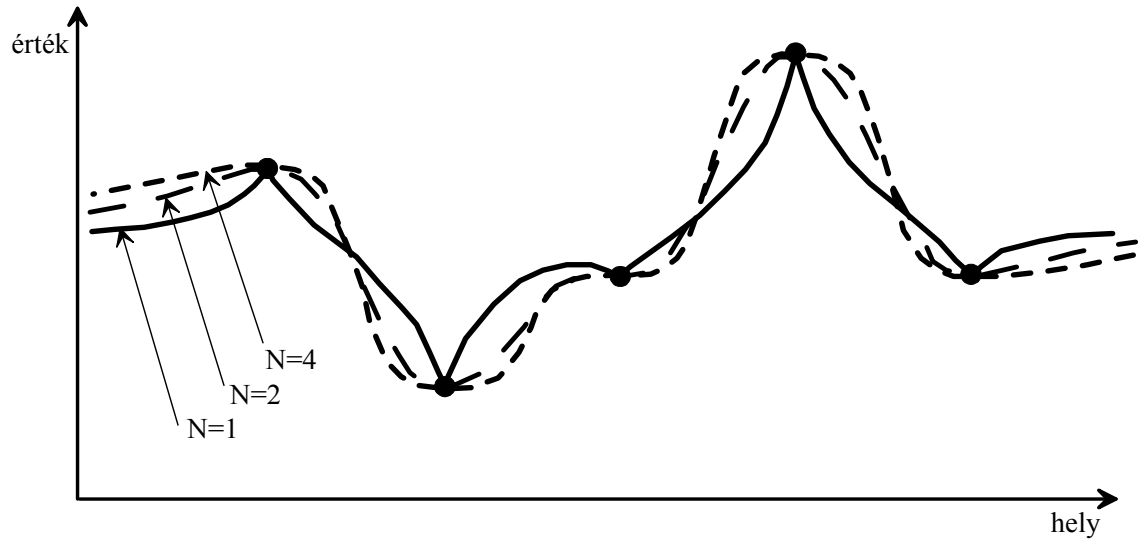
12.3.2.1. A távolság hatványával fordítottan arányos interpoláció, a Shepard módszer

A távolság hatványával fordítottan arányos interpoláció (***Inverse distance to a power, Shepard -method***) alapelve az a felismerés, hogy minél közelebb van egy hely egy ismert ponthoz, annál inkább hasonlít tulajdonságaiban hozzá, azaz a hasonlóság mértéke fordítottan arányos az ismert, környező adatpontok távolságával. Az érték számítása a környező pontokból súlyozott átlagszámítással történik, ahol az egyes w_i súlyok a távolság reciprokától, illetve a távolság valamelyik, a felhasználó által megadott hatványának reciprokától függő érték.

$$w_i = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} \frac{z_i}{s_i^N}}{\sum_{i=1}^{n_p} \frac{1}{s_i^N}}, \qquad (12.2.)$$

ahol N a hatványkitevő, s_i a vizsgált pont távolsága az i-edik z_i értékkel jellemezhető ponttól (SHEPARD, 1968).

Mettől nagyobb az N hatványkitevő, annál kevésbé veszi a módszer a távolabbi pontokat figyelembe. Az N hatványkitevőtől függően az interpolációval kapott térfüggvény csúcsosabb vagy simább lesz, Shepard az N=2 értéket találta a legáltalánosabban alkalmazhatónak (69. ábra)



69. ábra
A különböző hatványkitevők hatása az interpolált értékekre (Shepard-módszer)
(CHIANG - KINZELBACH, 1993)

A Shepard-módszer hátránya, hogy az ismert értékek közelében koncentrikus izovonalakkal jellemezhető térrész alakul ki, amit bikaszem-effektusnak is neveznek.

Annak érdekében, hogy ez elkerülhető legyen a kapott térfüggvényt simítani szokták: ezt hívják a *simított, távolsággal fordítottan arányos súlyozás módszerének.* Ekkor a súlyokat az alábbi módon számítjuk:

$$w_i = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} \frac{z_i}{\beta_i^N}}{\sum_{i=1}^{n_p} \frac{1}{\beta_i^N}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} \frac{z_i}{\left(\sqrt{s_i^2 + \delta^2}\right)^N}}{\sum_{i=1}^{n_p} \frac{1}{\left(\sqrt{s_i^2 + \delta^2}\right)^N}}, \qquad (12.3.)$$

ahol δ a simító-tényező.

A Shepard-módszer hibamentes közelítést ad, mert ahogy közelítünk az ismert ponthoz, úgy közeledik a súly 1-hez. Amennyiben azonban a δ a simító-tényezőt is figyelembe vesszük (*simított, távolsággal fordítottan arányos súlyozás módszer)*, akkor már egyetlen pontban sem válthat a w_i súly egységnyivé, azaz az ismert értékkel rendelkező pontban az észlelt értéket nem kapjuk vissza az interpoláció során. A simító-tényező növelésével egyre jelentősebbé válik a hiba. A módszer előnye a gyorsaság. A Shepard módszert a Field Interpolator és a Surfer is alkalmazza.

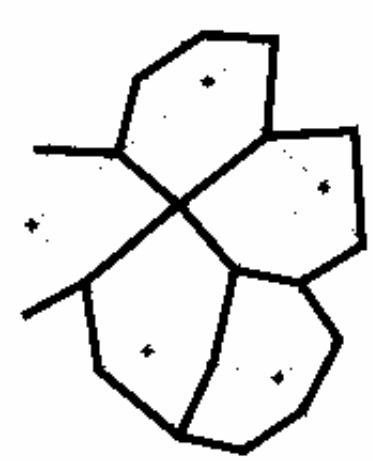
12.3.2.2. A módosított Shepard-módszer

A módosított Shepard-módszer (***Modified Shepard Method***) egy speciális, a távolság hatványának reciprokával történő súlyozott átlagszámítási algoritmust használ az interpolációhoz. A módszer használatának előnye, hogy a korábban említett bikaszem effektust a lehető legjobban kiküszöböli. A hibát úgy küszöböli ki, hogy a számítások elején az ismert adatpontok környezetében egy másodrendű felületet illeszt a pontra, majd ezt követően történik meg a hagyományos súlyozott átlagszámítás. A módosított Shepard-módszert a Surfer alkalmazza.

12.3.2.3. A természetes szomszéd módszer

A természetes szomszéd módszer (***Natural Neighbour Method***) is a súlyozott átlagszámítás elvén alapul. A súlyokat ebben az esetben az egyes pontok köré rajzolható ún. hatóterület alapján veszik fel. A hatóterületeket úgy határozzák meg, hogy az adatpontokra a háromszögelésnél ismertetettekhez hasonlóan egy háromszöghálót illesztenek, mely háromszögek oldalfelező pontjait összekötő egyenesek által kijelölt idomok jelentik az egyes adatpontok hatóterületét (70. ábra). A természetes szomszédok módszerénél a súlyozott átlagszámítás w_i súlyait a számítás során a poligonok területével arányosan veszik fel.

A megoldás mögött az a gondolat húzódik, hogy minden adatpont hatása addig érvényesül, amíg az van a legközelebb. A megoldással szép, sima és reális érzetet keltő izovonalak rajzolhatók, miközben hátrány, hogy a módszer az elvéből fakadóan extrapolációra alkalmatlan, azaz az adatpontokkal határolt térrészen belül kell lenniük a modell határainak.



70. ábra
Az adatpontok hatóterületei a természetes szomszéd módszer alkalmazásánál (KECKLER, 1999)

12.3.2.4. A variogramok és a krigelés

A krigelés a paramétereknek ismeretlen pontban, geostatisztikai alapokon nyugvó meghatározására alkalmas környező mérési értékek alapján. A módszer alapvetően egy súlyozott átlagszámítás, ahol az alkalmazott átlagszámítási súlyokat geostatisztikai alapokon, variogram-függvények segítségével határozhatjuk meg. A krigelés nevét kidolgozója, a dél-afrikai Krige után kapta. A krigelésnek több fajtája van: a pont-krigelés és a blokk-krigelés. A blokk-krigelés a gridháló elemi celláinak átlagértékét határozza meg, ezért kiugró értékek szűrőjeként is szolgál. E miatt azonban a pontonként megfigyelt értéket nem adja vissza. E fejezetben a továbbiakban a krigelés alatt a pont-krigelést értjük.

Tapasztalati tény, hogy a nem véletlenszerű mérési értékek egy bizonyos távolságon, az úgynevezett *H* hatástávolságon belül egymással korrelálnak. Ennek vizsgálatára határozzuk meg a teljes adathalmazból kiválasztott 2-2 pontpár hasonlóságának mértékét, a varianciát:

$$V(s_i) = [z_1 - z_2]^2, \qquad (12.4.)$$

ahol $s_i = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$ a két pont távolsága, valamint z_1, z_2 az ismert érték az (x_1,y_1) és (x_2, y_2) pontokban.

Majd hasonlóképpen meghatározzuk a rendelkezésre álló adathalmazból a létrehozható összes pontpár esetére a hasonlóság mértékét leíró varianciát, ami a mért értékek különbségének négyzete. A kapott varianciákat rendeljük hozzá a kiszemelt két pont távolságához. Így összesen $n_V=n_p(n_p+1)/2$ db távolsághoz rendelt variancia-értéket kapunk, ahol n_p az adatok száma. Amennyiben a pontpárokat a köztes távolság szerint csoportokba soroljuk, és a csoportokhoz hozzárendeljük a megfelelő variancia-értékek átlagát egy tapasztalati variogramot kapunk.

A modellezett tér leírására szolgáló tulajdonságok (attributumok) a tér különböző irányaiban gyakran nagyon eltérő változékonysággal bírnak. Gondoljunk például egy folyóvölgy mederüledékeire, ahol a völgy irányában és arra merőlegesen jelentősen

eltér a tulajdonságok változékonysága, azaz az adott attributum tér varianciája irányonként változhat. Ezt az interpoláció során az adott irányok mentén történő variogramok meghatározásával vehetjük figyelembe. (Itt jegyezzük meg, amennyiben mintapontjaink eloszlása nagyon egyenlőtlen, akkor a sűrűn mintázott helyeken csoportbontó algoritmusok segítségével csökkenteni kell a mintaszámot, különben a túlreprezentált mintaterület torzíthatja becslésünket.)

Definíciószerűen variogramnak, esetlegesen a nevezőben szereplő kettes osztó miatt szemi-variogramnak vagy elméleti variogramnak nevezzük és *γ(h)*-val jelöljük azt a függvényt (71. ábra), amely a h távolság függvényében megadja az értékkülönbségek négyzetösszegének felét (STEINER, 1990), azaz

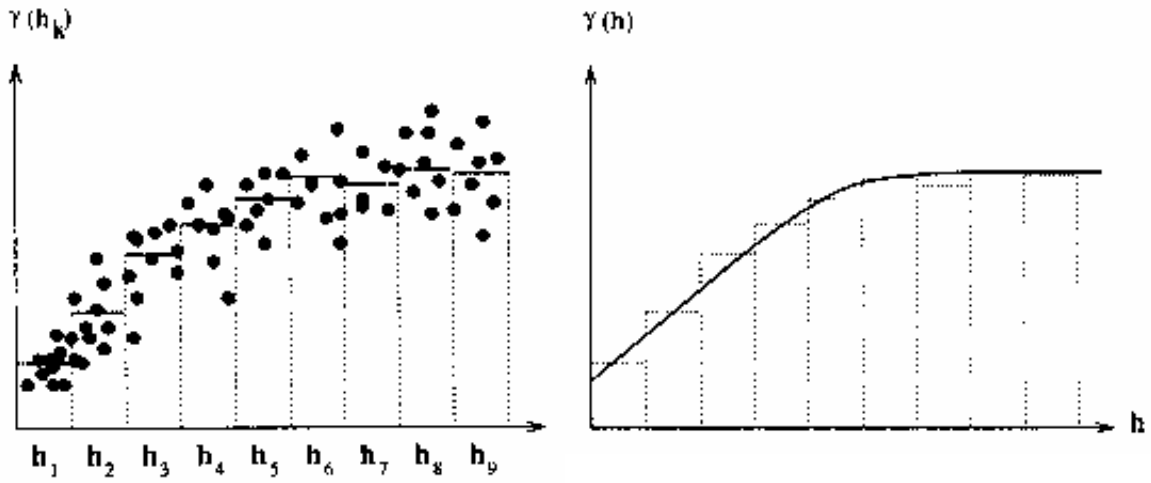
$$\gamma(h) = \frac{1}{2n_V(h)} \sum_{i=1}^{n_p(h)} \left[z_{Pi} - z_{Pi+h} \right]^2 , \qquad (12.5.)$$

ahol P_i az összes olyan mérési pont, amelytől h távolságban még található mért érték, amit z_{Pi+h} jelöl, míg z_{Pi} a jele a mért értéknek P_i helyen, végül $n_V(h)$ jelöli az összes egymástól *h* távolságban lévő pontpár száma.

Az elméleti variogram-függvények típusait **12.1. táblázat** és a 72. ábra mutatja be. A súlyozott átlagszámítás súlyait pedig az elméleti variogramokból leolvasható, illetve számítható kovariancia

$$COV\left[Z_{P_i}, Z_{P_{i+h}}\right] = C - \gamma(h) \qquad (12.6.)$$

értéke adja (73. ábra**)**.



71. ábra
A pontpároktól az elméleti variogramig
(WACKERNAGEL, 1995)

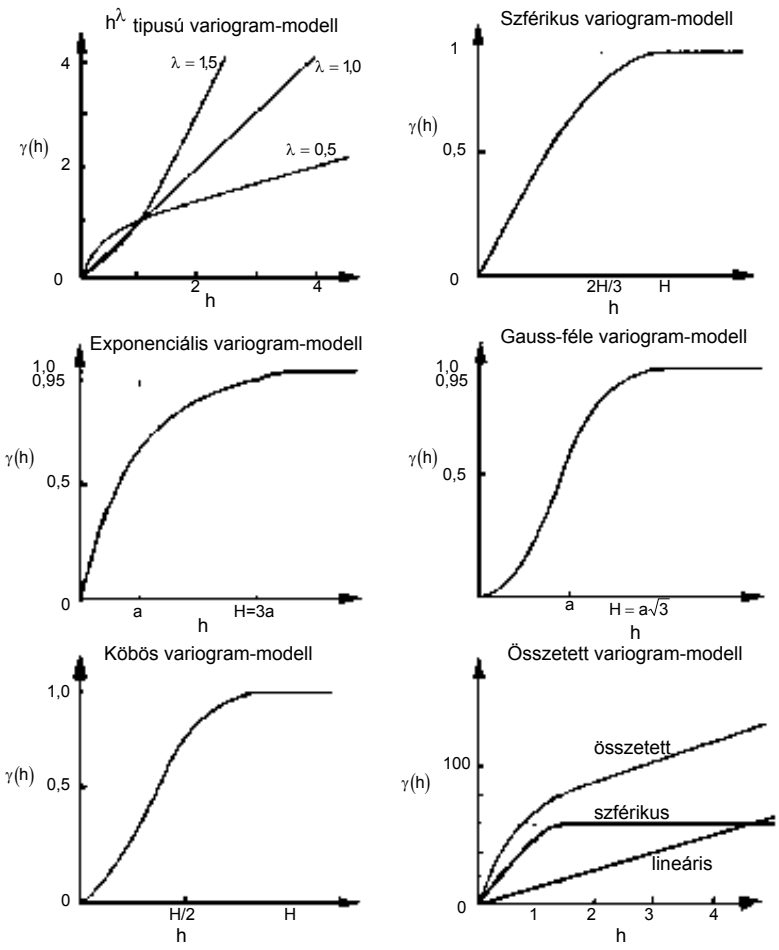
12.1. táblázat

A variogramok típusai		
Variogram-modell típusa	Matematikai függvény	Feltétel
h^{λ} – típus	$\gamma(h) = C \cdot h^{\lambda}$	$\lambda<2$
Szférikus modell	$\gamma(h) = C\left(\frac{3h}{2H} - \frac{1h^3}{2H^3}\right)$ $\gamma(h) = C$	$0 \le h \le H$ $h > H$
Gauss-modell (az elméleti variogram-függvények gyakoribb típusai)	$\gamma(h) = C\left[1 - e^{-\left(\frac{h}{a}\right)^2}\right]$	
Exponenciális modell	$\gamma(h) = C\left[1 - e^{-\frac{h}{a}}\right]$	
Köbös modell	$\gamma(h) = C\left[7\left(\frac{h}{H}\right)^2 - 8{,}75\left(\frac{h}{H}\right)^3 + 3{,}5\left(\frac{h}{H}\right)^5 - 0{,}75\left(\frac{h}{H}\right)^7\right]$ $\gamma(h) = C$	$0 \le h \le H$ $h > H$
Összetett modell: a lineáris és szférikus modell kombinációja	$\gamma(h) = K_1 h + C\left(\frac{3h}{2H_{szférikus}} - \frac{1h^3}{2H^3_{szférikus}}\right)$ $\gamma(h) = K_1 h + C$	$0 \le h \le H_{szférikus}$ $h > H_{szférikus}$

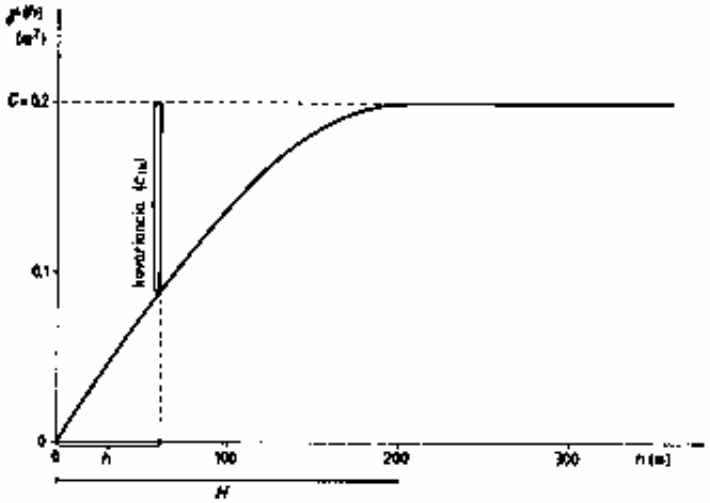
A táblázatban C=VAR(Z) az az érték, amelyhez a variogram-függvény a típusától függően nagy távolságok esetén közelít, illetve amelyet felvesz. Az exponenciális és a Gauss-típusú modell esetén a H hatástávolság definíciójáról (pl. $\gamma(H)=a=0{,}9 \div 0{,}95C$) önkényesen dönthetünk.

A variogram-függvények a reális adatrendszerek esetén nem függetlenül indulnak az origóból, mert magának az adat-meghatározásnak is van egy szórása. Pl. egy fúrásban és annak közvetlen közelében egy adott rétegsor vastagsága, szivárgási tényezője, porozitása, stb. mind-mind változhat, azaz akár ugyanazon a ponton mélyített fúrásokban a mért értékek kissé eltérőek lehetnek. Ezt a jelenséget a variogram-függvényen a h=0 távolsághoz rendelt variancia-érték jeleníti meg, amit Nugget-hatásnak, vagy magyarosan mag- vagy röghatásnak szoktak nevezni. A krigelés, amennyiben a röghatást figyelembe vesszük, semmiképpen sem hibamentes közelítés, de általában röghatás nélkül sem az. Ennek oka a súlyozott átlagszámítás, azaz több pontbeli értéknek figyelembevétele. Hiába szerepel maximális súllyal a vizsgált pont közvetlen közelében a közeli mért érték, a többi környező, még a hatástávolságon belüli pont – amennyiben azt is figyelembe vettük – egy kicsit megváltoztatja az eredményként kapott értéket.

A krigeléssel működő interpolációs algoritmusok lehetőséget adnak egy előre meghatározott elméleti variogram-függvény alkalmazására vagy akár egyéb programok használatára. A variogram-számítás legegyszerűbb eszköze a VarioWin program (PANNATIER, 1996). A program a hálózatról letölthető és könyv formában is megjelent a Springer kiadónál.



72. ábra
Az elméleti variogramok típusai
(PECK et. al., 1988 nyomán)



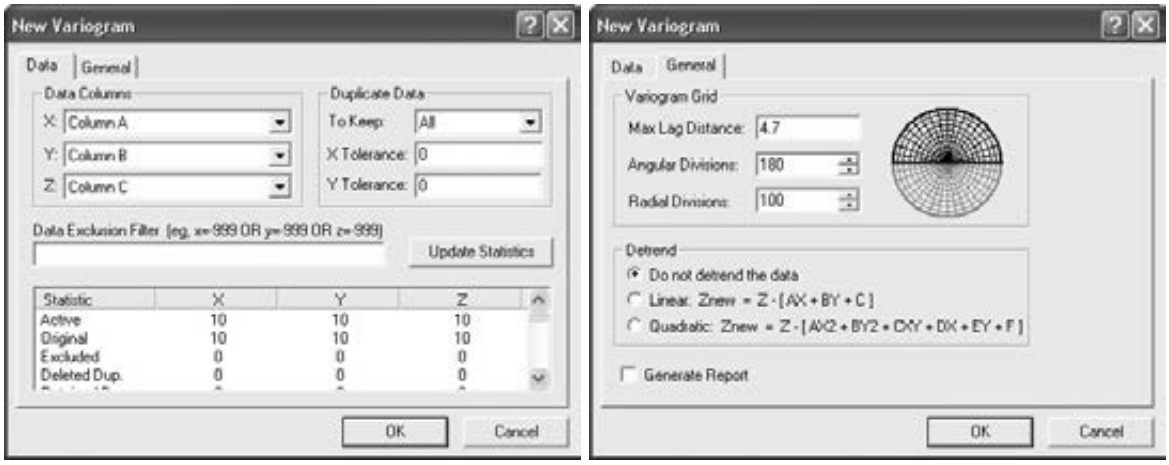
73. ábra
A kovariancia értelmezése

A szoftver Prevar2D része kiszámítja és elmenti a pontpáronkénti variancia-értékeket, majd a Vario2D programmal a tapasztalati variogramot lehet meghatározni a pontpár-adatok alapján. A Model2D programmal ezután van lehetőség a tapasztalati variogramra egy elméleti szemivariogram-függvényt illeszteni, melynek adatai a krigelés alapadatait képezik.

Lehetőség van a Surfer programmal is variogramot készíteni a **Grid → Variogram → New Variogram** paranccsal (74. ábra). A parancs hatására megnyíló dialógusablakban előbb az adatállomány nevét, majd a variogram paramétereit kell megadni. A **Data** lapon a beolvasott adatok jellemzőit találjuk, és definiálni lehet az adatállomány egyes oszlopainak adattartalmát (***Data Coloumns***), továbbá az elemzésből egy szűrő segítségével kizárhatunk adatokat (***Data Exclusion Filter***), továbbá a duplikát adatok (***Duplicate Data***) kezelésének módját választhatjuk meg teljesen hasonlóan a gridfile készítésnél leírtakhoz.

A **General** lapon a variogram irányítottságát, térbeli helyzetét definiáljuk (***Angular Divisions, Radial Divisions***), továbbá a tapasztalati variogram képzésnél használt intervallumok szélességét (***Max. lag distance***). A beállítások hatását az ablakban található ábra változásai mutatják. KITAINIDIS (1997) a variogramok készítésénél egyes esetekben az adatok előzetes elemzését és az irányfüggőség megszüntetését javasolja, amit a ***Detrend*** mezőben lehet beállítani. Általában az előzetes elemzés nem szükséges (***Do not detrend the data***), ezen kívül választható a lineáris és a négyzetes irányfüggetlenítési mód is.

Ezután a készített variogramot a Surfer kirajzolja. A kész variogramot a felületszerkesztésnél (**Grid Data**) a krigelés kiválasztása után a speciális beállításoknál (**Advanced Options**), a **Get Variogram** gombbal lehet beolvasni és alkalmazni.



74. ábra
Variogram készítése Surferrel

Ko-krigelés. A ko-krigelés során korrelációt tételezünk fel a becslendő paraméter és egy másik, általában jobban ismert statisztikai jellemzőkkel rendelkező paraméter között. A két adatsor felhasználásával azokon a területeken, ahol a becslendő paraméter interpolálásához szükséges információ hiányzik, keresztkorrelációs számítás

alapján a második adatsor segítségével történhet a keresett paraméter becslése. A módszert ABOUFIRASSI és MARINO (1984) alkalmazta először a hidrogeológiában. A vizsgált kaliforniai területen a transzmisszivitás értékét becsülték ko-krigelés módszerével a transzmisszivitás és az azzal korreláló tárolási tényező adatok alapján.

12.3.3. A radiális bázisfüggvény módszer

A Surfer által támogatott, radiális bázisfüggvény-módszeres (**Radial base function method**) interpoláció az interpolációs eljárások egy külön csoportja.

A módszerek olyan súlyozott átlagszámítást végeznek el, ahol a w_i súlyok a $w_i = w_i\left(\sqrt{s_i^2 + \delta^2}\right)$ függvényt kielégítik, ahol s_i a távolság az ismert ponttól és δ a radiális bázisfüggvény módszer simító-tényezője. A leggyakrabban alkalmazott bázisfüggvények:

Reciprok gyökös függvény: $w_i(s_i) = \dfrac{1}{\sqrt{s_i^2 + \delta^2}}$ (12.7.)

Logaritmikus függvény: $w_i(s_i) = \lg\left(s_i^2 + \delta^2\right)$ (12.8.)

Gyökös függvény: $w_i(s_i) = \sqrt{s_i^2 + \delta^2}$ (12.9.)

Természetes gyökös spline-függvény: $w_i(s_i) = \left(s_i^2 + \delta^2\right)^{3/2}$ (12.10.)

Vékonyréteges spline-függvény: $w_i(s_i) = \left(s_i^2 + \delta^2\right)\lg\left(s_i^2 + \delta^2\right)$ (12.11.)

A módszer a lehető legjobban simított, mégis torzításmentes, azaz az adatpontokon tökéletesen áthaladó térfelületeket képez.

A módszer alkalmazása során egy bázis-függvényt kell előzetesen kiválasztani, ami a krigelésnél használt variogramhoz hasonlóan működik, és ez a bázisfüggvény határozza meg, hogy a környező, a keresési sugáron belül található pontokat mekkora súllyal vegye a szoftver a számításoknál figyelembe. Anélkül, hogy a megoldás matematikai hátterét vizsgálnánk, javasoljuk, hogy a multikvadráns, gyökös (***Multiquadratic***) vagy a vékony réteges spline (***Thin plate spline***) algoritmust alkalmazzák, mert a gyakorlatban ezek a függvények váltak be a leginkább.

12.3.4. Egyéb interpolációs és felületszerkesztő algoritmusok

12.3.4.1. A minimális görbület módszere

A minimális görbület módszerének alkalmazásakor arra törekszünk, hogy a lehető legsimább, azaz a legkisebb görbületű felületet illesszünk az adatpontokra. A megoldás ahhoz hasonlít, mintha egy vékony, teljesen rugalmas lemezt illesztenénk az ismert helyzetű pontokra. A pontokra feszített rugalmas lemez helyzete jelenti a térfelület számított legvalószínűbb helyzetét. A legkisebb görbület módszerével kapott térfelület általában nem torzításmentes illesztéshez vezet, mert a felület minél tökéletesebb simítása közben szükségessé válhat a felületnek az adatpontoktól történő eltávolítása. A számított felület valamilyen optimalizáló algoritmus (általában a legki-

sebb négyzetek elve) szerint legjobban, de nem tökéletesen illeszkedő felületet adja eredményül.

A módszer bizonyos esetekben nagyon jól alkalmazható, mert pl. a vízdomborzat jól követi a legsimább felületet, azonban vannak hibái is. A legnagyobb problémája a módszernek, hogy extrapoláció esetén gyakran extrém nagy vagy irreálisan kicsi értékeket számít.

12.3.4.2. A legközelebbi pont módszere

A legközelebbi pont módszere (***Nearest neighbour method***) a szó szoros értelmében nem is interpoláció, mivel a megoldás alkalmazása esetén minden pontba számított érték felveszi a hozzá legközelebb eső pontban mért értéket. Ez egyenletes pontsűrűség esetén hasonlít a modellezéskor használt zónás adatrendszerhez, azaz ilyenkor a „térfelület" azonos értékekkel jellemzett részekből épül fel, aminek határán szakadás van.

12.3.4.3. A csúszó-átlagolás módszere

A csúszó átlagolásos (***Moving average method***) felületszámítási módszert kizárólag a Surfer tartalmazza. A módszer alkalmazása során a rendszer egy a felhasználó által megadott, kör vagy ellipszis alakú területpontok átlagértékét számítja, melyeket a kör vagy ellipszis középpontjához rendel. Az alakzatot végigmozgatva a teljes vizsgált területen határozza meg a kiegyenlítő felület valamennyi pontját.

A csúszó-átlagolás módszerével csak akkor jutunk kielégítő eredményhez, ha a területen nagy számú adatponttal rendelkezünk, egyéb esetekben a számított értékek egy igen torz felülethez vezetnek.

12.3.4.4. A polinomiális regresszió

A polinomiális regresszió (***Polinomial regression***) valójában nem egy interpolációs módszer, hanem inkább egy térgörbe illesztő eljárás. A használata során a felhasználó megadja a keresett térfüggvény rendűségét (első-rendű (sík), másod-, harmadrendű, illetve a felhasználó által megadott magasabb rendű felület), és a Surfer kiszámítja a pontokra legjobban illeszthető, előre definiált rendű felületet.

A polinomiális regressziót a gyakorlatban sík vagy négyzetes térfüggvények generálására használhatjuk, pl. egy áramló talajvizű terület átlagos hidraulikus gradiensének meghatározására sík felület segítségével, vagy egy nyílt tükrű rendszerre telepített galéria körül kialakuló depresszióstér meghatározására négyzetes függvény segítségével.

12.3.5. Az interpoláció során elkövetett gyakori hibák

Az interpoláció elvégzése nem egyszerű probléma. Minden interpolációs algoritmus egy-egy elv alapján a legvalószínűbb térfelületet rajzolja meg, azonban az már a felhasználó dolga, hogy eldöntse, az adott eredmény a modellezés céljából megfelel-e, azaz reálisan adja-e vissza a keresett paraméter-eloszlást. Ennek szemléltetésére azonos adatrendszerből kiindulva 12-féle módon határoztuk meg a „legvalószínűbb" paraméter-eloszlást (75. ábra). Az ábrán jól látható, hogy eltérő módszerek teljesen

másképpen „értelmezik” a tér sajátosságait, ennek megfelelően az interpoláció, mint eszköz csak az eredmények értelmezése után fogadható el.

Általánosságban elmondható, hogy a lineáris interpolációt csak sok és lehetőleg reprezentatív módon elhelyezkedő adatpont léte esetén, illetve közel sík felületek közelítése esetén érdemes alkalmazni. Ilyen lehet egy egyenletesen lejtő talajvízfelszín, vagy egy paraméter folytonos átmenete egyik értékből a másikba.

Lineáris interpoláción alapulnak a digitális terepmodellek (DTM) is, azonban ott a pontokat speciális eljárásokkal választják úgy ki, hogy az azok alapján készített térfelület a terep egyenetlenségeit jól tükrözze. A lineáris interpoláció esetén vigyázni kell az extrapoláció elkerülésére. A háromszögelésen alapuló Renka-módszert a lineáris interpolációnál sokkal inkább érdemes alkalmazni, mert bár ez is a háromszögelésen alapul, mégis jó az extrapolációs képessége. Ugyanez mondható el a kétváltozós Akima-módszerről is, mellyel közel azonos adatpont-sűrűség mellett, realisztikus, sima térfelületeket kaphatunk.

A súlyozott átlagszámítási módszerek esetében a bikaszem effektust kiküszöbölő, módosított Shepard algoritmus javasolható, ugyanakkor pl. különálló koncentráció csúcsok megjelenítésénél a bikaszem effektus előnyösen használható ki. A távolsággal fordítottan arányos súlyozott átlagszámításon alapuló interpoláció főképpen alacsonyabb hatványkitevőkkel használható, magasabb hatványkitevők mellett itt is bekövetkezik az erős „bikaszemesedés”.

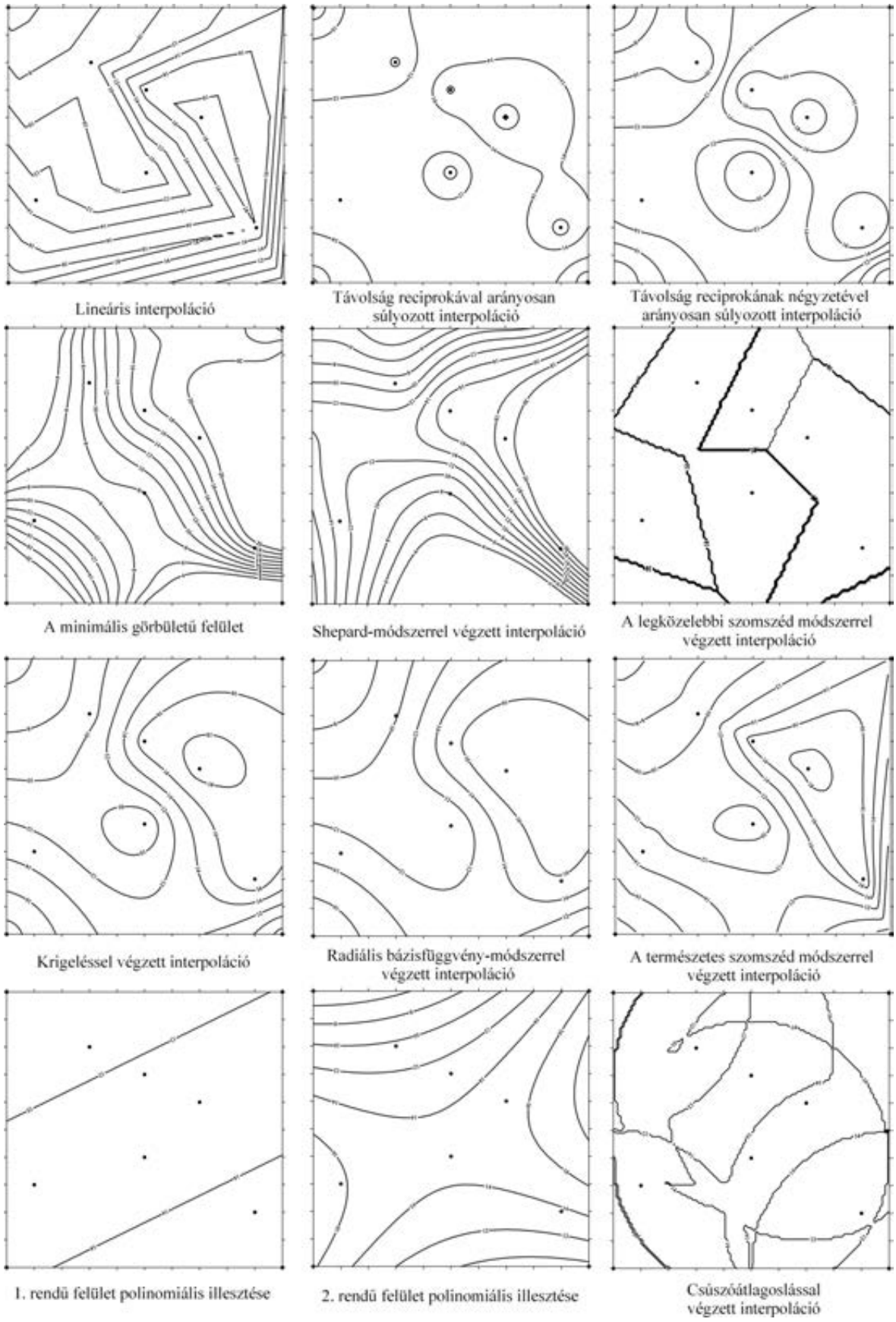
A természetes szomszéd módszerrel nagyon „szép” és simított térfelületeket kapunk. Nagy előnye a módszernek, hogy olyan esetekben is jól működik, amikor nagyon egyenlőtlen az adatpontok térbeli eloszlása. Jelentős hátrány, hogy a módszerrel extrapoláció elvileg sem lehetséges.

A legközelebbi szomszéd módszert a gyakorlatban kevéssé használjuk a modellezés során sokkal egyszerűbb a zónák alkalmazása, ami azonos eredményhez vezet.

A krigelés kiváló interpolációs eljárás, azonban a használata főképpen akkor indokolt, ha megfelelő számú adatpont áll rendelkezésre és annak alapján a variogram megfelelően megrajzolható. A krigelésnél vigyázni kell arra, hogy a variogram reális legyen, mert a krigelés eredményét teljesen elrontja a nem megfelelő variogram használata.

Polinomiális regressziót csak – a módszernél már bemutatott – igen speciális helyzetekben lehet alkalmazni. A csúszó-átlagoláshoz több ezer vagy tízezer, közel homogén eloszlású adatra van szükség. A módszer különösképp akkor használható, ha az adatrendszerben vannak kiugró értékek, amelyek a többi algoritmus számítási eredményeit túlságosan zavarják.

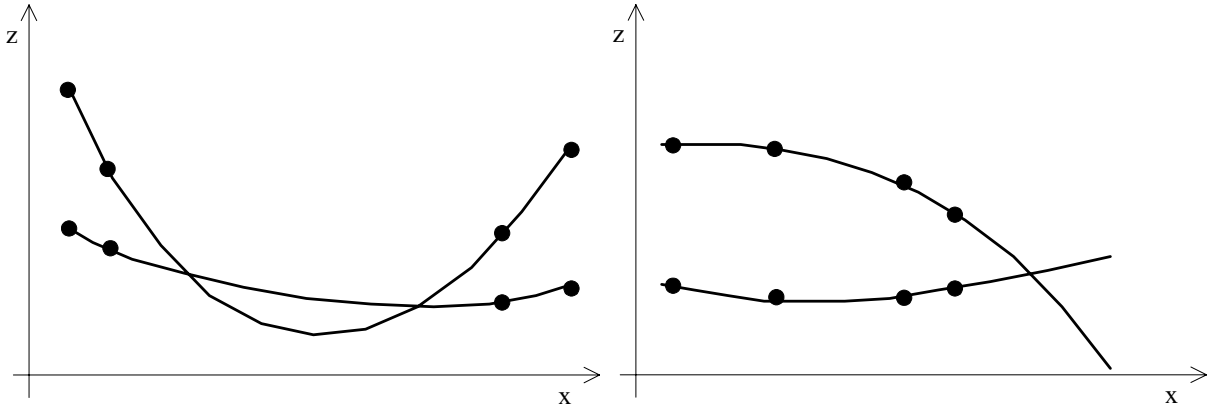
Az interpolációt gyakran használjuk a rétegek geometriai viszonyainak megadásánál. A modellgeometria triviális felvételi módja a tengerszint vagy relatív magassági értékekkel a fúrási pontokban megadott alapadatrendszerből krigeléssel, súlyozott átlagszámítással, a minimális görbület módszerével vagy egyéb interpolációs algoritmussal meghatározni a modell rétegeit elválasztó térfelületet.



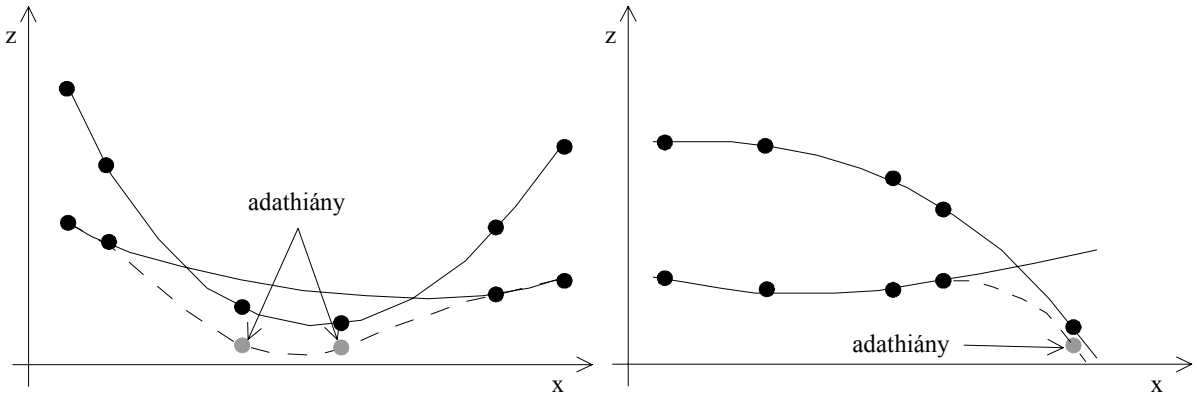
75. ábra
Azonos adatrendszerből előállított térfelületek

Az interpoláció és szükség esetén extrapoláció során kapott felületek esetében azonban igen gyakori, hogy – főképpen vékony rétegek esetén – az egymáshoz közel eső elválasztó felületek (réteghatárok) egymást a fúrási pontoktól távolabb eső területeken metszik, ami elvi és egyben logikai hiba.

Az említett hibákat elsősorban a minimális görbület módszerénél, ritkábban a súlyozott átlagszámítás esetén észlelhetjük A minimális görbület módszer alkalmazása során, interpolációnál a legsimább felület illesztésének kényszere, extrapolációnál pedig a szélső pontok meredekségének különbsége vezethet a felületek metszéséhez (76. ábra). A hibát folyamatos ellenőrzéssel lehet elkerülni: a két felület különbségét képezzük, majd a kapott vastagságtérképen ellenőrizzük, hogy a réteg vastagsága mindenütt pozitív-e.



76. ábra
Jellegzetes interpolációs és extrapolációs hibák a minimális görbület módszerének alkalmazásánál



77. ábra
Jellegzetes interpolációs és extrapolációs hibák adathiányos területeken

További interpolációs problémák forrása lehet az adathiány. Természetes, hogy a mélységgel egyre csökken az adatok mennyisége általános esetben, ezért a mélyebben található elválasztó-felületeket kevesebb ismert pont alapján kell meghatározni.

Az adathiány okozta interpolációs hibák szinte minden interpolációs módszernél előfordulnak (77. ábra).

Hasonlóan elvi hibás modellhez vezet egyes területeken negatív értékek számítása az interpolációnál. Jellemzően a minimális görbület módszere és a háromszögelésen alapuló módszerek vezetnek ilyen eredményekhez, ami pl. koncentrációk, szivárgási tényezők és szabad hézagtérfogat értékek esetében elvi hibás modellt és divergens számítási eredményeket okoznak. A súlyozott átlagszámításon alapuló módszerek az ilyen hibákra érzéketlenek, miközben a valós térfelületnél simább felületeket kapunk, amivel szintén jelentős hibákat követhetünk el (FILEP et al., 2002).

12.4. Surfer alkalmazások

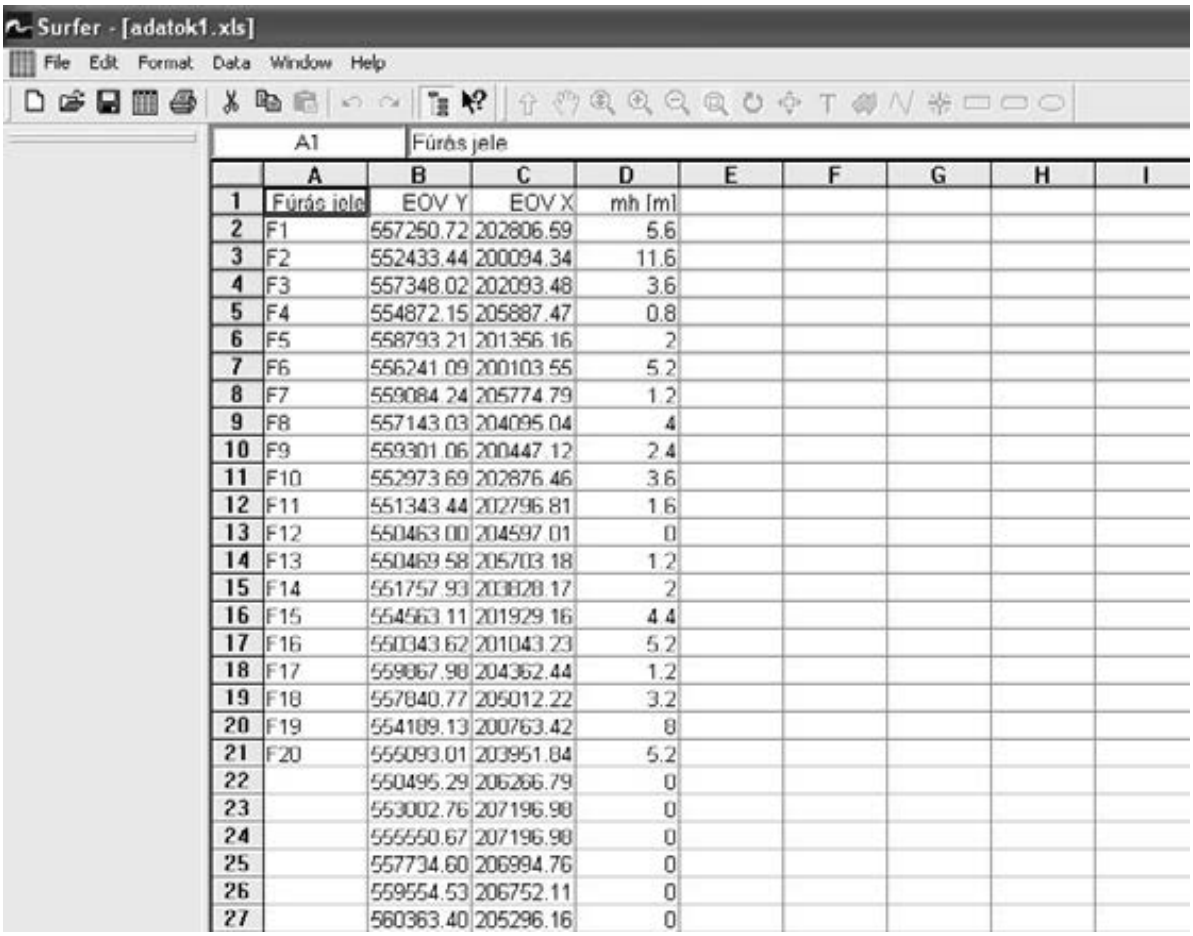
A jelen fejezetben néhány, a mindennapi gyakorlatban előforduló lehetséges Surfer alkalmazást mutatunk be részben a Surfer szakmai feladatok során történő alkalmazhatóságának bemutatására, részben a modellezési munkafolyamat egyszerűsítése érdekében. A hazai gyakorlatban számos más feladat megoldására is használják (KOVÁCS és TAMÁS, 2002)

12.4.1. Térfogatszámítás és alkalmazásai

12.4.1.1. Hulladéktérfogat meghatározása (\app\hull könyvtár)

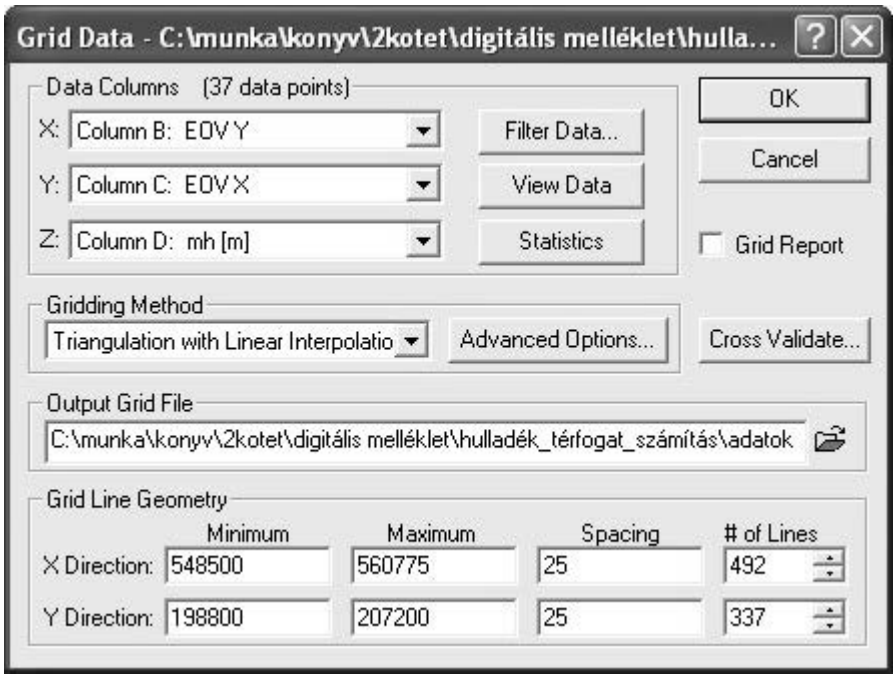
A Surfer térfogatszámító rutinjainak számos környezetvédelmi alkalmazása lehet. Egy ilyen triviális alkalmazás lehet hulladékok, vagy például egy tározóban lerakott zagy térfogatának meghatározása. Jelen esetben legyen ismert néhány pontban (F1-F20 fúrások: ***ADATOK.XLS***) a zagy vastagsága, illetve a lerakó (tározó) körvonala (***LERAKO.BLN***). A tározó peremén a zagy vastagsága zérus, tételezzük fel, hogy az ismert pontok között a vastagság lineárisan változik. Készítsük el a zagytér hulladékvastagsági térképét lineáris interpolációval, majd határozzuk meg a lerakott anyag térfogatát, illetve a tározótér területét…

1. Készítsük el az ***ADATOK1.XLS*** állományt, amiben az F1-F20 fúrások adatait, illetve a lerakó határvonalának töréspontjait (zagyvastagság=0) fűzzük egybe! A Surfer táblázatkezelő ablakába hívjuk be az ***ADATOK. XLS*** állományt (**File → Open** parancs), majd az utolsó adatot követő 22. sor B oszlopára állva fűzzük hozzá a **File → Import** paranccsal a ***LERAKO.BLN*** állományt. Mivel a bln állomány egy zárt poligon, azért első és utolsó sora azonos, így a hozzáfűzött rész első pontját, továbbá a bln állomány első sorát (azaz az új állomány 22. és 23. sorát) töröljük: kijelöljük a két említett sort, majd végrehajtjuk a **Edit → Delete** parancsot. Ekkor egy összesen 38 sorból álló adatrendszert kapunk, ahol a 22-38. sorokban találhatók a határvonal töréspontjainak koordinátái. Ez utóbbi pontok mellé a rétegvastagságot a **Data → Transform** paranccsal írhatjuk be: „***Transform Equation: D=0***”. A kapott állományt elmentve az ***ADATOK1.XLS*** névre a számítás alapadatállományát kaptuk.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Fúrás jele	EOV Y	EOV X	mh [m]					
2	F1	557250.72	202806.59	5.6					
3	F2	552433.44	200094.34	11.6					
4	F3	557348.02	202093.48	3.6					
5	F4	554872.15	205887.47	0.8					
6	F5	558793.21	201356.16	2					
7	F6	556241.09	200103.55	5.2					
8	F7	559084.24	205774.79	1.2					
9	F8	557143.03	204095.04	4					
10	F9	559301.06	200447.12	2.4					
11	F10	552973.69	202876.46	3.6					
12	F11	551343.44	202796.81	1.6					
13	F12	550463.00	204597.01	0					
14	F13	550469.58	205703.18	1.2					
15	F14	551757.93	203828.17	2					
16	F15	554563.11	201929.16	4.4					
17	F16	550343.62	201043.23	5.2					
18	F17	559867.98	204362.44	1.2					
19	F18	557840.77	205012.22	3.2					
20	F19	554189.13	200763.42	8					
21	F20	555093.01	203951.84	5.2					
22		550495.29	206266.79	0					
23		553002.76	207196.98	0					
24		555550.67	207196.98	0					
25		557734.60	206994.76	0					
26		559554.53	206752.11	0					
27		560363.40	205296.16	0					

78. ábra
A zagytérfogat-meghatározáshoz használt adatrendszer

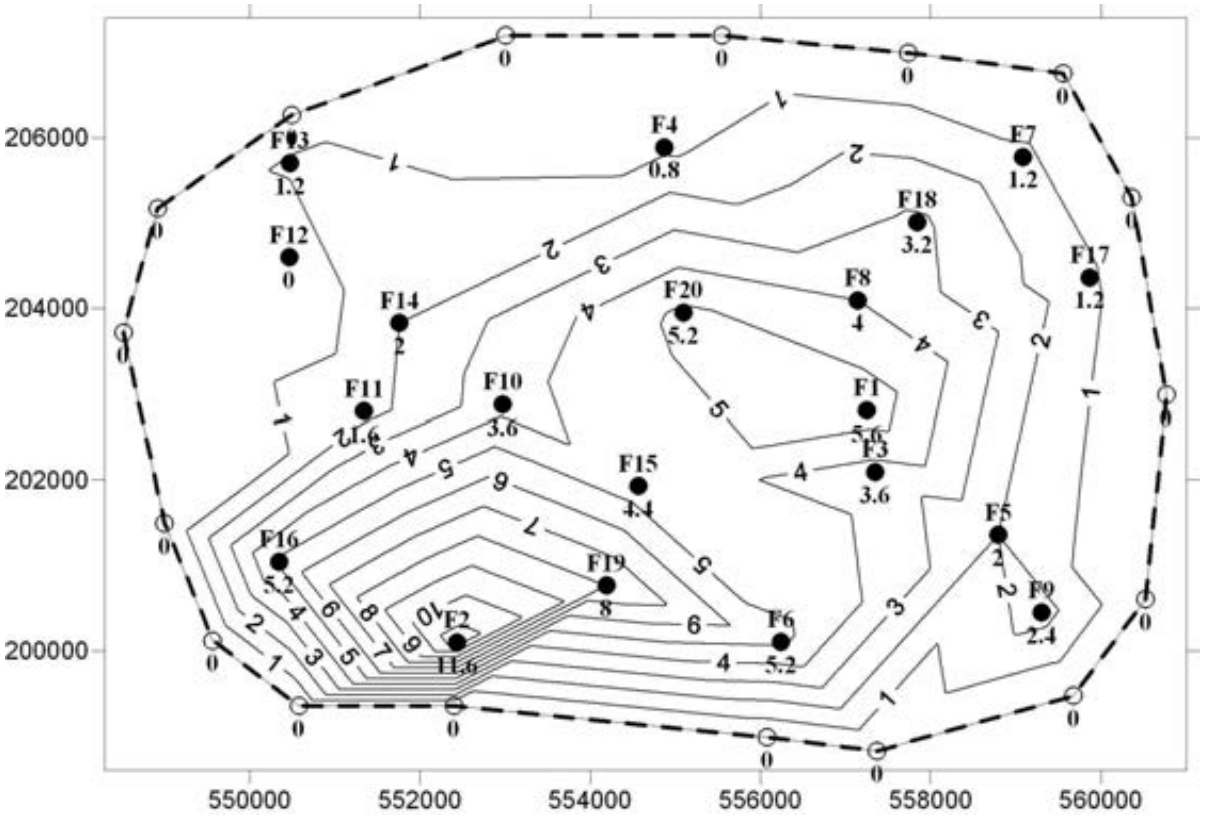


79. ábra
A térfogatszámításhoz használt rácsháló adatai

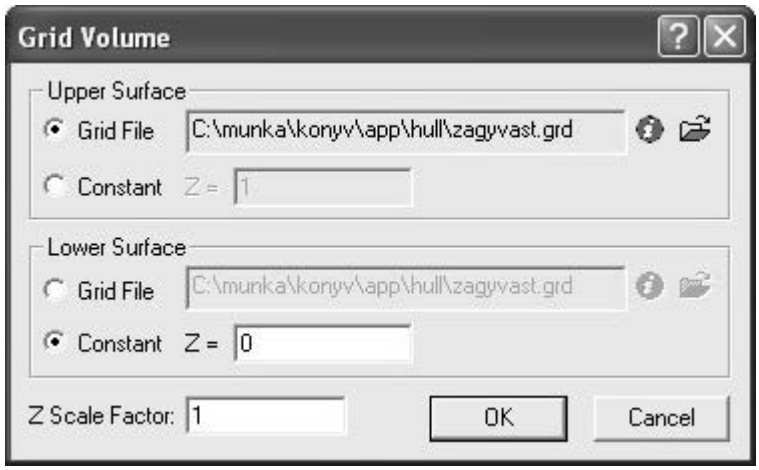
2. Ezután képezzük a zagyvastagságot leíró felületet a **Grid → Data** paranccsal (79. ábra) úgy, hogy a felületet lineáris interpolációval határozzuk meg a területet lefedő 25x25 m osztású rácshálóra, az EOV Y= 548500-560775 és az EOV X=198800-207200 tartományra (***ZAGYVAST.GRD,*** 80. ábra).
3. A térfogat- és terület-meghatározáshoz használjuk a **Grid → Volume** parancsot (81. ábra). A 0 vastagság és a ***ZAGYVAST.GRD*** állományban számított vastagságok közötti „térfogatot" számítva a lerakott zagy mennyiségét kapjuk meg. A parancs segítségével számított felületeket, területeket és térfogatokat a ***ZAGYVAST.RTF*** állományba írjuk ki.

Eredmények: A számított terület (***Positive Planar Area***) 86,34 km^2, míg a lerakott zagy számított térfogata 230 millió m^3. Nagyságrendileg ellenőrizzük, hogy helyesek-e a kapott értékek: A 230 millió m^3 86,34 millió m^2 területen átlagosan 2,6 m vastagságot jelent. A térképet megtekintve a 2,6 m-es átlagvastagság megfelelőnek látszik.

Megjegyzés: A példában szereplő 86 km^2 nagyságú területet a megadott 20 fúrási pont a gyakorlatban nem reprezentálja. A bemutatott térfogatszámítás csak akkor fogadható el a valóságban, ha a pontok által lineáris interpolációval meghatározott felület a valóságot jól tükrözi, azaz, ha a bemutatott vastagsági- térkép (80. ábra) megfelel a valóságnak.



80. ábra
A lineáris interpolációval szerkesztett zagyvastagsági térkép



81. ábra
A zagytérfogat meghatározása **Grid → Volume** paranccsal

12.4.1.2. A kitermelhető statikus vízkészlet meghatározása (\app\stat könyvtár)

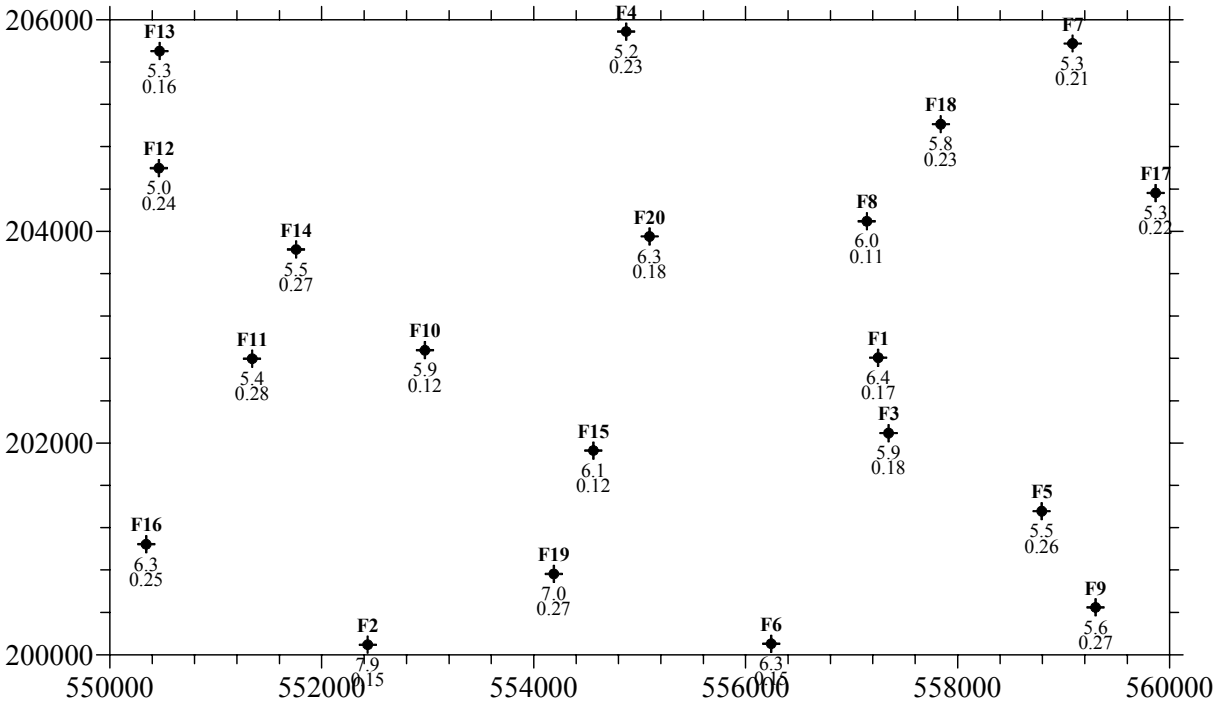
A vízadó rétegben található kitermelhető statikus vízkészlet meghatározására a Surfer kiválóan alkalmazható. A gravitációsan kitermelhető statikus készlet a vízadó m rétegvastagságtól, illetve h telített vízoszlopmagasságától függő, telített térfogatának és a szabad hézagtérfogatnak a szorzata, azaz

$$\begin{aligned} V_{stat} &= \int m \cdot n_0 \cdot dxdy \qquad \textit{telített közegben,} \\ V_{stat} &= \int h \cdot n_0 \cdot dxdy \qquad \textit{nyílt tükrű vízadóban.} \end{aligned} \quad , \qquad (12.12.)$$

A problémát az jelenti, hogy mind a szabad hézagtérfogat, mind a rétegvastagság változhat a térben (TAMÁS et al., 2002).

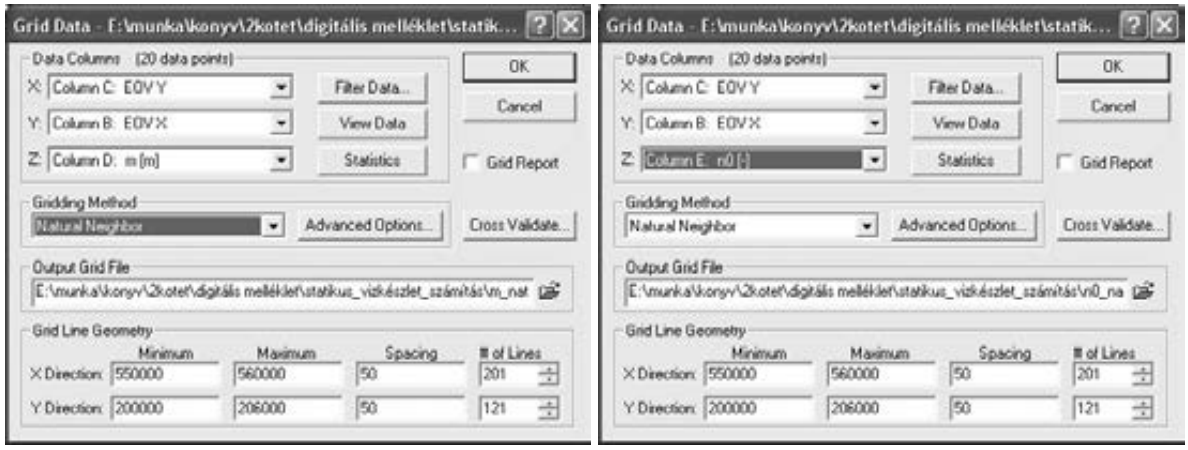
Példánkban legyen a területen 20 db feltárófúrás (F1-F20 jelűek), amiben a zárt tükrű vízadó *m* vastagsága és a képződmény n_0 szabad hézagtérfogata fúrásonként ismert (82. ábra). Meghatározandó a képződményben egy 8x4 km-es területrészen (EOV X=201000-205000, EOV Y=551000-559000) belül található kitermelhető víztérfogat. Esetünk annyiban szerencsés, hogy a fúrások által közbezárt térrész teljesen lefedi a vizsgált területet, ezért az interpolációs algoritmusok közül a természetes szomszéd módszer alkalmazható.

1. Először határozzuk meg a rétegvastagság és a szabad hézagtérfogat térbeli eloszlását leíró térfelületet az ***ADATOK.XLS*** állományban található alapadatrendszer, 50 m osztású rácsháló és a természetes szomszéd módszerének segítségével, a **Grid → Data** paranccsal (***M_NATNEIGH.GRD*** és ***N0_NATNEIGH.GRD*** állományok, 83. ábra).
2. Számítsuk ki a rétegvastagság és a szabad hézagtérfogat szorzatát a **Grid → Math** paranccsal (84. ábra). A számított ***M_X_N0.GRD*** állományban „a szemcsék eltávolítása” után maradó vízoszlopmagasságok térbeli eloszlását kaptuk, ami a vizsgált területen integrálva adja a keresett térfogatot.



82. ábra

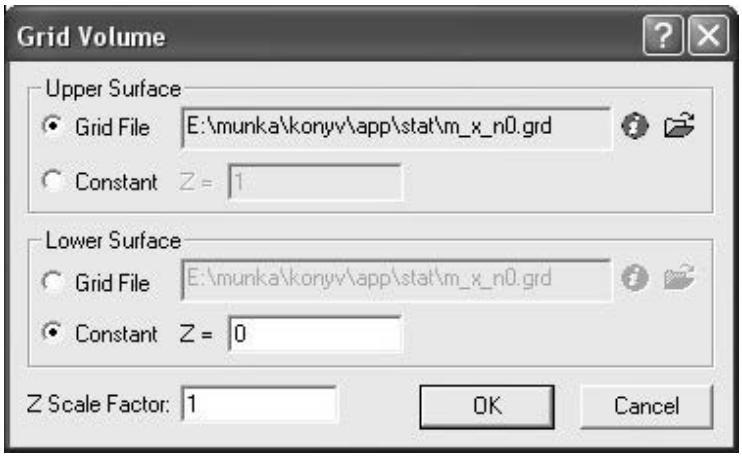
A mért rétegvastagság és szabad hézagtérfogat értékek a területen



83. ábra

A rétegvastagság és a szabad hézagtérfogat-eloszlás meghatározása

3. Számítsuk ki a **Grid → Volume** paranccsal a z=0 és a ***M_X_N0.GRD*** állomány által kijelölt felületek közötti térfogatot! A kapott térfogat adja a teljes víz mennyiséget. A jelentést a ***TÉRFOGAT_M_N0_VÁLTOZIK.RTF*** állományba mentettük!



84. ábra
A statikus vízkészlet meghatározása „térfogat”-számítással

Az eredmény: $3.526 \cdot 10^7$ m^3. Próbáljuk meg ellenőrizni: A terület 32 km^2. A területen 7 m körüli a rétegvastagság, és a szabad hézagtérfogat átlagosan 0,15 nagyságú. Ennek alapján $m \cdot n_0$ magasságú, azaz átlagosan 1,05 m vízoszlop szükséges a réteg feltöltéséhez. Ez $3.2 \cdot 10^7$ m^2 területen 1,05 m vízoszloppal számolva $3{,}36 \cdot 10^7$ m^3 vizet jelent, azaz az eredmény elfogadható.

Jelentősen egyszerűsödik a helyzet, ha vagy a szabad hézagtérfogat, vagy a rétegvastagság állandónak tekinthető. Ha a szabad hézagtérfogat állandónak tekinthető a területen, akkor egyszerűen számítjuk a 0 és a ***M_NATNEIGH.GRD*** állomány által leírt felület közötti „térfogatot” majd a kapott térfogatértéket szorozzuk a konstans szabad hézagtérfogat értékkel. Ha a rétegvastagság tekinthető állandónak, akkor hasonlóan eljárva, először számítjuk a 0 és a ***N0_NATNEIGH.GRD*** állomány által leírt felület közötti „térfogatot”, majd a kapott „térfogatértéket” szorozzuk a konstans rétegvastagsággal.

12.4.1.3. Szennyezőanyag-mennyiség és egy területen mért átlagkoncentráció meghatározása (\app\szenny könyvtár)

A környezetvédelmi vizsgálatok egyik alapvető feladata annak meghatározása, hogy egy adott környezetszennyezés esetén mekkora szennyezőanyag-mennyiség jutott a talajba vagy a talajvízbe.

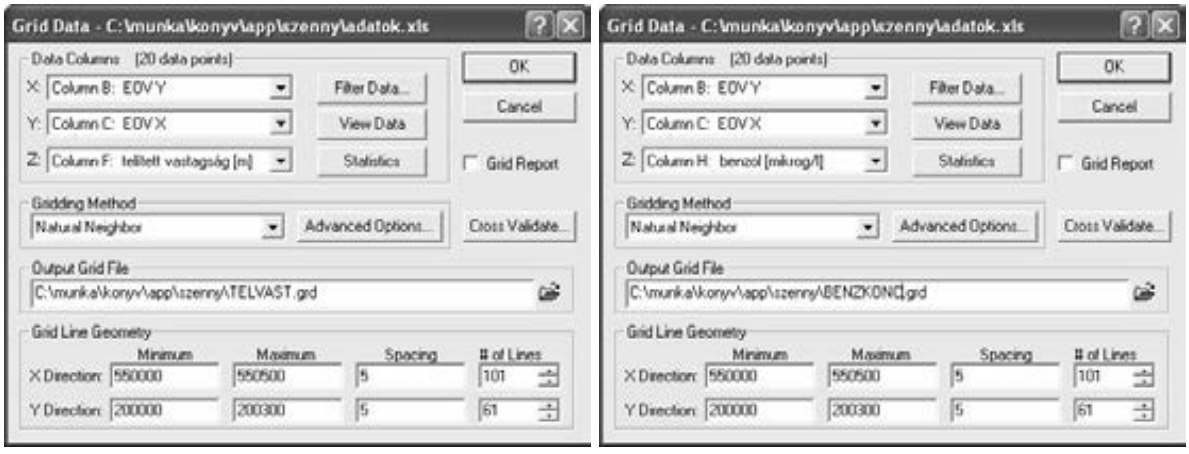
Esetünkben legyen ismert a nyílt tükrű talajvízadóban néhány fúrás adata alapján meghatározott szennyezőanyag-koncentráció. Az ismert koncentráció-adatok alapján szerkesszük meg a koncentráció-eloszlás térképét, illetve határozzuk meg a talajvízbe jutott szennyezőanyag mennyiségét a változó vastagságú vízadóban. A vízadóban a telített vízoszlop magasságokat ismerjük, melyek a vízadó feküjének lokális változásai miatt különbözőek, tekintettel arra, hogy a területen a potenciálfelület vízszintesen síknak tekinthető.

1. A kiindulási adatok az ***ADATOK.XLS*** állományban találhatók. Ismertek a fúrási pontok koordinátái, továbbá a feküszintek tereptől számított mélysége. Mivel a talajvíz a mérések szerint a terep alatt 1.2 m-re található, a fekü és a talajvízszint különbségeként megkaptuk a talajvízadóban a telített vízoszlop magasságát.

2. Az akkreditált laboratóriumban meghatározták a 20 db vízminta benzoltartalmát µg/l mértékegységben. Az alkalmazott mérési eljárás és mérőeszköz esetén a kimutathatósági határ 0,1 µg/l volt. A vízminták közül 8 esetben a benzoltartalom a kimutathatósági határ alatt volt. Mivel a benzolmennyiség meghatározásához térfelület szerkesztését kell elvégeznünk, melyhez minél több adatra van szükség, ezért tételezzük fel, hogy a kimutathatósági határérték alatti minőségű vizekben a koncentráció a határérték fele, azaz 0,05 µg/l volt, amit az ***ADATOK.XLS*** állomány külön oszlopába írjunk be.
3. Határozzuk meg a koncentráció-eloszlást és a telített vízoszlop-magasság izovonalas térképét a természetes szomszéd módszerrel, elkészítve a területre a grid állományt a **Grid → Data** paranccsal (85. ábra) a területet lefedő 5x5 m osztású rácshálóra, az EOV Y= 550000-550500 és az EOV X=200000-200300 tartományra (***BENZKONC.GRD*** és ***TELVAST.GRD,***86. ábra). A szennyezőanyag M tömegét a következőképpen számíthatjuk:

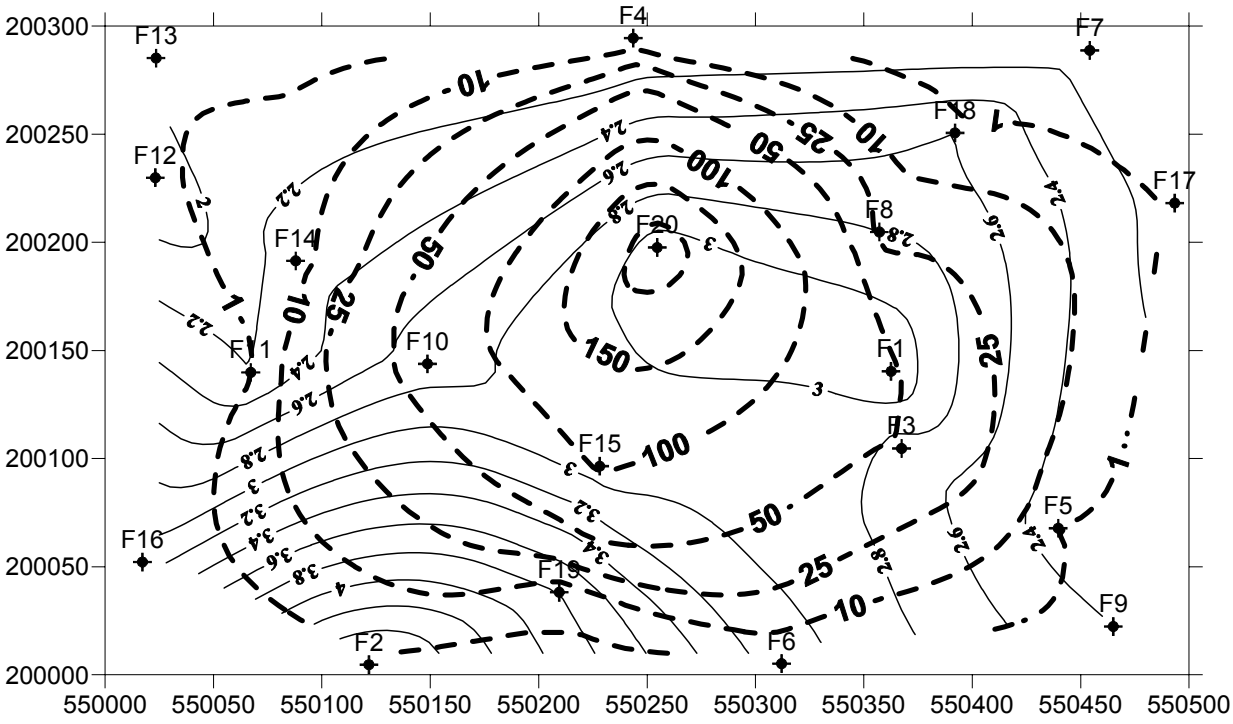
$$M = \int c \cdot h_0 \cdot n_0 \cdot dxdy\,, \qquad (12.13.)$$

ahol c a koncentráció, h_0 a telített vízoszlop magassága és n_0 a szabad hézagtérfogat.
4. A megoldáshoz képezzük a két eloszlás szorzatát, és szorozzuk be a területen állandónak tekinthető szabad hézagtérfogattal (n_0=0,15) a **Grid → Math** parancs segítségével (87. ábra). A kapott állomány neve legyen ***BENZMENNY.GRD***.
5. Számítsuk ki a **Grid → Volume** paranccsal a z=0 és a ***BENZMENNY.GRD*** állomány által kijelölt felületek közötti térfogatot! A kapott térfogat adja a talajvízben található teljes benzol mennyiségét µg/l · m^3, azaz mg/m^3 · m^3 vagyis mg mértékegységben. A jelentést a ***BENZOLMENNYISÉG_TALAJVIZBEN.RTF*** állományba mentettük!



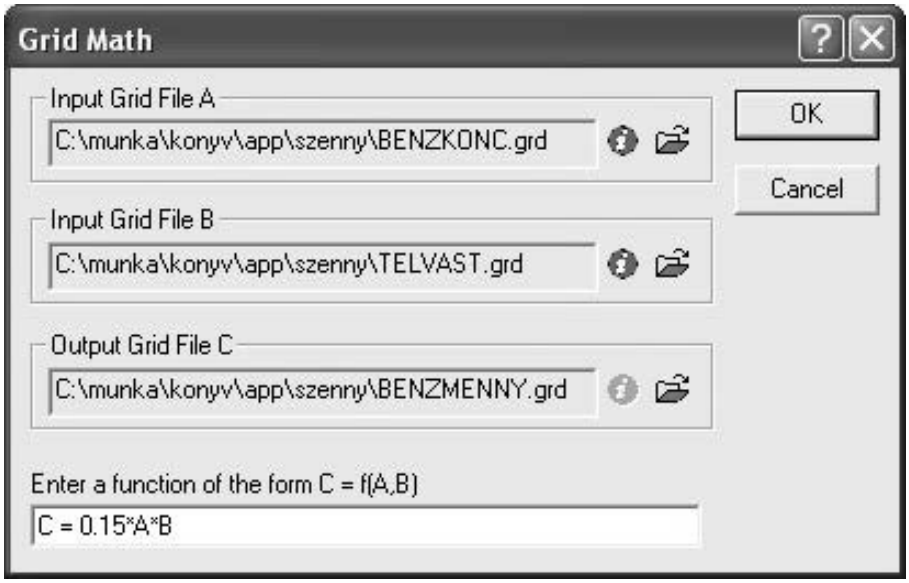
85. ábra

A benzol-koncentrációk és a telített vízoszlop magasság eloszlásának számítása



86. ábra

A benzolkoncentráció ([µg/l], szaggatott vonal) és a telített vízoszlopmagasság ([m], folytonos vonal) izovonalas térképei



87. ábra

A benzolmennyiségre jellemző „felület” számítása

Eredmények: A számítás szerint a teljes „térfogat” 2060000 egységnyi, azaz a szennyezőanyag mennyisége 2060000 mg, vagyis 2060 kg. Feltételezve, hogy a benzol sűrűsége 880 kg/m^3, a talajvízbe jutott benzolmennyiség 2340 liter.

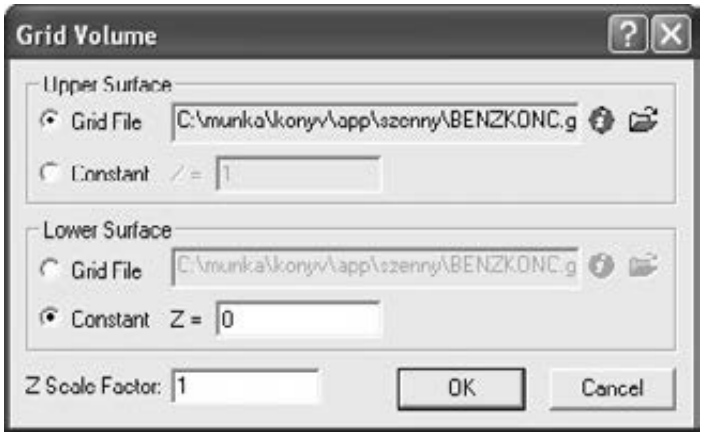
Határozzuk meg a területen az átlagos benzolkoncentrációt. Ehhez tudnunk kell a terület nagyságát, illetve az ott található benzol mennyiségét.

$$\bar{c} = \frac{\int c \cdot h_0 \cdot dxdy}{F}, \qquad (12.14.)$$

ahol $\bar{c}$ az átlagkoncentráció és F a vizsgált terület nagysága.

A képletben a számlálóban szereplő tagot számítani tudjuk a **Grid → Volume** paranccsal (88. ábra) a z=0 és a ***BENZKONC.GRD*** állomány által kijelölt felületek között térfogatként, és a nevezőben található területet is megkapjuk a számítás során (***Positive Planar Area***). Végezzük el a számítást és mentsük a jelentést a ***ÁTLAGBENZOLKONC_TALAJVIZBEN.RTF*** állományba!

Eredmények: A „térfogat": $4{,}81 \cdot 10^6$ mg/m^3 · m^2, a felület 118900 m^2, ami alapján az átlagos koncentráció a teljes vizsgált területen (a szélső fúrási pontok által határolt területen belül) 40,4 mg/m^3 = 40,4 μg/l. Ez utóbbi már vizuális becsléssel ellenőrizhető: a térképre tekintve a 40 μg/l átlagos benzolkoncentráció elfogadhatónak tűnik.



88. ábra
„Térfogatszámítás" átlag-koncentrációk számításához

12.4.1.4. Szennyezett terület nagyságának meghatározása (\app\szenny könyvtár)

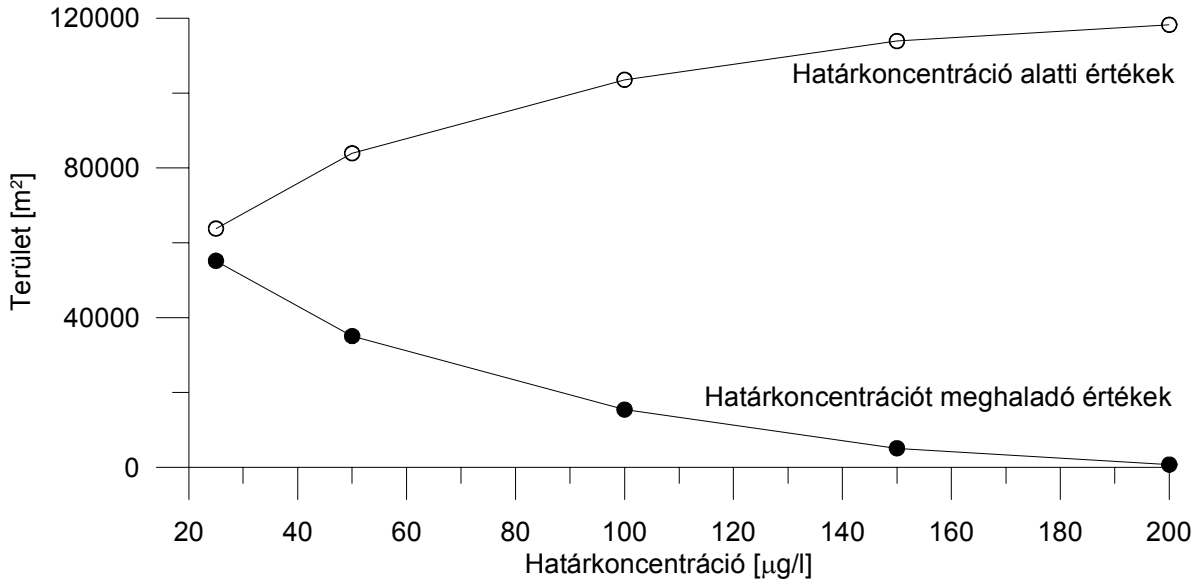
A térfogat- és felületszámító algoritmus alkalmas egy adott koncentrációnál szennyezettebb területrész nagyságának meghatározására is. Kiindulva az előző fejezetben meghatározott benzolkoncentráció-eloszlásból, határozzuk meg, hogy mekkora területrészen magasabb a koncentráció 25, 50, 100, 150 és 200 μg/l-nél.

A térfogatszámítás során nemcsak térfogatokat, hanem felületeket is számít a program. A felületek lehetnek a térfelület mentén mértek, vagy azok síkvetületei (12.2.8. fejezet). A rendszer pozitív síkvetületnek (**Positive Planar Area**) hívja azt a területrészt, ahol a két megadott felület közül az előbb definiált van magasabban (két koncentráció-eloszlás esetén, ahol nagyobb a koncentráció) és negatívnak, ahol fordítva. A ***BENZKONC.GRD*** állomány által leírt koncentráció-eloszlásokat vessük hát össze a c(z)=25, 50, 100, 150 és 200 vízszintes síkfelületekkel a **Grid → Volume** parancsot használva. A kapott jelentéseket mentsük el a ***BENZOLKONC_XXXFELETT.RTF*** állományba, ahol XXX a viszonyítási koncentrációk értéke.

A kapott értékeket (89. ábra) az alábbi táblázat foglalja össze:

12.2. táblázat

Szennyezett területek számítása		
Koncentráció [μg/l]	Terület, ahol ennél magasabb [m^2]	Terület, ahol ennél alacsonyabb [m^2]
25	55160	63780
50	35050	83890
100	15400	103540
150	5055	113885
200	700	118240



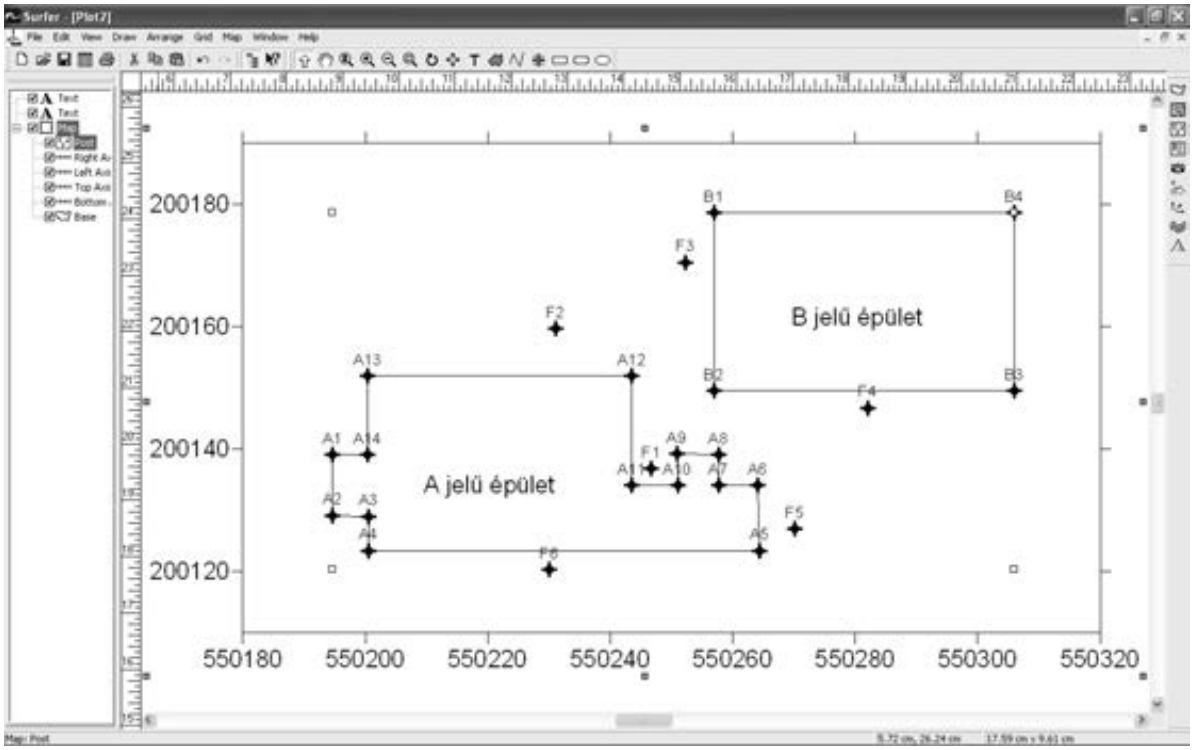
89. ábra
Adott koncentrációt meghaladó mértékben szennyezett terület változása

12.4.2. Surfer DXF alaptérkép gyártása Processing MODFLOWban történő alkalmazáshoz (\app\dxfgyartas)

A modellezés során alapvető térképi elemek átvitele a Processing MODFLOW környezetbe elengedhetetlen. Lehetőség van fontosabb tájékozódási pontok (utak, települések, tavak, stb.) átvitelére, de szükség lehet fúrási pontok vagy kútadatok megjelenítésére is. A megjelenítésre alapvetően DXF állományokat javaslunk alkalmazni, mert ezeket sok program ismeri, így a kétirányú adatátvitel (PMbe és PMből) általában egyszerűen biztosítható.

A DXF állományok megjelenítését az I. kötet 8.4. fejezetében a Munkakörnyezet beállítása cím alatt tárgyaltuk. Ebben a fejezetben azt mutatjuk be, hogy hogyan lehet olyan DXF állományokat a Surfer segítségével előállítani, melyeket azután a Processing MODFLOW fogadni tud.

Legyen a példánkban két épület, mely köré 6 db mentesítőkutat terveznek telepíteni (***ADATOK.XLS***, 90. ábra). Az A jelű épület bonyolult szerkezetű, összesen 14 sarokkal rendelkezik, a B jelű épület egy hagyományos csarnoképület 4 db sarokponttal.



90. ábra
A vizsgált térség vázlata

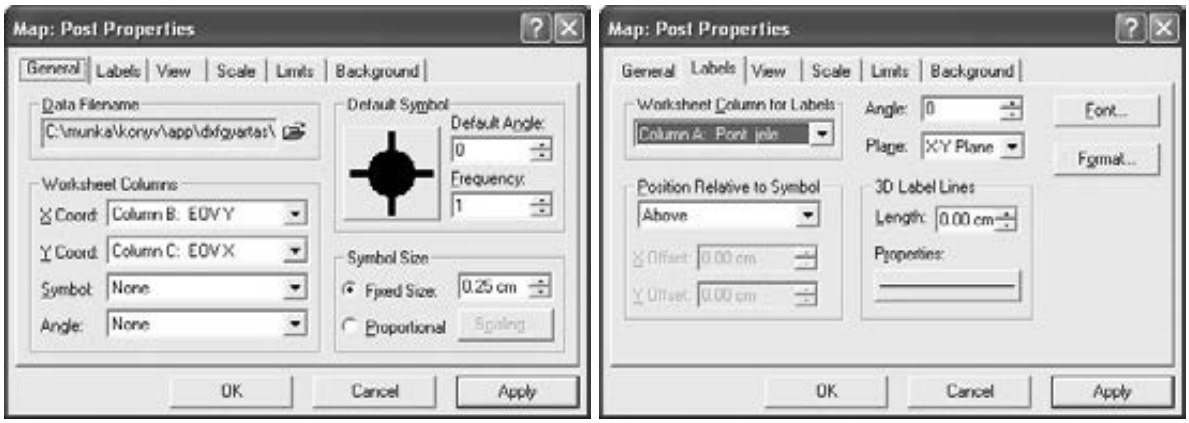
Először az adatállományból állítsunk elő olyan vonalrajz állományt, amivel az épületek körvonalai megrajzolhatók. Használjuk a Golden Software BLN formátumát. A BLN formátum tartalmazza a poligonok töréspontjainak számát, majd a töréspontok koordinátapárjait. Tekintettel arra, hogy zárt alakzatokról van szó, ezért a törésvonalak első és utolsó pontjának meg kell egyezniük, ezáltal a két épület vonalrajza 15, illetve 5 töréspontból áll majd.

1. A szerkesztést legegyszerűbben a Surferben végezhetjük el, megnyitva az alapadat.xls állományt, majd törölve az első nyolc, a fejléceket és kútadatokat tartalmazó sort (sorok kijelölése, majd **Edit → Delete** parancs).
2. Töröljük az A és D oszlopokat is, melyek a pontok jeleit és a megnevezéseket tartalmazzák (oszlopok kijelölése és **Edit → Delete** parancs)!
3. A 15. sort jelöljük ki, és szúrjunk be a meglévő üres sor mellé még egyet (sor kijelölése és **Edit → Insert** parancs)!
4. Állítsunk elő olyan pontsorokat, ahol az első és az utolsó koordinátapár azonos! Ehhez a 15. sorba másoljuk át a második sorban található koordinátákat, és ugyanezt tegyük a 18. sorban található koordinátákkal is, amiket a 22. sorba másolunk (Másolás: a koordináták kijelölése, majd **Edit → Copy** parancs, azután a célcellák kijelölése és **Edit → Paste** parancs).

5. Írjuk be a koordinátapárok darabszámát! Az A1 mezőbe 15-öt, az A17 mezőbe 5-öt írjunk.
6. Mentsük el a kész BLN állományt ***EPULETEK.BLN*** néven (**File → Save As**). A figyelmeztető ablakot, miszerint a BLN állományba történő mentéssel a formátum beállítások (pl. betűtípus, betűméret, stb.) elvesznek, hagyjuk figyelmen kívül (OK gomb megnyomása).

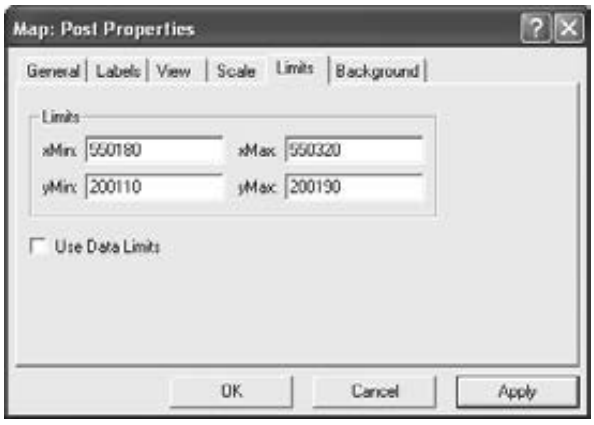
Rajzoljuk ezután meg a már korábban bemutatott térképet (90. ábra)!

7. Nyissunk egy új rajzablakot: **File → New → Plot document** !
8. Rajzoljuk meg az épületek határvonalait: **Map → Base map…**, ahol hívjuk be az ***EPULETEK.BLN*** állományt. A **Blanking Options** figyelmeztető ablakot hagyjuk figyelmen kívül (OK gomb megnyomása).
9. Rajzoljuk meg az adatpontok térképét: **Map → Post map… → New post map…**, az ***ADATOK.XLS*** állomány felhasználásával (91. ábra). Az adatpont térkép tulajdonságainál állítsuk be, hogy az X koordináták a B, az Y koordináták a C, a feliratok az A jelű oszlopban vannak. A tulajdonságok megjelenítéséhez a képernyő bal oldali részén jelöljük ki a **Post** nevű objektumot, majd kettős klikkeléssel nyissuk meg a tulajdonság-ablakot.



91. ábra
Az adatpont-térképek tulajdonságai

10. Állítsuk be a térkép határait a 92. ábra szerint!
11. Fektessük egymásra a két fedvényt, amihez először jelöljük ki mindkét objektumot (**Edit → Select All**), majd egyesítsük azokat (**Map → Overlay Maps**)!
12. A térképre írjuk fel az épületek nevét! **Draw → Text** parancs hatására a kurzor alakja megváltozik és a térképen a szöveg helyére klikkelve, egy dialógusablakban adhatjuk meg a szöveget és tulajdonságait. Írjuk be, hogy „A jelű épület” és „B jelű épület” a megfelelő helyekre!



92. ábra
A térkép határainak beállítása

A térképet próbáljuk meg DXF formátumba exportálni. Ehhez a következőket jó tudni:

- A Processing MODFLOW csak AutoCAD 13 verzió előtti DXF formátumokat és kizárólag ASCII szöveg-alakban képes importálni!
- A DXF állományt célszerű minél kisebbre készíteni, mert azt minden képernyőváltáskor a modellező program beolvassa, amikor kirajzolja. Ha túl nagy a DXF állomány, akkor a rajzolásra akár 20-30 másodpercet is várni kell, ami nagyon lelassítja a munkát. A DXF állomány a vonalakat kevés információ segítségével tárolja, azonban a betűket, főképpen, ha azok speciális fontokkal, pl. árnyékolt vagy speciálisan kitöltött betűkkel készültek, apró vonalak ezreivel készíti el, ami igen helyigényes. Sokszor a betűk felületének kitöltését is sűrűn egymás mellé írt vonalakkal oldja meg, ami kevés információ esetén is hatalmas állományokat eredményez. Ennek érdekében mindig használjunk egyszerű, vonalszerű fontokat, pl. Arial vagy a Surfer GS típusú fontjai.
- Amennyiben mégis nagy DXF állománnyal dolgozunk, két lehetőségünk van: vagy megszakítjuk a DXF kirajzolását egy ESC gomb lenyomásával (a rajzolás közben a PMWin a képernyő bal alsó részén felirattal közli a megszakítás lehetőségét) vagy az **Options → Maps** parancsnál minden olyan esetben, amikor felesleges a vonalrajz, kikapcsoljuk a láthatóságot.
- A DXF önmagában nem kezeli tökéletesen a magyar ékezetes betűket. A program a nem ismert betűk helyét kihagyja. Ilyen esetben van lehetőség arra, hogy a betűket egyesével, kitöltött poligononként rajzoljuk meg.
- A DXF állományba kizárólag a SURFERben helyhez rendelt objektumokat célszerű átvinni… A példánkban a térképi fedvények EOV koordinátákhoz kötöttek, míg a két felirat a lapi koordináta-rendszerhez kötött (a gép azt „tudja”, hogy a felirat a bal alsó saroktól jobbra és felfelé mekkora távolságban van!). Az ilyen vegyes állományokat a Surfer automatikusan lapkoordinátákban írja ki DXF formátumba, azaz ekkor az EOV koordináták elvesznek! Ezt el kell kerülni úgy, hogy csak a térképi fedvényeket kell exportálni a DXF állományba, ezzel a feliratok elvesznek… Ha szükségesek a feliratok, akkor

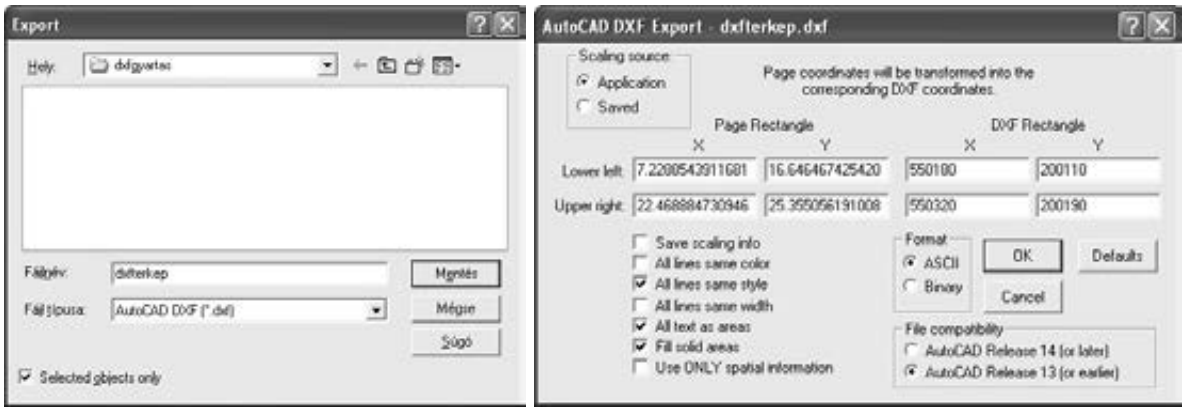
azokat EOV koordináta rendszerhez illesztve, jelölőszimbólum nélküli adatpont (Post)-térképpel lehet megvalósítani, amit már át lehet vinni az EOV helyes DXF állományba.

Ezután készítsük el a DXF állományt!

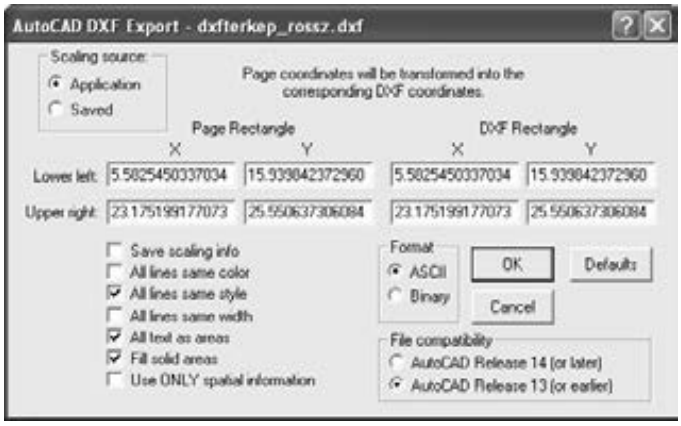
13. Először tegyük láthatatlanná a tengelyeket, ezáltal a felesleges számokat és vonalakat nem rajzoltatjuk ki, ezzel csökkentve az állomány méretét. Ehhez az objektumoknál a négy tengely (***Right, Left, Top*** és ***Bottom Axis***) melletti pipát klikkeléssel töröljük ki!
14. Jelöljük ki a térkép (***Map***) objektumot a képernyő bal oldalán egy klikkeléssel úgy, hogy a két szöveg (***Text***) objektum ne legyen kijelölve!
15. Válasszuk a **File → Export** parancsot! A **File típusa** legördülő menüben válasszuk az ***AutoCAD DXF (*.dxf)*** formátumot és adjunk nevet az állománynak (***DXFTERKEP.DXF***). Adjuk meg, hogy a kiválasztott térképi objektumot a fedvényeivel együtt szeretnénk exportálni (***Selected objects only*** mező kipipálása). Ezzel biztosítjuk, hogy az EOV koordináta-rendszerben történjék a file kiírása.
16. Ezután megjelenik az **AutoCAD DXF Export** dialógusablak (93. ábra), aminél a következőkre érdemes figyelni. A ***Page Rectangle*** mező sorolja fel a program az exportálandó objektumok határait „lapi koordinátákban". A ***DXF Rectangle*** mezőben ugyanezen határok exportált koordinátái szerepelnek, ahol az EOV koordinátákat kell látnunk! Ha nem így van, akkor nem jelöltük ki a térképi objektumot vagy nem állítottuk be a ***Selected objects only*** mezőt. Ekkor a kétszer négy szám azonossá válik (94. ábra): az így kapott állományt ***DXFTERKEP_ROSSZ.DXF*** néven mentettük el tanulságképpen. A ***Scaling Source*** mezőt ***Application***-ra, a formátumot ***ASCII***-ra, a ***File Compatibility*** mezőt ***AutoCAD DXF 13 (or earlier)***-re kell állítani a korábban említettek miatt. Magyar ékezetes betűk esetén célszerű az ***All text as areas*** mezőt kipipálni, ezáltal a betűket poligonokkal kirajzoltatni. Sok szöveg esetén ez meggondolandó. Mivel a PMWin mindent azonos típusú vonallal rajzol ki ezért a többi mező beállításának itt nincs jelentősége.
17. Az elkészített DXF állomány ezután behívható a PMWin rendszerbe az editor-ablakban az **Options → Maps** paranccsal.

12.4.3. DXF és DWG állományok konvertálása Processing MODFLOWban történő alkalmazáshoz

Az AUTOCAD DXF formátum folyamatosan fejlődik, újabb és újabb képességekkel ruházzák fel, azonban ezek az újabb képességek a különböző verziószámú programok inkompatibilitását eredményezték. Ennek megfelelően, ha egy DXF állomány nem jelenik meg a modellező környezetben, annak több oka lehet, melyek közül érdemes kipróbálni azt is, hogy az állományt egy korábbi AUTOCAD DXF formátumba konvertáljuk, majd újra megkísérelük az állományt behívni a modellező rendszerbe.



93. ábra
AutoCAD DXF állomány exportálása



94. ábra
Rosszul (EOV koordináta-vesztéssel) exportált DXF állomány

Tegyük ezt akkor is, ha a szoftver nem küldött hibaüzenetet, azaz szabályosan beolvasta az állományt, de mégsem jelenítette meg azt.

Ha nem jelenik meg a képernyőn az állomány, akkor a legvalószínűbb hiba az, hogy a DXF állomány által kirajzolt tartomány és a képernyőn a modellben ábrázolt területrész nincs egymással fedésben. A hiba lehet triviális pl. az egyik esetben az X tengelyre került az EOV X koordináta, a másikban pedig az Y tengelyre, de lehet beállítási probléma is (a ***Grid Editor*** ablakban **Options → Environment** parancs **Coordinate System** lap).

Az ellenőrzéshez a DXF állomány által lefedett koordináta tartományt a legegyszerűbben a Surferbe való beolvasással lehet megnézni. A beolvasást követően a tengelyfeliratok mutatják a DXF állományban tárolt koordináták nagyságát. Amennyiben a DXF állományon ábrázolt térrész legalább részben átfedésben van a ***Grid Editor*** ablakban **Options → Environment** parancs **Coordinate System** lapján az X1, Y1, X2, Y2 koordinátákkal lefedett térrésszel, akkor a beállítások jók, azaz a hiba nem itt keresendő. Ebben az esetben nagyon valószínű, hogy a DXF állomány olyan bejegyzéseket (Entites) tartalmaz, amit a szoftver nem tud értelmezni, ekkor a megfelelő formátumúra kell alakítani (konvertálni kell) a DXF állományt.

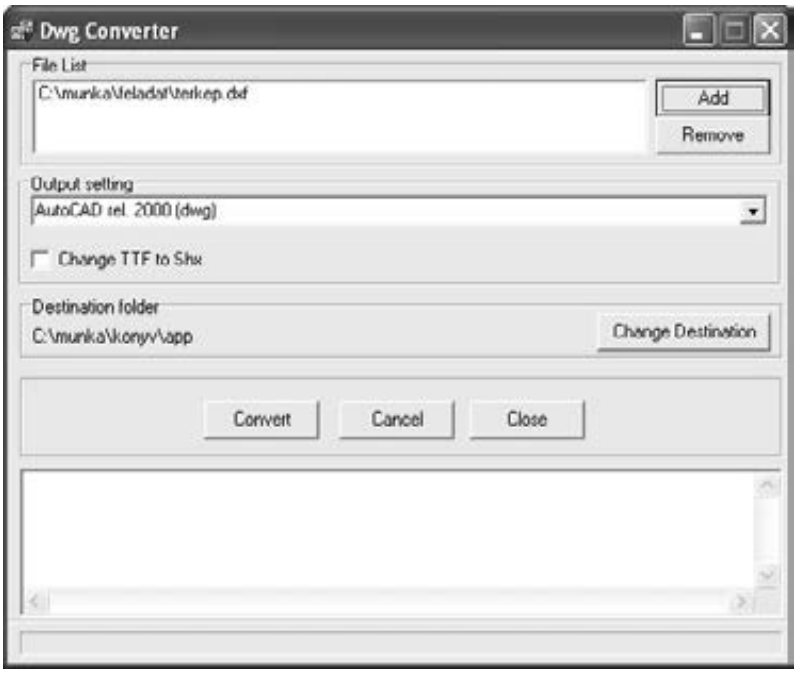
12.4.3.1. Konvertálás Surferrel DXF-ről DXF-re

A konvertálás legegyszerűbb módja, ha beolvassuk az állományt a Surferbe a **Map → Base Map** paranccsal, majd az előző fejezetben bemutatott módon – a most már megfelelő formátumú állományt – egy másik nevű állományba exportáljuk. Az új állományt, ha jól csináltunk mindent, a Processing MODFLOW olvasni és értelmezni fogja.

12.4.3.2. Konvertálás DWG Converter programmal AutoCAD DXF és DWG formátumokról a Processing MODFLOW által értelmezhető DXF-formátumba

A szoftverpiacon számos DWG-DXF konverter program található. Mi egy olyan freeware programot ajánlunk használni, melynek használata igen egyszerű, mondhatni triviális. A program ingyenesen használható, de ennek ellenére nagy tudású. A DWG Converter nevű programok közül azt kell letölteni, aminek alkotója EDWIN GIEZEMAN (2000), és ami a leírás szerint „Michael John Smyth of The Drafting Shop" ötletén alapul. A program egy 1 MB alatti ZIP tömörítésű állományban (***CONVERT.ZIP***) tölthető le több szerveroldalról (saját honlapja nincs!). Célszerű a DXF, DWG, convert szavakra és az alkotó nevére keresni és előbb-utóbb megtaláljuk a keresett állományt a világhálón.

A program telepítő nélkül indul (***CONVERT.EXE***) és a 95. ábra szerinti ablakkal dolgozik.

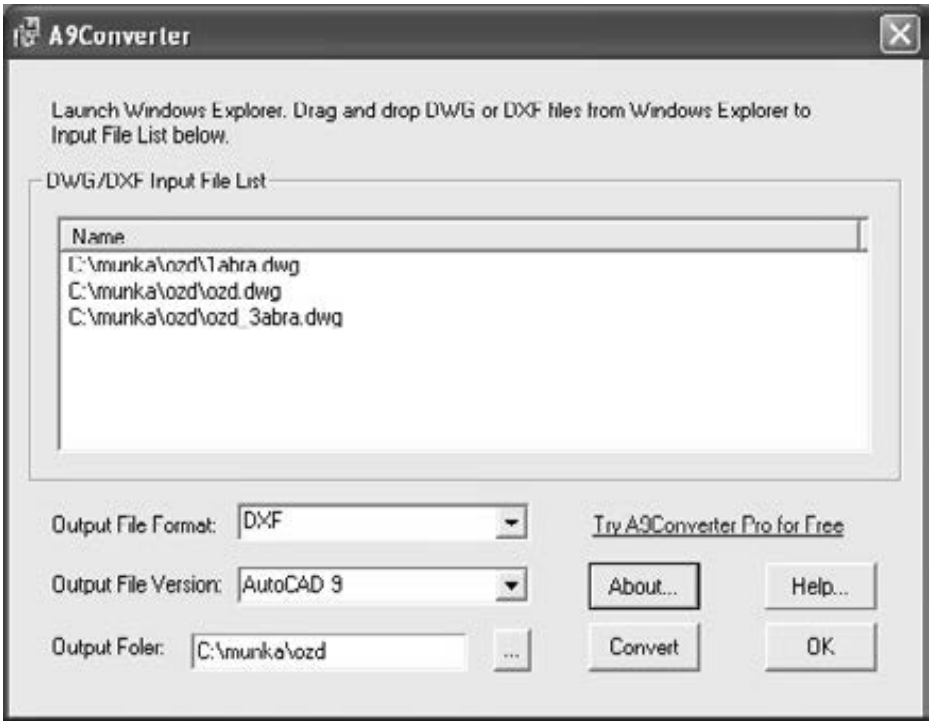


95. ábra
A Dwg Converter program

A program futtatásához a ***File List*** mezőben meg kell adni a konvertálandó állományokat, melyek szinte valamennyi mostani és korábbi AutoCAD programmal készülhettek. Az állományokat az **Add** gombbal a listára felvenni, a **Remove** gombbal eltávolítani lehet. Az ***Output Setting*** mezőben kell kiválasztani a készítendő állo-

mány formátumát: általában az AutoCAD release 9, 11 vagy 12 formátumokat szoktuk használni. A ***Destination Folder*** mezőben állítandó be az a könyvtár, ahova a készített állományokat a program elmenti, ezt megváltoztatni a **Change Destination** gombbal lehet. A **Convert** gombbal megtörténik a kijelölt állományok konverziója a megadott formátumra. A **Cancel** és **Close** gombokkal megszakíthatjuk a futást és bezárhatjuk a programot.

A Dwg Converter egy remek program, de sajnos egyelőre a frissítése nem készült el, ezért a legújabb AutoCAD állományokkal nem tud megbírkózni. Az AutoCAD 2004-2006 verziók konvertálására a szintén ingyenes A9Converter program használatát ajánljuk. A programot a www.a9tech.com honlapról is letölthetjük, de megtalálható letöltőszervereken is. A működése egyszerű, a ***DWG/DXF Input File List*** mezőbe egérrel „áthúzzuk" a konvertálandó állományokat, majd megadjuk a kimeneti formátumot (***Output File Format***: ***DWG*** vagy ***DXF***), és a mentett állomány programverzióját (***Output File Version***). A Convert gomb megnyomására elkészülnek a megadott állományok.

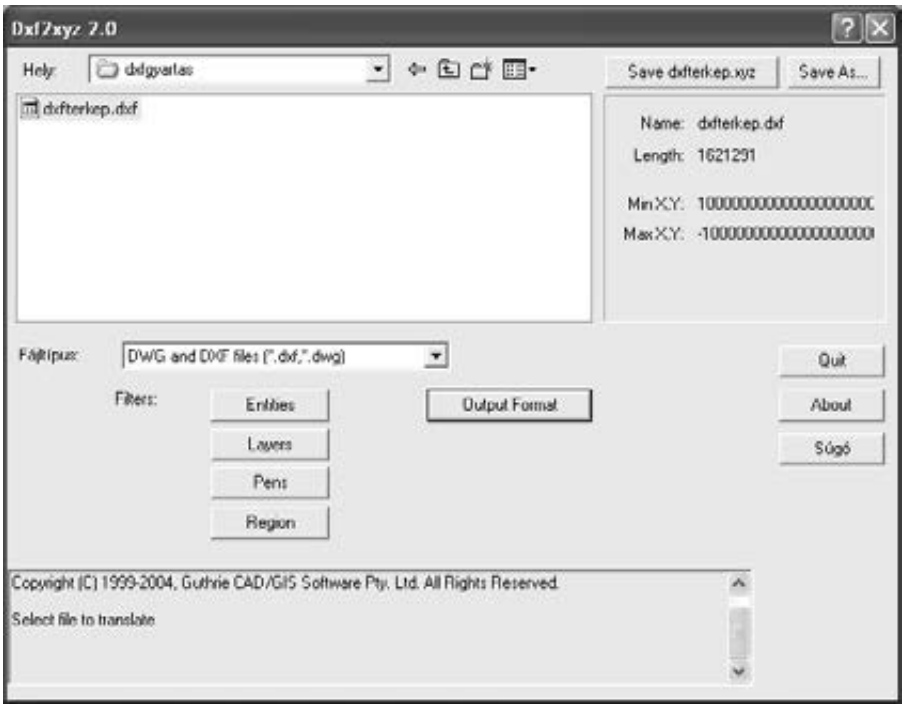


96. ábra
AutoCAD állományok konvertálása az A9Converter programmal

12.4.4. DXF állományokban tárolt xyz koordináták kinyerése

A DXF állományok Surferben történő használatának hasznos segédeszköze a DXF2XYZ nevű freeware program, amit a GUTHRIE CAD/GIS LTD. nevű ausztrál cég fejleszt, és letölthető a http://www.guthcad.com.au honlapról. A program telepítése a ***SETUPDZ.EXE*** állomány futtatásával történik.

A program képes DXF állományokból a töréspontok koordinátáinak visszafejtésére, amennyiben ezek mellett a z irányú koordináta is tárolt, akkor azok kigyűjtésére és a DXF állományok Golden Software BLN formátumba történő elmentésére is.



97. ábra
A DXF2XYZ program nyitóablaka

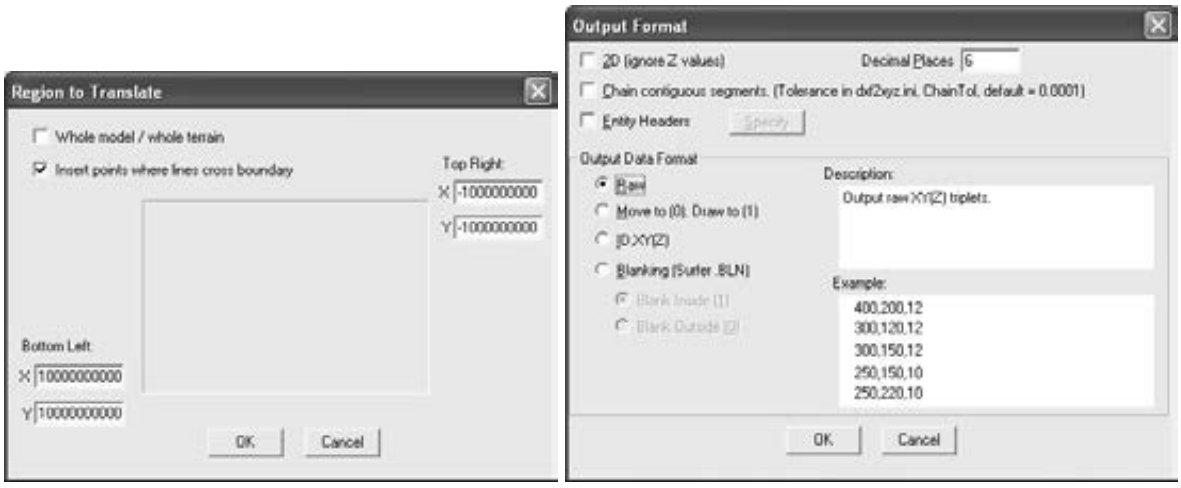
A program felépítése itt is egyszerű (97. ábra): A konvertálandó DWG vagy DXF állományt az ablak bal felső részében a Windows konvencióknak megfelelően kell kiválasztani. A ***Filters*** mezőben található gombok ötletes használatával a rajzolandó állomány méretét radikálisan lehet csökkenteni. A fájl felépítését ismerve lehetőség van az AutoCAD egyes objektumcsoportjainak (**Entities**), fedvényeinek (**Layers**), illetve rajzoló tollainak (**Pens**) kikapcsolására, vagy egyes részterületek (**Region**) kiválasztására (98. ábra). Ez utóbbi alkalmas egy nagy területet lefedő rajzból egy a modellnek megfelelő kisebb, ezért méretben is kisebb állományba való rajzolásához. Az Output Format gomb a kimeneti formátum megadására alkalmas (98. ábra).

A **Raw** formátum egyszerűen kiírja a megtalált térbeli pontok xyz koordinátáit vesszőkkel elválasztva. Az **ID XY(Z)** formátumnál az egyes elemek koordinátái elé a programban tárolt azonosítójuk is kiírásra kerül. A **Blanking (Surfer .BLN)** opcióval a konvertálás az említett formátumra történik. A kiíratás a ***Decimal Places*** mezőben megadott számú tizedesjegyekkel történhet. Ha a ***2D (ignore Z values)*** mezőt bejelöljük, akkor a program csak az XY koordinátákat írja ki.

A konvertálás a **Save XXXXXXX.EXT** gombbal vagy a **Save As** gombbal történik, ez utóbbi esetén az állomány nevét a felhasználó adhatja meg.

12.4.5. Térképi adatok átvitele a Processing MODFLOWba (\app\srf2pm5 könyvtár)

A munkánk során sokszor találkozhatunk azzal, hogy egy kész paraméter-eloszlás adatait kell (vagy sokszor lenne célszerű) a Processing MODFLOW modellben használnunk. Ilyen helyzet áll elő például, ha Surferrel elkészítettük



98. ábra

A DXF2XYZ kimeneti formátumának és a kivágatának megadása

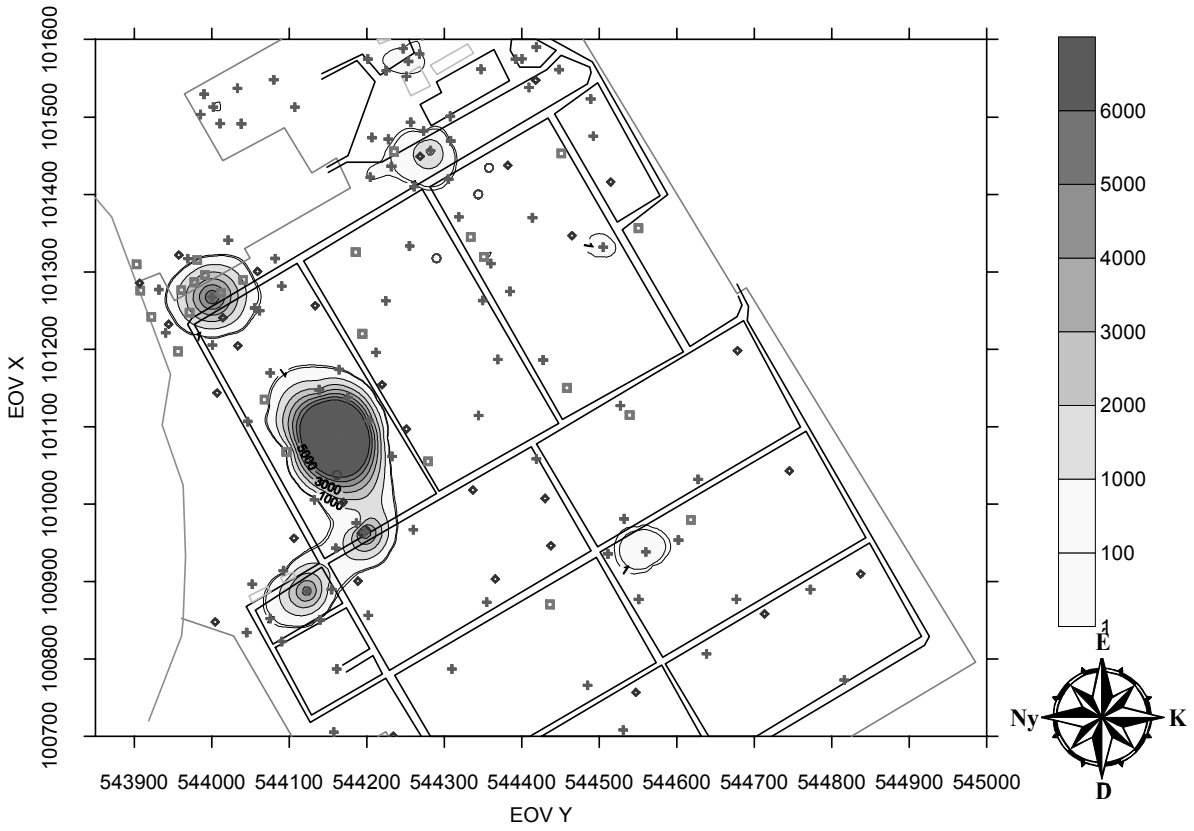
- a rétegek fedő és feküszintvonalas térképeit,
- a horizontális és vertikális szivárgási tényező-térképeket vagy a szabad hézagtérfogat-eloszlás térképét,
- a beszivárgás területi eloszlását jellemző térképeket,
- a folyók vízszintjeinek térképét,
- a szennyező komponensek adott időpontban jellemző koncentráció térképét,
- stb..

és ezeket a paraméter-eloszlásokat kívánjuk a modellszámítások során használni.

Az említett a térképeket több céllal szerkesztjük meg: egyrészt ezek a térképek támogatják a modellszámításokat, a megelőző munkák során (pl. egy környezeti állapotfelmérés folyamán) a döntéseinket, másrészt felhasználhatjuk azokat a készülő modell dokumentálásához, ezáltal a modell adatrendszer bemutatásához is.

Sajnos a Surfer és a MODFLOW kompatibilitása az eltérő felhasználói célok miatt korlátozott, ezért egy a gyakorlatban bevált eljárást a térképek PM rendszerbe történő átvitelére a következőkben mutatunk be.

Adott egy szennyezett terület, ahol a szennyezőanyag koncentrációját fúrásos vízmintavételezéssel és akkreditált laboratóriumban történt kémiai elemzéssel tárták fel, majd ebből megszerkesztették Surferrel a koncentráció eloszlás térképét (99. ábra). A munka során kihasználták a Surfer sokoldalú interpolációs és térfelület szerkesztő sajátságait, ugyanakkor a Surfer korlátainak megfelelően egy ÉD-KNy oldalúan tájolt térrészre, oldalanként egyenközű rácsháló segítségével rajzolták meg a koncentráció térképeket.

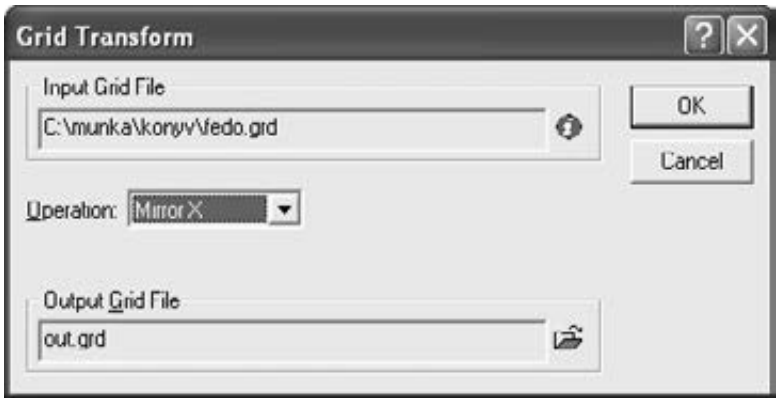


99. ábra
A szennyező-komponens koncentráció-eloszlása [µg/l]

A Processing MODFLOW környezetben készült modell ezzel szemben egy általános (nem ÉD-i) tájolású térrészt ábrázol, ráadásul a rácsháló a távlati tervek szerint változó elemeloszlású lesz. A munka első fázisában a jelenlegi koncentráció-eloszlás természetes tovaterjedését még egy egyenközű rácshálóval vizsgáljuk, azonban a feltételezhetően szükségessé váló víztermeléshez kötött kármentesítés hatásának modellezését a tervezett kutak és szivárgók környezetében történő sűrítéssel előállított rácshálós modellel kívánjuk a későbbiekben vizsgálni.

Itt jegyezzük meg, hogy a PMWin környezet elvben képes ASCII GRD állományokat a Surferből importálni, azonban a program nem vizsgálja sem a terület orientációját, sem a rácsháló osztását. A beolvasás során egyszerűen az első (egyben alsó) sor bal oldali rácspontjára Surferrel számított értéket hozzárendeli az 1,1 koordinátájú cellához, a második értéket az 1,2 koordinátájúhoz és így tovább. Ennek hatására a modellben sokszor X tengelyre tükrözötten és irányban változóan torzítottan jelenik meg a paraméter eloszlása. A tükörkép megjelenésének az az oka, hogy a Surfer 1,1 koordinátájú rácshálópontja a bal alsó sarokban, a PMWin első cellája a bal felső sarokban található. A PM GRD beolvasó rutinját változtatták, egyes verziók esetén fellép az X tengelyre történő tükrözés, máshol nem.

Amennyiben a GRD állomány beolvasásának csak a tükrözés volna az akadálya, akkor azt megtehetjük a Surferben a **Grid →Transform** paranccsal, ahol a tükrözendő állomány nevének beadása után a dialógusablakban az ***Operation*** mezőben válasszuk a ***Mirror X*** (X tengelyre való tükrözés) opciót (100. ábra).

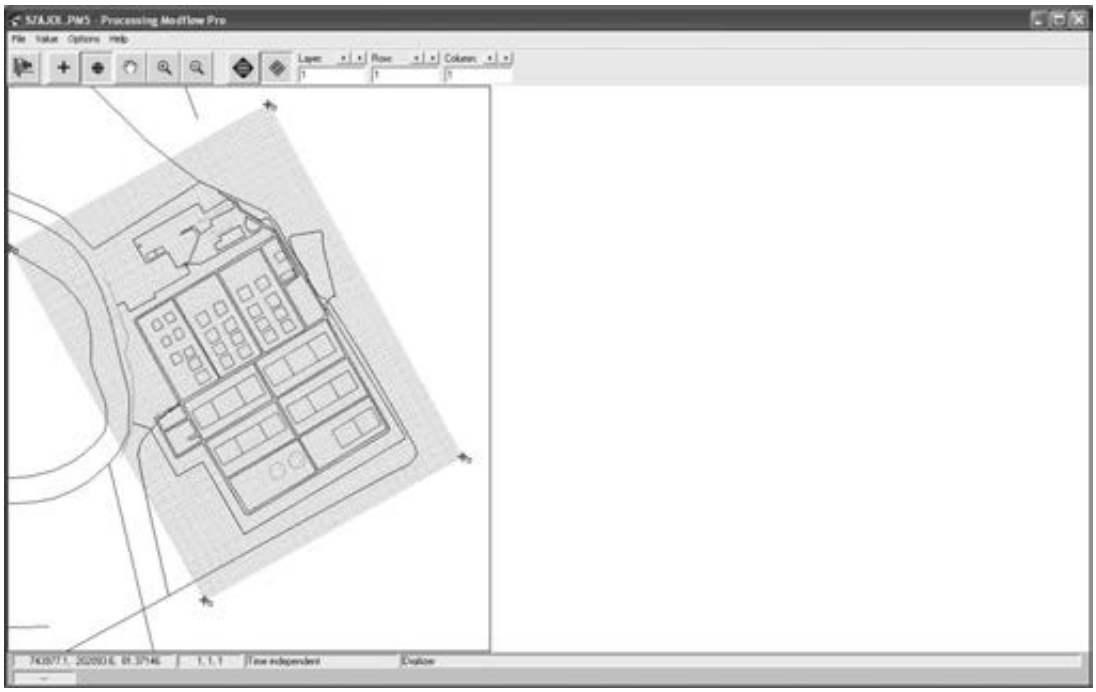


100. ábra
A gridállomány tükrözése Surferrel

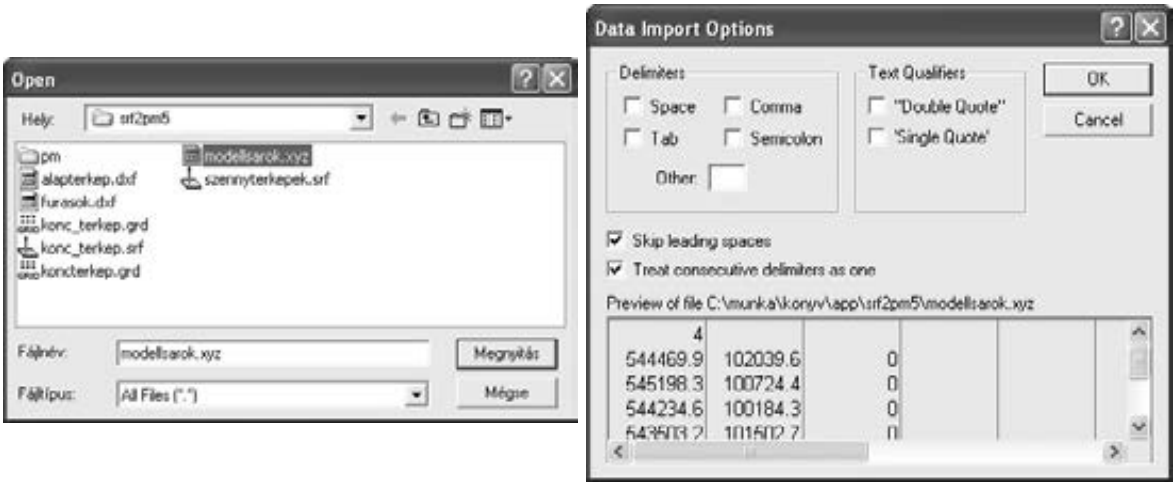
A Surfer ASCII GRD beolvasását csak abban az esetben szabad elvégezni, ha a modell É-D i tájolású és olyan egyenközű rácshálóval készített, amelynek középpontjára esik a Surfer Grid rácsvonala.

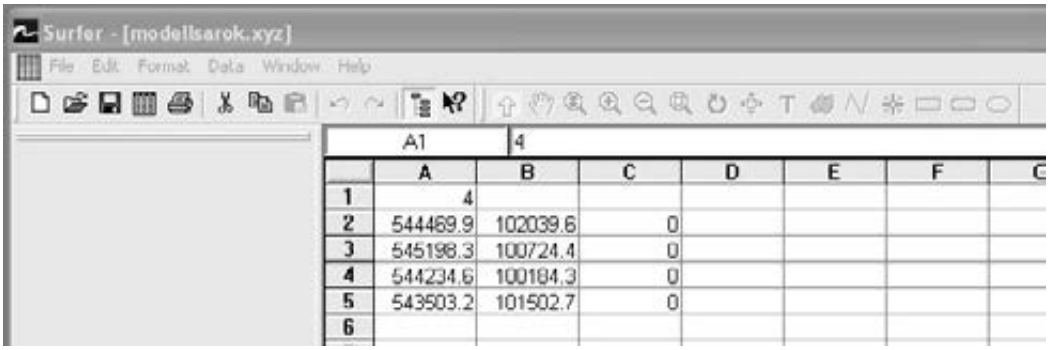
Visszatérve az alapfeladathoz végezzük el a koncentrációtérkép adatainak a PM környezetbe való átvitelét: Az adatátvitel X, Y, Z adatpontok átvitelén alapul, azonban a Surfer grid állomány rengeteg, a modellezett területen kívül található adatpontot is tartalmazhat. Ennek érdekében először kiválasztjuk és kitöröljük a grid állomány modellezett térrészen kívüli pontjait, majd csak a modellezett területen belül található pontokat exportáljuk további felhasználásra.

1. Nyissuk meg az ***\APP\SRF2PM5\PM\M1.PM5*** modellt!
2. Az általánosan tájolt modell határát általában pontosan nem tudjuk, ilyenkor célszerű a PM **Tools → Digitizer** parancsával meghatározni a sarokpontok koordinátáit. Itt a digitalizáló gomb ( ) megnyomása után a modell négy sarkára – tetszőleges irányban körbejárva a területet – kattintva digitalizáljuk a sarokpontokat (101. ábra). A koordinátákat a **Value → Points → Save As** paranccsal mentsük ki ***MODELLSAROK.XYZ*** néven.
3. Nyissuk meg a Surferben a készített XYZ kiterjesztésű fájlt a **File → Open** paranccsal úgy, hogy a ***Fájltípus*** mezőben az összes állományt lássuk (**All Files (*.*),** 102. ábra).
4. A sarokpontokat tartalmazó adatállományból készítsük el a ***HATARONTULTOROL.BLN*** állományt úgy, hogy az adatsort zárt poligonná alakítjuk azzal, hogy a második sorban található koordinátákat a 6. sorba másoljuk át (kijelölés egérrel, **Edit → Copy**, A6 mezőre lépés az egérrel, **Edit → Paste**). Ezután az adatok számát négyről ötre módosítsuk, illetve az B1 mezőbe írjunk 0-t, amivel azt jelezzük, hogy a poligonon kívül töröljük az értékeket. Végül töröljük a C oszlopot (kijelöljük egérrel és delete gomb), majd a kész állományt a korábban említett ***HATARONTULTOROL.BLN*** névre mentjük a **File → Save As** paranccsal.
5. **File → Close** paranccsal zárjuk be a kész BLN állományt tartalmazó ablakot!



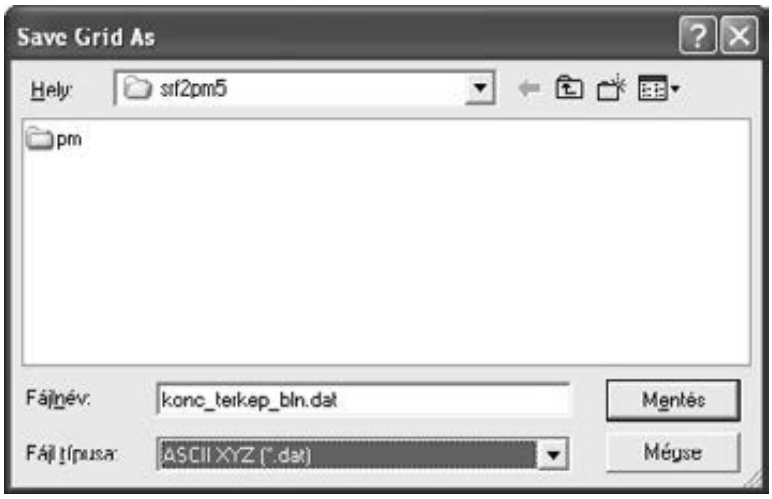
101. ábra
A modell sarokponti koordinátáinak meghatározása a Digitizer paranccsal



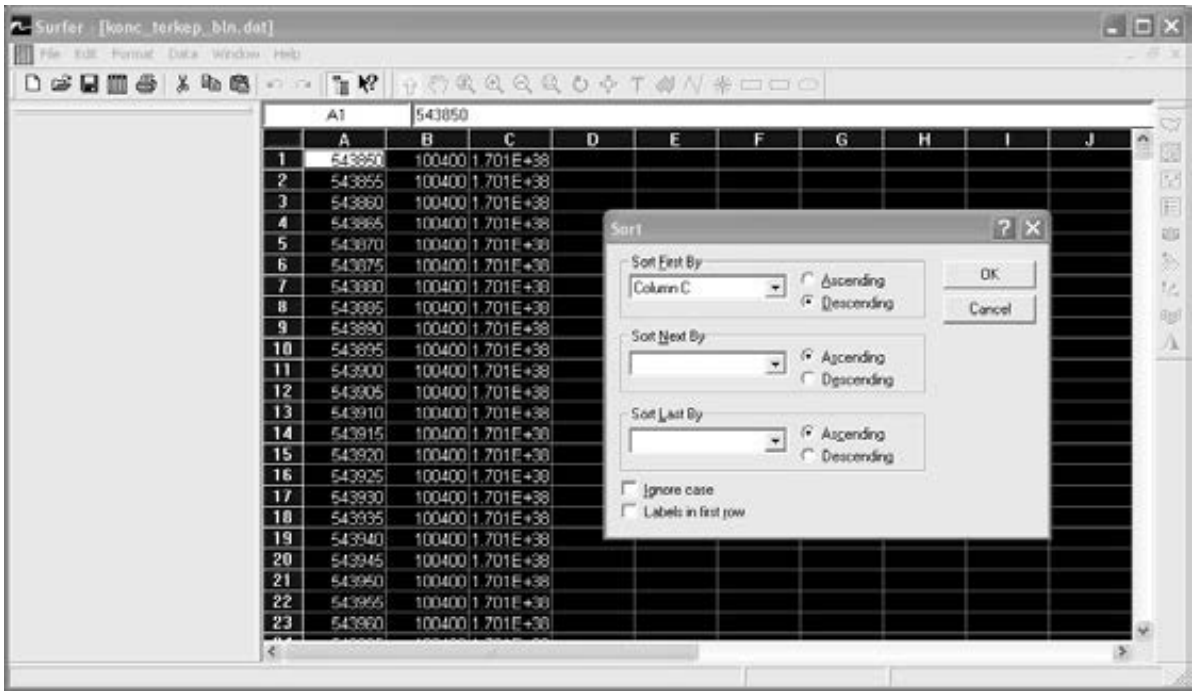


102. ábra
A ***MODELLSAROK.XYZ*** állomány megnyitása a Surferben

6. Töröljük a koncentráció-értékeket tartalmazó állományból a modellen kívül található értékeket! Válasszuk a **Grid → Blank** parancsot, majd törlendő állományként nevezzük meg a korábbi koncentráció-térkép alapját képző ***KONC_TERKEP.GRD*** állományt. A törléshez használjuk a ***HATARONTUL-TOROL.BLN*** állományt és a készülő új gridet nevezzük ***KONC_TERKEP–_BLN.GRD***-nek.
7. Alakítsuk át a kapott, törölt GRD állományt ASCII XYZ adatformátumúvá a **Grid → Convert** paranccsal! A bemeneti állomány ***KONC_TERKEP–_BLN.GRD*** legyen, a készített állomány pedig ***KONC_TERKEP–_BLN.DAT*** (ne feledkezzünk meg kiválasztani a ***Fájl típusa*** mezőben az ***ASCII XYZ (*.DAT)*** formátumot!, 103. ábra). Ezt a lépést ki lehet kerülni azzal, ha az előző lépésnél a kimeneti állomány formátumát ***ASCII XYZ (*.DAT)***-ra változtatjuk! Ekkor a köztes GRD állomány nem készül el.
8. Nyissuk meg a készített adatállományt (**File → Open**), majd töröljük ténylegesen is az adatpontokat. Erre azért van szükség, mert a grid állományból történő törlés nem tényleges törlés, hanem a törölt pontok átírása az ábrázolható legnagyobb értékre (12.2.8. fejezet)! A tényleges törléshez előbb jelöljük ki a teljes adatállományt az A oszlopfelirattól balra, az 1 sorszám felett levő üres mező (gomb) megnyomásával, ekkor a mezők fekete alapszínűvé válnak. Ezután válasszuk a **Data → Sort** parancsot, amivel rendezzük sorba a C oszlop szerint csökkenő sorba az adatokat (***Sort First By: Coloumn C*** és ***Descending*****,** 104. ábra). Jelöljük ki egérrel az első kb. 10530 sort, ahol az adatok C oszlopában az 1.701e+38 értéket látjuk (**Grid → Blank** paranccsal „törölt" pontok!), majd az **Edit → Delete** paranccsal töröljük azokat (***Shift Cells Up*** opcióval). Ne használjuk a delete gombot a klaviatúrán! A megmaradt kb. 54400 pont a modellezett területen található.



103. ábra
A grid állomány konvertálása



104. ábra
Adatok sorbarendezése **Data → Sort** paranccsal

A maradék pontok között azonban lehetnek, és általában vannak is hibás értékek. Az adott állományban például érdemes negatív számokat keresni, mert a megfelelő lehatárolás érdekében célszerű olyan interpolátor megoldást alkalmazni, amelyik 0 izovonal rajzolására is képes, azaz ahol lehetségesek negatív értékek, miközben negatív koncentrációk a valóságban nem lehetségesek.

A C oszlop szerint sorba rendezett állományban látható, hogy a több, mint 54000 értékből alig több, mint 2400 darab pozitív. Ezek az értékek esnek a szennyezett területre a többi érték pedig a szennyezetlen területrészeket írja le.

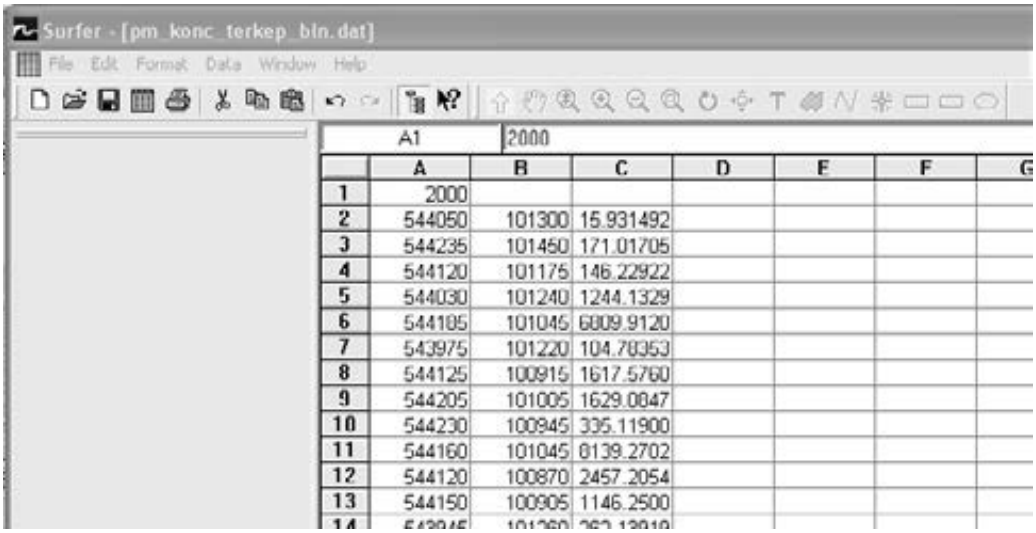
9. Ezek után cseréljük le a negatív értékeket zérusra. Jelöljük ki az egyik oszlopot, majd hajtsuk végre a **Data → Transform** parancsot. Ellenőrizzük, hogy a kezdő és zárósor értéke megfelel az adatállománynak, majd a ***Transform Equation*** mezőbe írjuk be a logikai függvényt: ***D=IF(C<0, 0, C)***, ami annyit jelent, hogyha a C oszlop értéke kisebb, mint 0, akkor a D oszlopba 0-át ír, ha nem, akkor a C oszlopbeli értéket. A D oszlopba ezek után a negatív értékek helyén 0, a többi sorban pedig a korábbi érték jelenik meg. Ezután töröljük a C oszlopot (kijelöljük az egész oszlopot, majd **Edit → Delete** parancs ***Shift Cells Left*** opcióval).
10. A PMWin interpoláló rutinjai verziószámtól függően maximálisan 2000 vagy 5000 értéket tudnak kezelni, ugyanakkor számunkra több, mint 54000 pont áll rendelkezésre, ebből célszerű a legfontosabb 2000 vagy 5000 adatpontot felhasználnunk. Ebben az esetben készítsünk egy olyan 2000 adatpontos állományt, melyben használjuk fel minden második zérusnál nagyobb értéket, hogy minél pontosabban le tudjuk írni a szennyezett területrészeket, és a további pontokkal közel egyenletesen elosztva fedjük le a zérus koncentrációk-

kal jellemezhető területrészeket. A pontok kiválasztása történjen véletlenszerűen, amihez használjuk fel a RANDU egyenletes eloszlású véletlenszám-generátor függvényét a Surfernek.
A most már 0-ra változtatott koncentrációértékeket jelöljük ki a C oszlopban és ismét hajtsuk végre esetünkben a 2429. sortól az 54383. sorig a **Data → Transform** parancsot. A ***Transform Equation*** mezőbe pedig írjuk be, hogy ***D=RANDU(1)***, amivel egy egyenletes eloszlású véletlenszámot generáltunk 0 és 1 között az adott sorokban.
Az első 2428 sorba pedig generáljunk 1 és 2 közötti véletlenszámot (**Data → Transform** parancs, ***Transform Equation***: ***D=1+RANDU(1)***).

11. Jelöljük ki ismét az egész adatsort (mind a négy oszlopot) majd a **Data → Sort** paranccsal rendezzük a D oszlop adatait csökkenő sorrendbe (**Sort First By: Coloumn D** és **Descending**).

12. A kapott adatrendszer első 2428 sorában véletlenszerűen keverve találhatók meg ezután a szennyezett terület koncentrációértékei, a további sorokban pedig szintén véletlenszerűen keverve a nem szennyezett területek zérus koncentrációi. Mivel a szennyezett terület 2428 értéke közül minden másodikat szeretnénk felhasználni, ezért töröljük a adatállomány 1215-2428 sorait, majd a törlés után előállt adatállomány 2000 sort követő sorait is. Végül a D oszlop adatait töröljük az állományból.

13. Az első sorba szúrjunk be egy üres sort, amihez az **Edit → Insert** parancsot használjuk (első sor kijelölése, **Edit → Insert** parancs, **Shift Cells Down** opció). Az A1 mezőbe (az üressé vált sorba) írjuk be az adatok számát: 2000, majd mentsük el az állományt ***PM_KONC_TERKEP_BLN.DAT*** névre.



	A	B	C	D	E	F	G
1	2000						
2	544050	101300	15.931492				
3	544235	101460	171.01705				
4	544120	101175	146.22922				
5	544030	101240	1244.1329				
6	544105	101045	6809.9120				
7	543975	101220	104.78353				
8	544125	100915	1617.5760				
9	544205	101005	1629.0847				
10	544230	100945	335.11900				
11	544160	101045	8139.2702				
12	544120	100870	2457.2054				
13	544150	100905	1146.2500				

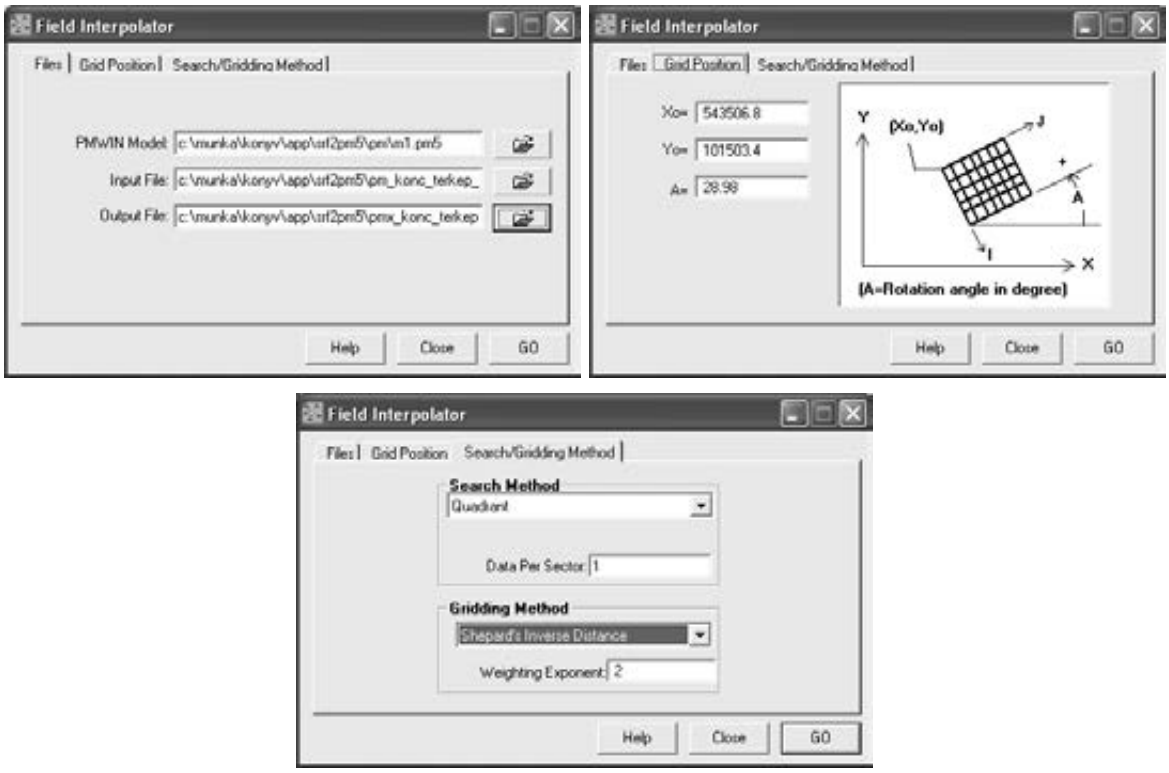
105. ábra
Az elkészített PMWin input állomány

14. A Processing MODFLOWban a koncentráció-eloszlást a 2000 ponttal leírt térfelület jellemzi (105. ábra). A programba történő felhasználás előtt a 2000 pontból álló adatsort át kell alakítani ASCII mátrix formátumra a ***Field Interpolator*** programmal. A **Tools** menüből válasszuk a **Field Interpolator**

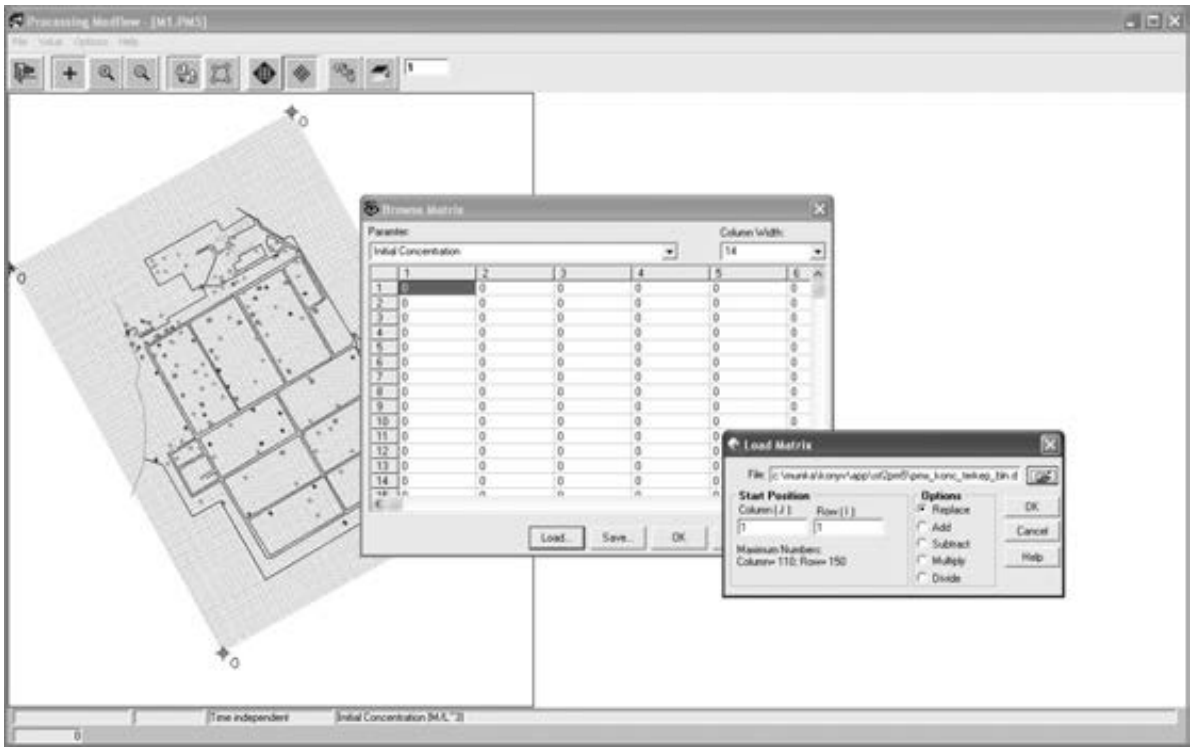
menüpontot. A modell a korábban is említett ***M1.PM5***, az input állomány a most készített adatállomány, míg a kimeneti állományt nevezzük el ***PMX_KONC_TERKEP_BLN.DAT*** néven. A **Grid Position** fülön ellenőrizzük az értékeket, a **Search/gridding Method** lapon adjuk meg, hogy a legközelebbi négy pontból (térnegyedenként 1-1 pont: ***Search Method: Quadrant***, ***Data Per Sector***:1), és használjunk egy torzításmentes interpolátort (Shepard-módszer, ***Gridding Method***: ***Shepard's Inverse Distance***). A **Go** gombbal indítsuk el a számítást (106. ábra) !

15. A számított ***PMX_KONC_TERKEP_BLN.DAT*** állomány már beolvasható, mint kezdeti koncentráció a PMWin környezetbe. Válasszuk ki a **Models → MT3D → Initial Concentrations** menüpontot. A ***Grid Editor***ban a **Value → Matrix** menüvel megjelenő ***Browse Matrix*** dialógusablakban a **Load** gombbal történhet meg a koncentráció-értékek behívása (107. ábra).

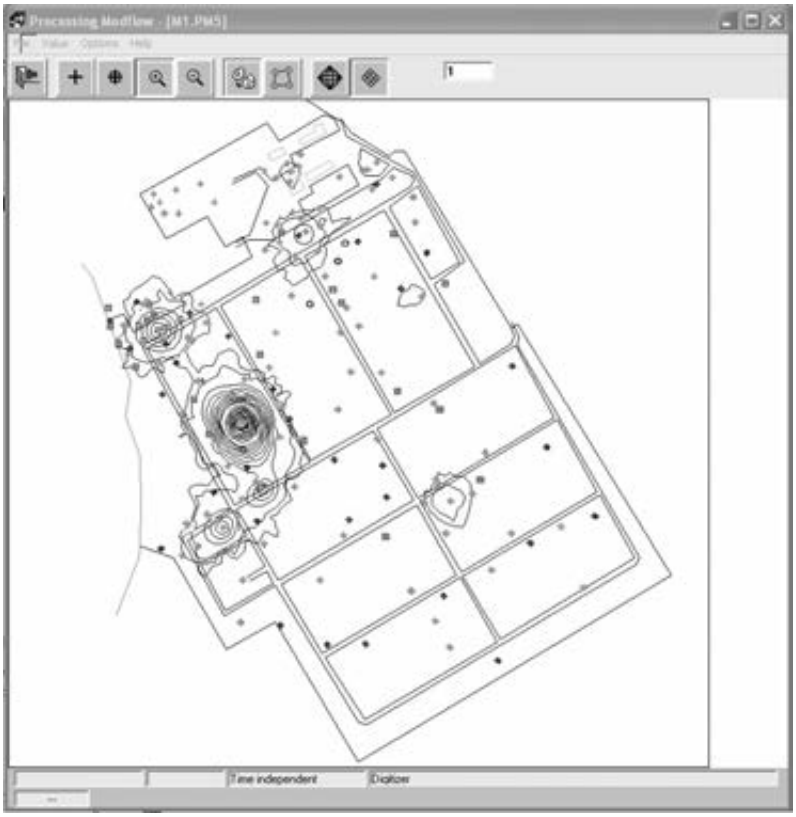
A végén célszerű egy további ellenőrzést is végrehajtani. A **Field Interpolator**ral végzett számítás során előfordulhat, hogy újra negatív értékek kerülnek a mátrixba, főképpen az extrapolációval jellemezhető területrészeken. Bármely mátrixban található értékek minimumát és maximumát a legegyszerűbben az izovonalas térképrajzolásnál találjuk meg az **Option → Environment** parancs dialógusablakának **Contours** lapján. Esetünkben ilyen nem fordult elő, az adatértékek 0 és kb. 20000 között változtak (108. ábra). Amennyiben más esetben maradtak volna negatív értékek, azokat nullára például a **Value → Search and Modify** parancsával cserélhetjük.



106. ábra
Javasolt beállítások a Field Interpolator használatához



107. ábra
A számított mátrix értékeinek behívása a PM környezetbe



108. ábra
A koncentráció-eloszlás megjelenítése a PM környezetben

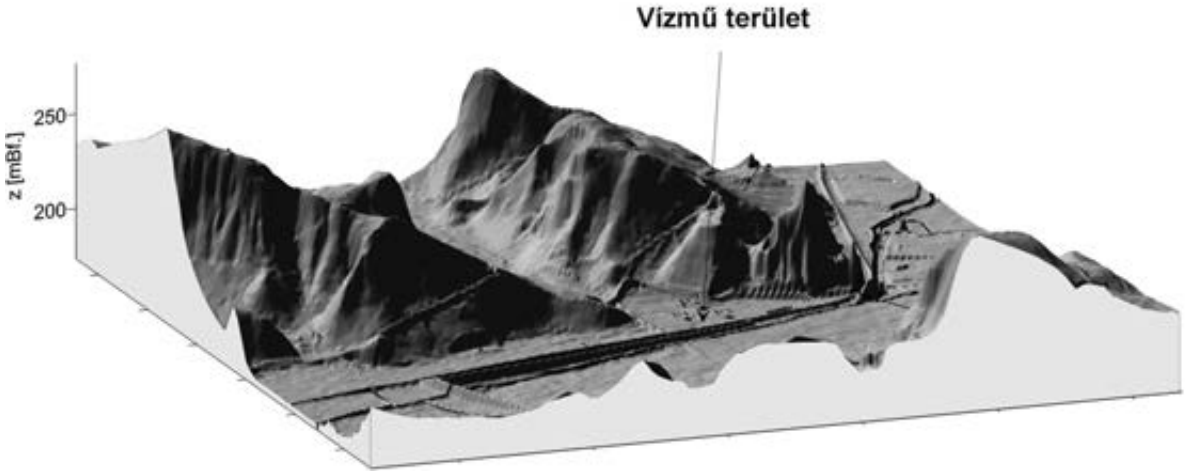
12.4.6. PMWin alapadatok és eredmények ábrázolása Surferben (\app\pm52srf könyvtár)

Ebben a fejezetben röviden áttekintjük, hogy hogyan lehet a számítások alapadatait megjeleníteni, és a modellel számított eredményeket a Surferbe átvinni, azaz, hogy milyen új lehetőségek nyílnak a Surferrel történő ábrázolás és megjelenítés terén.

A megadott könyvtárban egy korábban készített modell állományai találhatók. Egy völgyi (fővölgy és mellékvölgy) területen a talajvízadóra telepített négy kutas vízműtelep üzemel (109. ábra), a feladat ennek a relatíve egyszerű hidrodinamikai rendszernek a modellezése volt. A modell alapadat-rendszerét felépítettük, a számításokat a **MODFLOW → Run** paranccsal elvégeztük. A végső feladat az alapadatok és az eredmények megjelenítése volt.

Az adatok Surferben történő megjelenítésének legnagyobb előnye, hogy lehetőség van egy alaptérképre, mint nem átlátszó alapra újabb fedvények illesztésére.

Itt jegyezzük meg, hogy célszerű a későbbi egyszerűbb megjelenítés érdekében minden objektumot külön állományba menteni. Amennyiben később szükségünk van a rácsháló, vagy bármely paraméter eloszlásának megjelenítésére, törekedjünk arra, hogy minden állomány csak egy objektumot tartalmazzon. Amennyiben egy állományba mentettük a rácshálót és a kezdeti nyomásszinteket, a későbbiekben csak olyan ábrázolásokat készíthetünk, amelyiken mindkettő rajta van, vagy éppen mindkettő hiányzik!



109. ábra
A vizsgált terület térbeli képe

12.4.6.1. A rácsháló megjelenítése

A modell rácshálójának megjelenítése a legegyszerűbben egy DXF állomány létrehozásával lehetséges. A **Grid Editor** ablakban bármely paraméter szerkesztésénél (kivéve a rácsháló szerkesztést (**Grid → Mesh Size** menü)) lehetőség van a rácsháló kizárólagos megjelenítésére. Ehhez

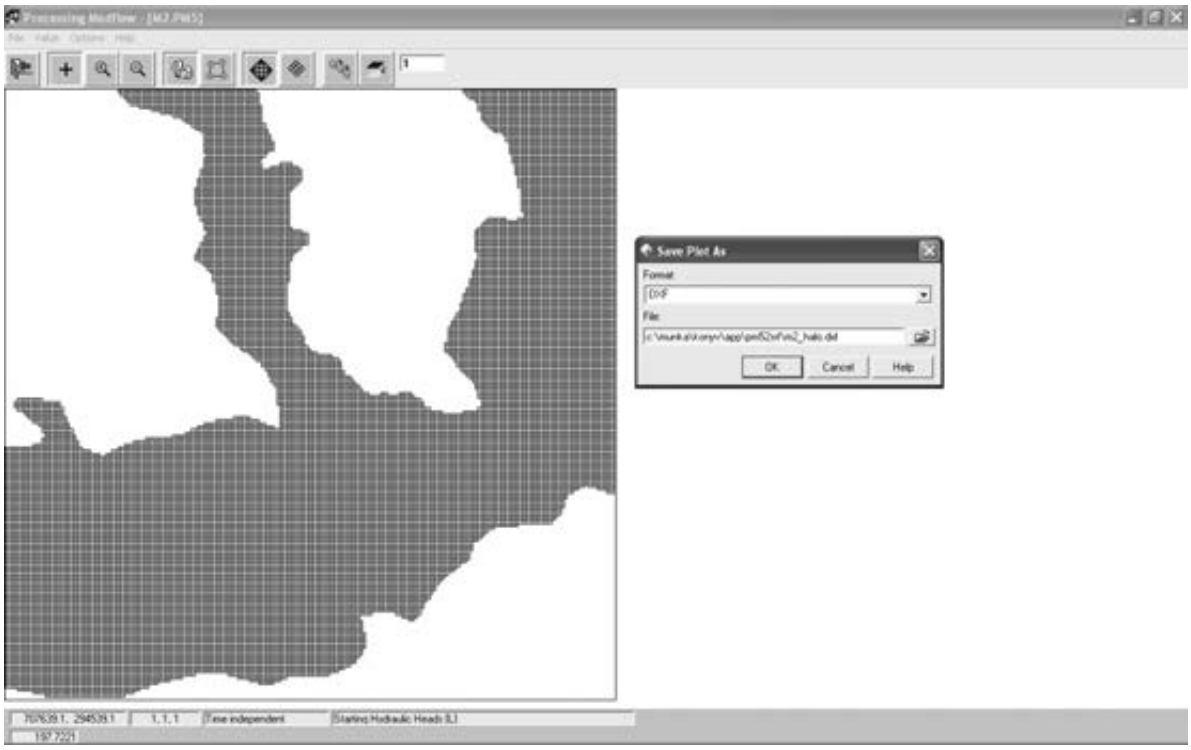
– töröljünk minden DXF alaptérkép megjelenítést az **Options → Maps** parancsnál (lásd 8.4.1 fejezet),

– töröljünk minden elem-megjelenítést az **Options → Environment** parancs **Appearance** lapján kivéve a Rácshálót (lásd 8.4.2.1 fejezet) a láthatóság (***Visibility***) jelölőnégyzetek segítségével,
– állítsuk át a rácsháló (***Component: Grid***) színét a szürkéről egy jól látható színre, például feketére,
– töröljünk minden izovonalas térképi megjelenítést az **Options → Environment** parancs **Contours** lapján a láthatóság (***Visible***) mező esetleges korábbi kijelölésének megszüntetésével.

Ezután ellenőrizzük, hogy a megjelenítés lokális üzemmódú-e (**Options → Display Mode → Local,** lásd 8.3. fejezet), majd adjuk ki a **File → Save Plot As** parancsot (110. ábra), és mentsük a képernyőképet ***M2_HALO.DXF*** névre.

12.4.6.2. Paraméter-eloszlások és eredmény állományok mentése

Minden olyan modelladatot, melyeket a rendszer mátrixok formájában tárol, függetlenül attól, hogy ezek alapadatok vagy számítási eredmények, többféleképpen lehet a Surferbe átvinni.



110. ábra
A rácsháló mentése

Az egyik megoldás a paraméter-eloszlás izovonalas vagy színskálás képének átvitele, amihez célszerűen a DXF állományon keresztül történő átvitelt alkalmazzuk. A másik lehetőség maguknak az adatoknak az átvitele a Surfer programba, majd a Surfer interpoláló algoritmusai (**Grid → Data** parancs, lásd 12.2.8. és 12.3. fejezetek) segítségével elvégezni a térképi ábrázolást.

A két megoldás közötti alapvető különbség az, hogy a DXF adatátvitel esetén csak a megjelenítés kerül át a Surferbe, ezért azon módosítások vagy változtatások már nem hajthatók végre: például egy izovonalas térképen vonalak nem törölhetők és újak nem hozhatók létre. Amennyiben az adatokat visszük át, akkor általában többletmunkát kell végeznünk, mire esztétikus megjelenítést érünk el, de a példánál maradva az izovonalakat formázhatjuk, törölhetjük, sűríthetjük, akár vektortérképes ábrázolást is készíthetünk az adatokból, stb., így egy sokkal rugalmasabb ábrázolási lehetőség marad a kezünkben. Hogy ki, mikor, melyiket alkalmazza, az egyéni döntés dolga, de a gyakorlat azt mutatja, hogy egyszerűbb a későbbiekben a Surfer állományokban az adatoknak utánanézni, esetleg más célú felhasználáshoz módosított ábrákat készíteni, mint a modellt újra előszedni, és újabb ábrákat exportálni. Ez utóbbihoz általában a teljes modellezési adatépítési folyamat előzetes áttekintése szükséges, azaz a korábbi modell részletes áttekintése. Sajnos a modellek építése során felmerült problémák hamar feledésbe merülnek, így sokszor néhány perces munka is több napos munkává válik néhány hónap elteltével.

12.4.6.2.1. Izovonalak DXF átvitele

Az izovonalak DXF állományok formájában való átvitele nagyon hasonlít a rácsháló adatainak átviteléhez. Példaképpen exportáljuk az 1. modellréteg kezdeti nyomásszintjeit DXF állományba. Válasszuk ki a PM környezetben a **Parameters → Initial Hydraulic Heads** menüt, ekkor a megfelelő ***Grid Editor*** ablakba jutunk.

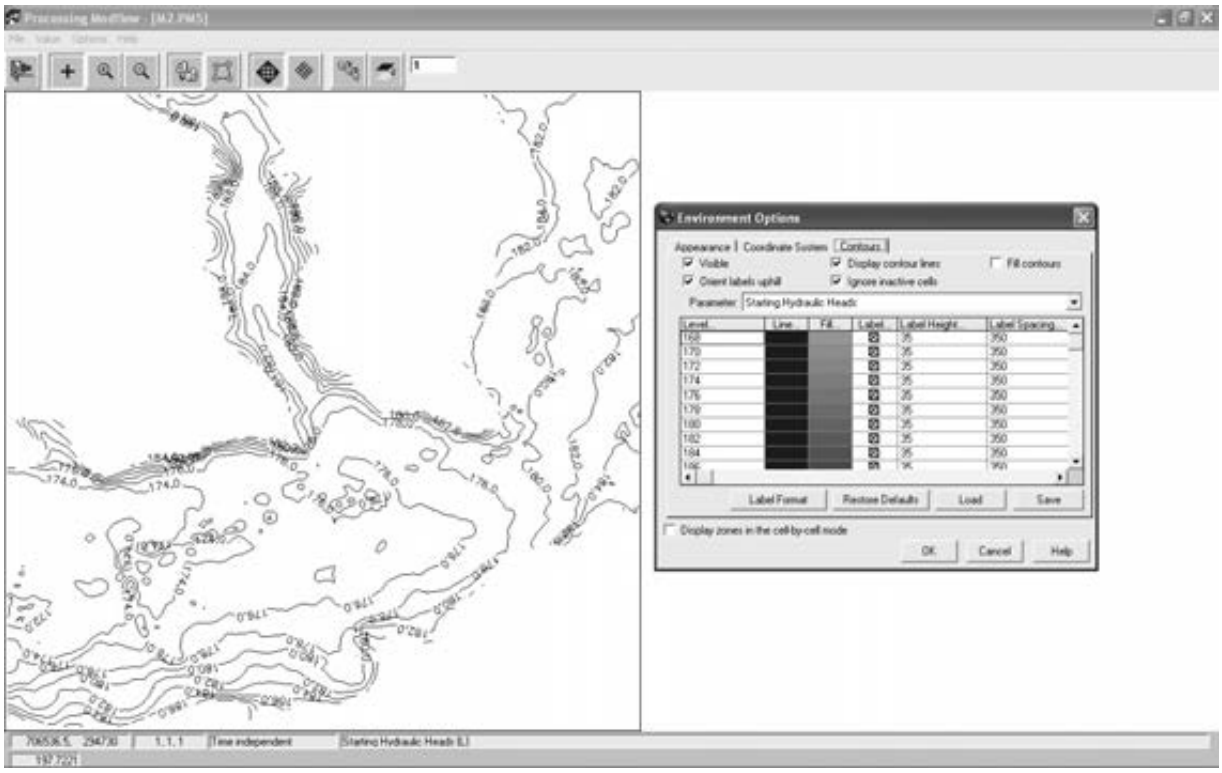
Célszerű mindig egy olyan képernyőképet előállítani, ahol csak a paraméternek az izovonalas térképe látható minden vonalrajz vagy modellezési objektum nélkül, ehhez

- töröljünk minden DXF alaptérkép megjelenítést az **Options → Maps** parancsnál (lásd 8.4.1 fejezet),
- töröljünk minden elem-megjelenítést az **Options → Environment** parancs **Appearance** lapján (lásd 8.4.2.1 fejezet) a láthatóság (**Visibility**) jelölőnégyzetek segítségével,
- készítsük el a paraméter izovonalas térképi megjelenítését az **Options → Environment** parancs **Contours** lapján a láthatóság (**Visible**) mező kijelölésével és a 8.4.2.3 fejezetben leírtak felhasználásával. Mindenképpen állítsuk át az izovonalak színét egy jól látható színre, például sötétkékre vagy feketére. Kerüljük az izovonalak közének kitöltését (**Fill Contours**), mert kitöltés esetén a DXF állomány alatt az alaptérkép nem lesz látható. A beállításainkat a 111. ábra mutatja be

Ezután ellenőrizzük, hogy a megjelenítés lokális üzemmódú-e (**Options → Display Mode → Local,** lásd 8.3. fejezet), majd adjuk ki a **File → Save Plot As** parancsot és mentsük a képernyőképet ***M2_KEZDETI_VSZ.DXF*** névre.

12.4.6.2.2. Színtérképek DXF átvitele

A színtérképek átvitelének bemutatására készítsük el a horizontális szivárgási tényezők színtérképét a 2. rétegre és mentsük egy DXF állományba. Válasszuk ki a PM környezetben a **Parameters → Horizontal Hydraulic Conductivity** menüt, ekkor a vízszintes szivárgási tényezők szerkesztésére alkalmas ***Grid Editor*** ablakba jutunk.

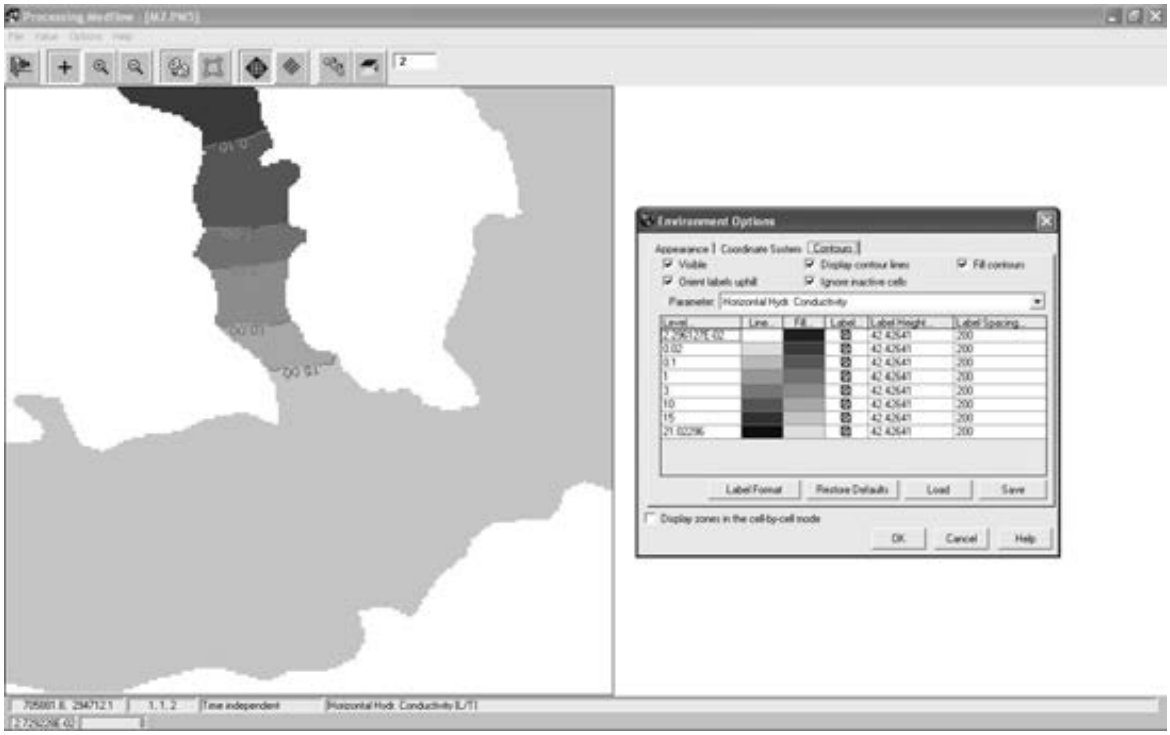


111. ábra

A kezdeti nyomásszintek beállításai DXF állományba történő exportáláshoz

Célszerű most is egy olyan képernyőképet előállítani, ahol csak az adott paraméternek, esetünkben a szivárgási tényezőnek a színtérképe látható, minden további vonalrajz vagy modellezési objektum nélkül, ehhez

- töröljünk minden DXF alaptérkép megjelenítést az **Options → Maps** parancsnál (lásd 8.4.1 fejezet),
- töröljünk minden elem-megjelenítést az **Options → Environment** parancs **Appearance** lapján (lásd 8.4.2.1 fejezet) a láthatóság (***Visibility***) jelölőnégyzetek segítségével,
- készítsük el a paraméter izovonalas térképi megjelenítését az **Options → Environment** parancs **Contours** lapján a láthatóság (**Visible**) mező kijelölésével és a 8.4.2.3 fejezetben leírtak felhasználásával. Töltsük ki az izovonalak közét (***Fill Contours***), azonban legyünk tudatában, hogy ezzel az alaptérkép láthatóságát a Surferben elveszítjük! Válasszunk például egy szürkeárnyalatos színezést, ahol a kis szivárgási tényezők szürkébbek, mint a nagy szivárgási tényezők, ezzel párhuzamosan a feliratok és vonalak színét válasszuk meg úgy, hogy a kis értékek világosabbak, a nagyok sötétebbek legyenek. A beállításainkat a 112. ábra mutatja be.



112. ábra
A színskálás térkép beállításai

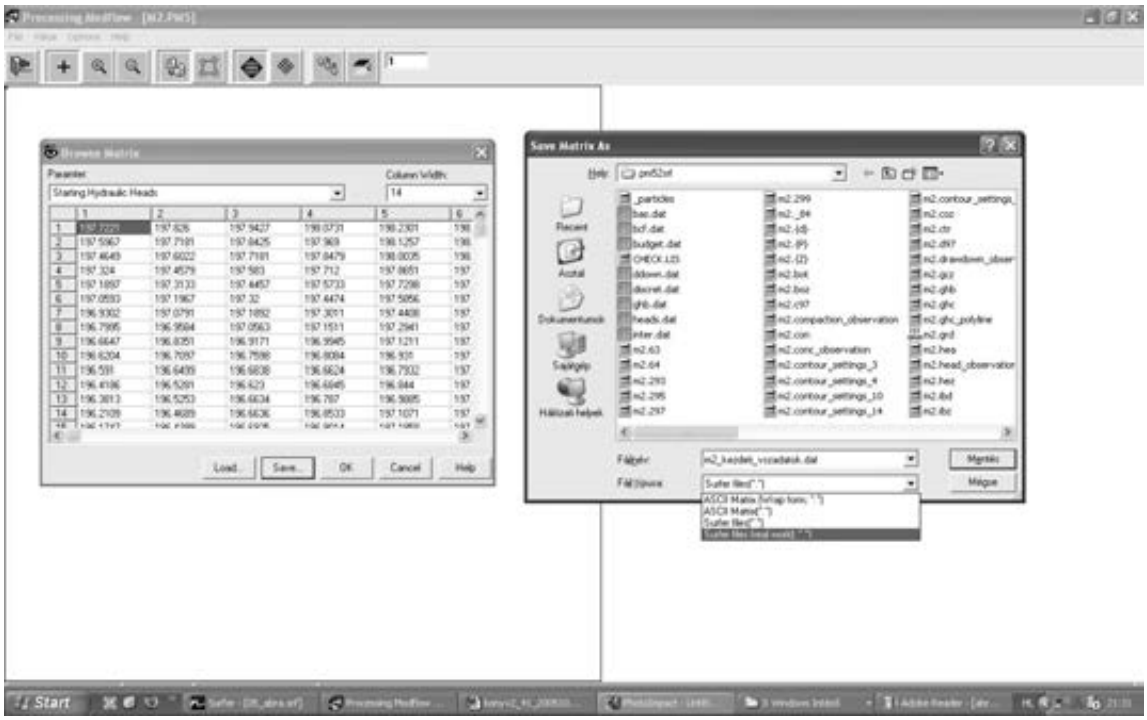
12.4.6.2.3. Alapadatok átvitele *.DAT formátumban

Minden ***Grid Editor*** ablakban van lehetőség az adatok ASCII XYZ (*.dat) formátumba történő mentésére. Példaképpen bemutatjuk a kezdeti nyomásszint-adatok exportálását DAT állományba. Válasszuk ki a PM környezetben a **Parameters → Initial Hydraulic Heads** menüt, ekkor a megfelelő ***Grid Editor*** ablakba jutunk.

Az ablakban válasszuk a **Value → Matrix** parancsot, majd a megjelenő dialógusablakban nyomjuk meg a **Save** gombot. A megjelenő mezőbe adjuk meg az ***M2_KEZDETI_VSZADATOK.DAT*** fájlnevet, illetve válasszuk a ***Surfer files (Real world, *.*)*** fájltípust (113. ábra)!

Ekkor az állomány elkészül, amit a Surferben a **Grid → Data** paranccsal grid-állománnyá alakíthatunk, amit a **Map → Contour Map** menüben izovonalas térképként, a **Map → Vector Map** menüben vektortérképpé, esetleg térfelületté (**Map → Surface**) alakíthatunk a 12.2.9 fejezetben leírtak szerint.

Itt jegyezzük meg, hogy a ***Surfer files (Real world, *.*)*** fájltípus az elemek középpontjainak valós (pl. EOV) koordinátáit, a ***Surfer files (*.*)*** fájltípus esetén pedig a modell bal alsó sarkához viszonyított relatív koordinátáit rendeli. A program kiterjesztést nem fűz az állománynévhez, ezért a DAT kiterjesztést célszerű a névhez hozzáfűzni. Ha ezt elfelejtjük, akkor a Surfer automatikusan nem találja meg az állományt, mivel annak kiterjesztése nem szabványos, azaz hiányzik.



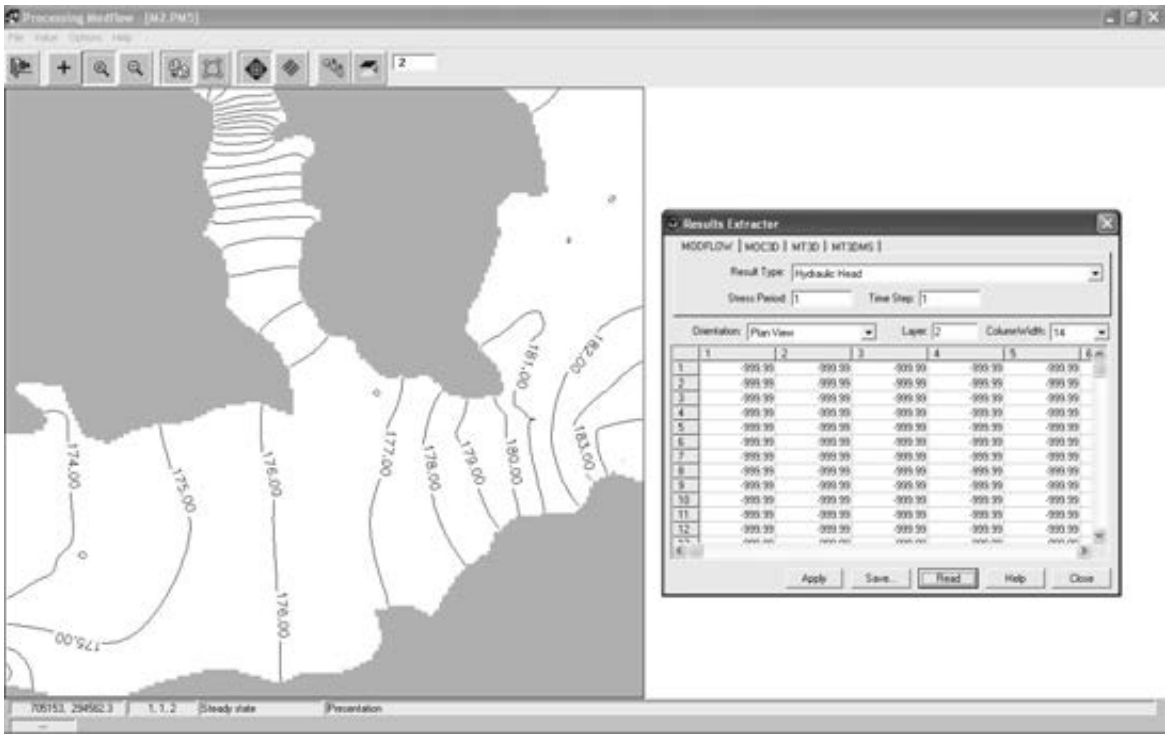
113. ábra
Alapadatok mentése Surfer *.dat állományba

12.4.6.2.4. Eredmények DXF átvitele

Az eredmények megjelenítésére a **Tools → Presentation** menü alkalmas (későbbi verziókban **Tools → 2D-Visualisation**). A Presentation ablakban látható mátrix a modell eredményeinek beolvasására fenntartott mátrix, mely alapértelmezetten üres. A mátrixba adatokat a **Value → Result Extractor** paranccsal lehet behívni.

Példánkban az M2 modellel permanens helyzetre, a 2. modellrétegre számított üzemi nyomásszinteket hívjuk be az ablakba.

1. Válasszuk ki a **Result Extractor** ablakban a kívánt munkalapot, annak függvényében, hogy melyik programmal állítottuk elő az eredményeket. A potenciál és depresszió adatokat a MODFLOW, a koncentráció-értékeket a megfelelő transzportprogram lapjával hívhatjuk be. Most maradjunk a **MODFLOW** lapon. Mivel permanens a modell, ezért egy periódus van 1 időlépcsővel (***Stress period**: 1, **Time Step**: 1*).
2. Válasszunk ki a 2. réteget (***Plan View***, azaz felülnézeti ábrázolás és ***Layer***: 2) és nyomjuk meg a **Read** (beolvasás) gombot (114. ábra). A mátrixban ekkor megjelennek a számítási értékek. Ne ijedjünk meg a -999.99 értékektől, ezek az inaktív cellákat jelzik, értéküket a **Models → MODFLOW → Output Control** menüjében a ***Predefined Head Values*** mezőben adtuk meg (***For No-Flow Cells: -999.99***).
3. Ezután nyomjuk meg az **Apply** (alkalmaz) gombot, ezáltal a beolvasott mátrixértékeket a program átadja a ***Grid Editor*** ablaknak, majd a **Close** (bezárás) gombbal térjünk vissza a **Result Extractor** eredmény-beolvasó rutinból a **Presentation** menü ***Grid Editor*** ablakába.



114. ábra

Az eredmények beolvasása a Presentation ablakba

Ettől kezdve az izovonalas megjelenítés vagy színskálás ábrázolás módja megegyezik az előző fejezetekben leírtakkal. Ezután a **File → Save Plot As** paranccsal a vonalrajzot az ***M2_UZEMI_VSZ. DXF*** állományba mentettük.

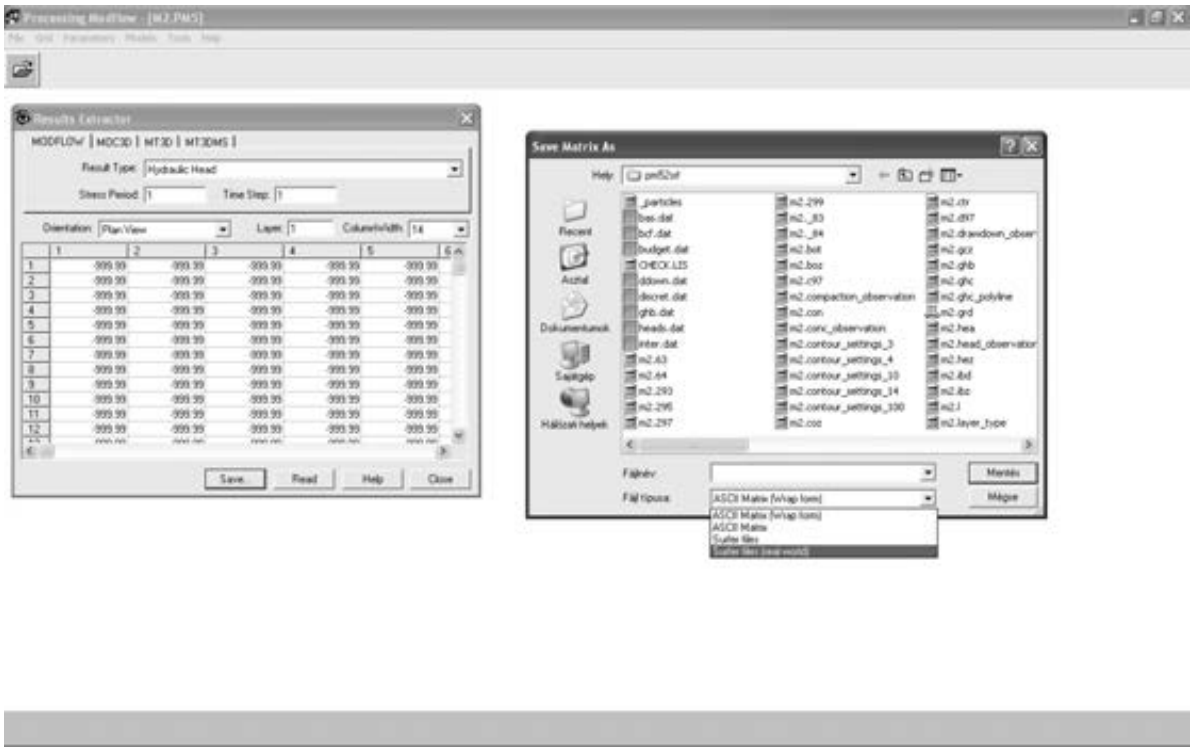
12.4.6.2.5. Eredmények átvitele *.DAT formátumban

Már az eddigi ismeretek is lehetővé teszik a DAT formátumba történő mentést, hiszen az eredmények **Presentation** ablakba történő behívása után a korábbiakban bemutatottak szerint – a 12.4.6.2.3.fejezetben bemutatott módon – az adatok *.DAT formátumba menthetők.

Van azonban egy egyszerűbb, másik mód is. A **Tools** menüből válasszuk közvetlenül a **Result Extractor** parancsot. Olvassuk be a megfelelő eredmény-állományokat – a 12.4.6.2.4 fejezetben ismertetettek szerint – a **Read** gombbal. Ezután nyomjuk meg a **Save** gombot, és a megjelenő mezőben adjuk meg a mentendő állomány nevét, illetve válasszuk a ***Surfer files (Real world, *.*)*** fájltípust (115. ábra). Mentsük ki az üzemi vízszinteket az ***M2_UZEMI-VSZADATOK.DAT*** nevű állományba!

12.4.6.2.6. Alapadat- és eredménytérképek mentése *.BMP formátumba

A munka során folyamatosan van lehetőségünk a képernyőképek Windows Bitmap (*.BMP) formátumba történő mentésére. Míg a DXF állományok mentése lokális koordináta-rendszerben lehetséges csak, addig bitmap állományok mentésére mind lokális, mind globális megjelenítési módban (**Options → Display Mode → Global** vagy **Real-World**) van mód.



115. ábra
Adatok mentése közvetlenül a Results Extractor felhasználásával

A Windows Bitmap állományok mentéséhez válasszuk a **File → Save Plot As** parancsot, ha szükséges válasszuk ki a ***Windows Bitmap (BMP)*** formátumot, és adjuk meg a grafikát tartalmazó állomány nevét. Ezután a program a merevlemezre menti a kért állományt. Sajnos a kapott állományok a Surferben csak korlátozottan használhatók, ezért ezekkel a továbbiakban nem foglalkozunk.

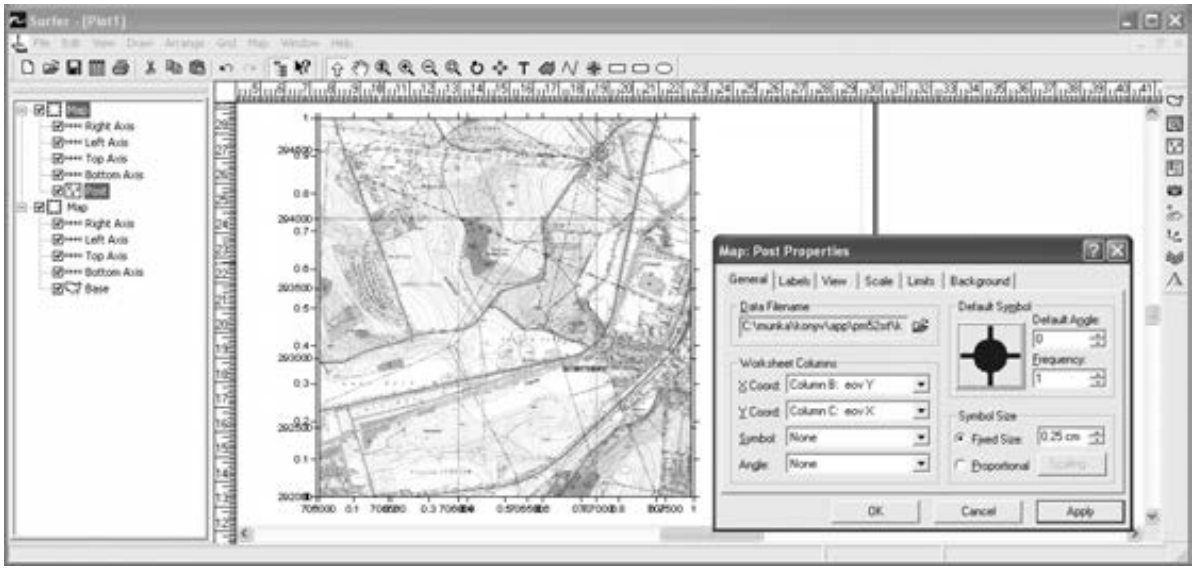
12.4.6.2.7. Ábrázolás Surferben

A Surferben történő ábrázolás bemutatásához beszkenneltük a terület EOV M=1:10 000 alaptérképét (***ALAPTERK.JPG***). A szkennelt terület az EOV Y=705000-707680 és az EOV X=292000-294730 területet ábrázolja. A határkoordinátákat az eredeti térképről olvastunk le.

1. Először készítsük el a koordináta-helyes alaptérképet Surferben! Olvassuk be a szkennelt térképet a **Map → Base Map** paranccsal! Ekkor a térkép egy furcsa koordináta-rendszerben jelenik meg, ami a képpontok sorszámát mutatja a tengelyek mentén.
2. Jelöljük ki az objektumok közül a **Base** objektumot, és kettőt klikkelve nézzük meg a tulajdonságait! A **Base Map** lapon az ***Image Coordinates*** mezőbe írjuk be a szkennelt kép koordináta-határait: ***xMin***: 705000, ***xMax***: 707680, ***yMin***: 292000 és **yMax**: 294730 (116. ábra). Ha jól adtuk meg a koordinátákat, akkor a 293000, 706000, stb. tengelyosztásoknál az EOV térkép km-es osztású rácshálója pontosan illeszkedik!

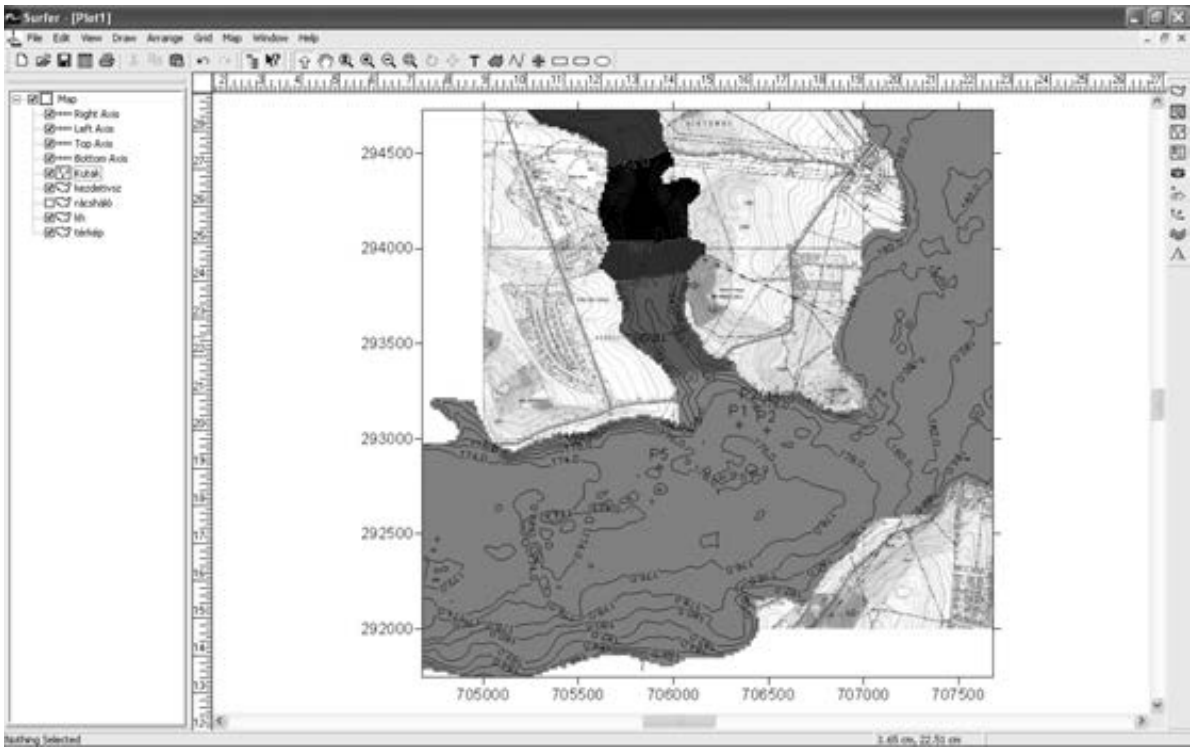
116. ábra
A térkép határainak megadása

3. Ábrázoljuk a kutakat egy adatpont-térképen. A kutak adatait a ***KUTAK_KOORDINATAI.XLS*** állomány tartalmazza. Használjuk a **Map → Post Map → New Post Map** parancsot, adjuk meg az Excel állomány nevét. Ne lepődjünk meg azon, hogy a térképen a pontok nem jelennek meg, mert az állományban az első oszlopban a kutak neve, a másodikban az EOV Y, a harmadikban az EOV X koordináták találhatók, a program pedig alapértelmezetten a koordinátákat az első két oszlopban keresi. Jelöljük ezért ki a **Post** objektumot és kettős klikkeléssel adjuk meg a tulajdonságait: a **General** lapon: ***X Coord***: Coloumn B, ***Y Coord***: Coloumn C és a **Labels** lapon ***Worksheet Coloumn for Labels***: Coloumn A. Ekkor a kutak helye megjelenik a térképen (117. ábra).

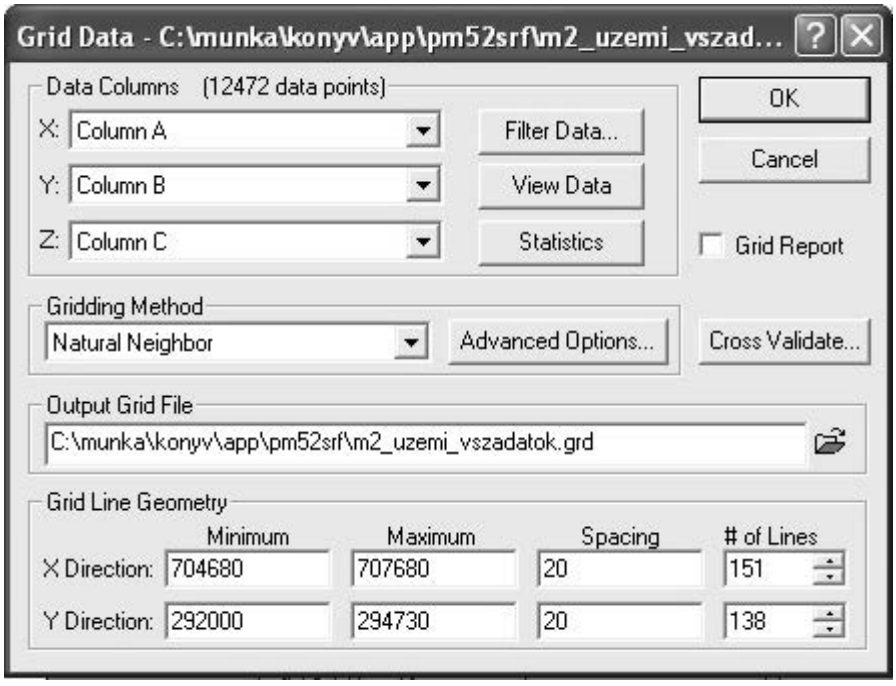


117. ábra
Kutak helyének ábrázolása adatpont-térképen

4. Illesszük egy objektumba a két térképet: előbb jelöljük ki mindkét térképet (**Edit → Select All**) majd illesszük őket közös koordináta-rendszerbe (**Map → Overlay Maps**). Ekkor a szkennelt alaptérképen megjelennek a kutak és jelölésük.
5. Ábrázoljuk a kezdeti vízszinteket a korábbi fejezetben gyártott DXF állomány segítségével! Hajtsuk végre a **Map → Base Map** parancsot, amihez használjuk fel az ***M2_KEZDETI_VSZ.DXF*** állományt. A **DXF Import Options** dialógusablaknál használjuk az alapértelmezett beállításokat, és nyomjunk meg az OK gombot! Mivel ekkorra két Base nevű objektum lesz a lapon, jelöljük ki az újonnan létrehozott Base objektumot egy klikkeléssel, majd még egyet klikkeljünk rá, ekkor a nevét változtassuk meg kezdetivsz-re.
6. Illesszük egy objektumba a két térképet: előbb jelöljük ki mindkét térképet (**Edit → Select All**) majd illesszük őket közös koordináta-rendszerbe (**Map → Overlay Maps**). Ekkor a szkennelt alaptérképen megjelennek a kutak és jelölésük, továbbá a kezdeti vízszintek.
7. Ábrázoljuk a rácshálót is a térképen! Hajtsuk végre a **Map → Base Map** parancsot, amihez használjuk fel az ***M2_HALO.DXF*** állományt. A **DXF Import Options** dialógusablaknál használjuk az alapértelmezett beállításokat és nyomjunk meg az OK gombot! Az újonnan létrehozott Base objektumot nevezzük át rácsháló-ra.
8. Illesszük egy objektumba a két térképet: jelöljük ki mindkét térképet (**Edit → Select All**), majd illesszük őket közös koordináta-rendszerbe (**Map → Overlay Maps**). Ekkor valamennyi fedvény egy objektumba kerül.
9. Ábrázoljuk a horizontális szivárgási tényezők színtérképét is! Hajtsuk végre a **Map → Base Map** parancsot, amihez használjuk fel az ***M2_KH_2RTG.DXF*** állományt. A **DXF Import Options** dialógusablaknál használjuk az alapértelmezett beállításokat, és nyomjunk meg az OK gombot! Az újonnan létrehozott Base objektumot nevezzük át kh-ra. hasonlóképpen nevezzük át a ***Post*** objektumot kutak-ra és a ***Base*** objektumot térkép-re!
10. Illesszük egy objektumba a két térképet: jelöljük ki mindkét térképet (**Edit → Select All**), majd illesszük őket közös koordináta-rendszerbe (**Map → Overlay Maps**). Ekkor valamennyi fedvény egy objektumba kerül. Ekkor már jól látszik a színtérkép hátránya, hogy elfedi az alatta levő fedvényeket. Az objektumlista egyben a fedvények sorrendjét is jelenti: az egyes fedvények az egérrel fel-le mozgathatók, így alakítsuk ki a következő sorrendet: felül a négy tengely, alatta a kutak, kezdetivsz, rácsháló, kh és végül a térkép (118. ábra).
11. Készítsük el az üzemi vízszintek térképét az ***M2_UZEMI_VSZADATOK.DAT*** állomány felhasználásával. A **Grid → Data** paranccsal a természetes szomszéd módszerrel számítsuk egy 20x20 m-es osztású rácshálóra a térfelület elemeit (119. ábra).



118. ábra
Az alaptérkép a DXF állományokból készített fedvényekkel

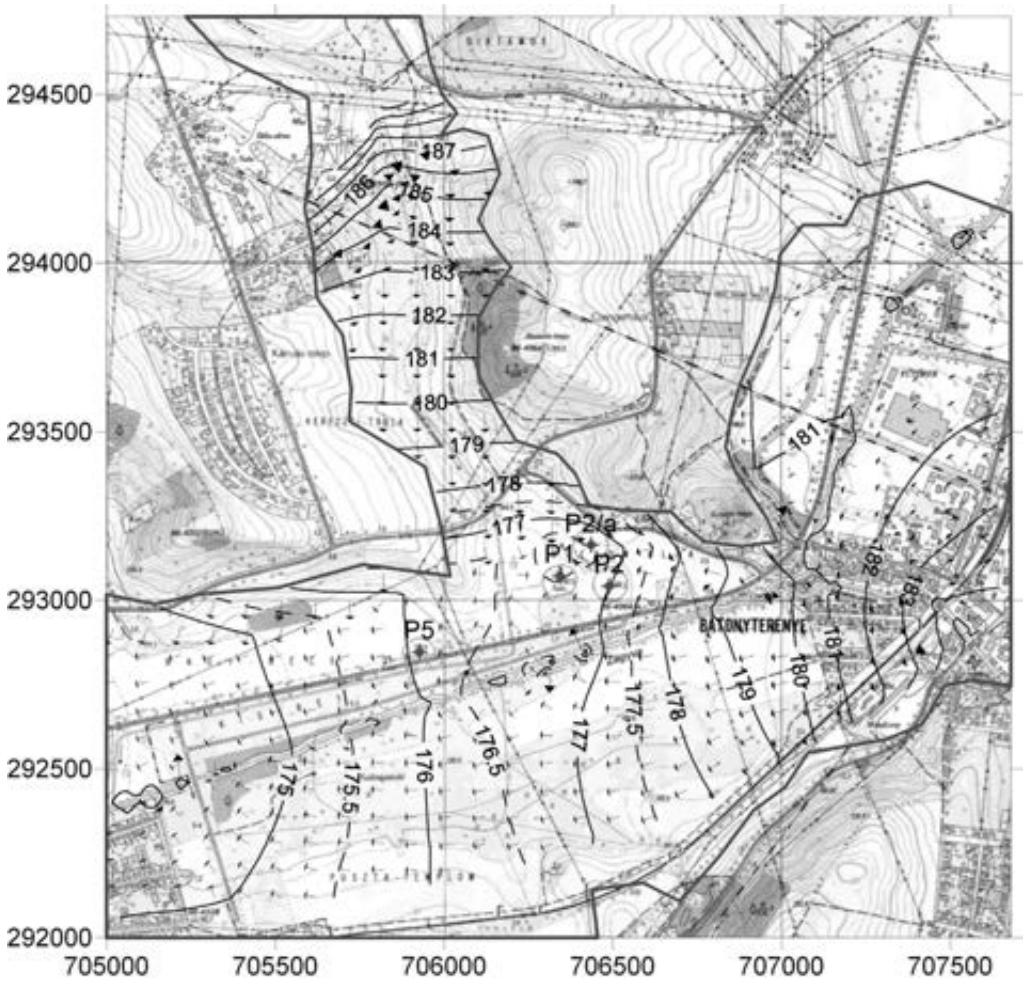


119. ábra
Az interpolációs beállítások

12. Korábban bedigitalizáltuk a teraszréteg határvonalát és beállítottuk, hogy az állománnyal való törlés esetén a poligonon kívüli pontok törlődjenek. Az állományt a ***TERASZTORLO.BLN*** állományba mentettük el. Használjuk a

TERASZTORLO.BLN állományt az ***M2_UZEMI_VSZADATOK.GRD*** állomány dombi területre eső részének törlésére a **Grid → Blank** parancs segítségével. A készített új állomány neve legyen ***M2_UZEMI_VSZADATOK_-BLN.GRD.***

13. Ábrázoljuk az üzemi vízszintek izovonalas térképét (**Map → Contour Map** parancs, Input file: ***M2_UZEMI_VSZADATOK_BLN.GRD***). Formázzuk az izovonalakat tetszés szerint, és nevezzük el a **Contour** fedvényt „üzemi”-nek.
14. Hívjuk be a teraszhatár vonalrajzát a **Map → Base Map** paranccsal (input file: ***TERASZTORLO.BLN***) és nevezzük át a ***Base*** objektumot „határ”-ra. Formázzuk a vonalat tetszés szerint!
15. Készítsük el az üzemi szintek egygrides vektortérképét is! Használjuk a **Map → Vector Map → New 1-Grid Vector Map** parancsot! Formázzuk a vektorokat tetszés szerint!
16. Illesszük egy objektumba az összes térképet: jelöljük ki az összes térképet (**Edit → Select All**), majd illesszük őket közös koordináta-rendszerbe (**Map → Overlay Maps**). Ekkor valamennyi fedvény egy objektumba kerül. A kész térképet mentsük el ***PM52SRF.SRF*** névre (120. ábra)!



120. ábra
A kész térkép egyik nézete (üzemi vízszintek a vektorokkal)

13. A modellparaméterek meghatározása

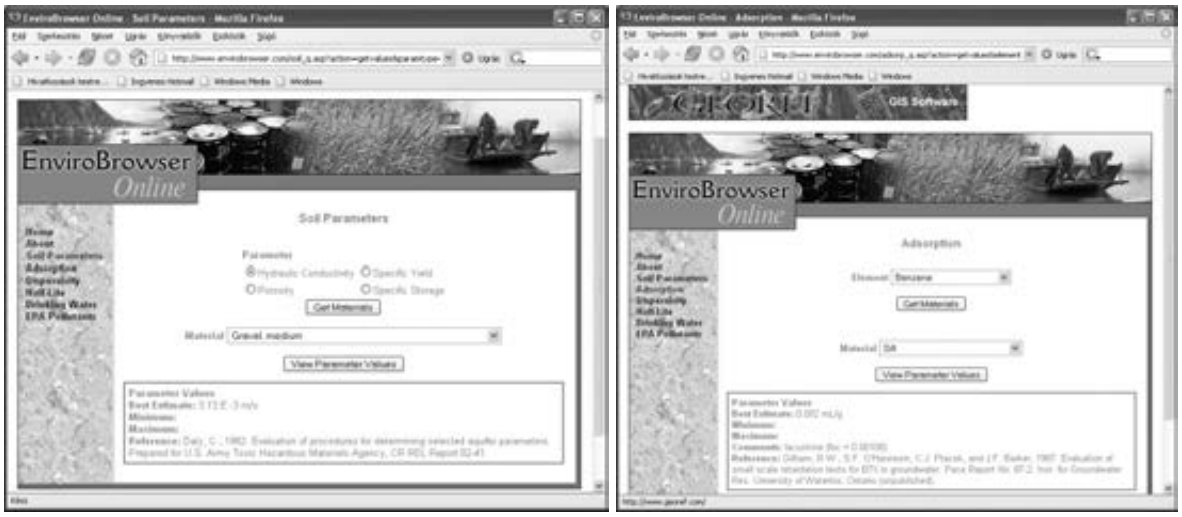
A modellezés során a megoldandó egyenletrendszer felírásához szükség van valamennyi paraméter megadására, ami akkor jelent különösen nagy nehézséget, amikor a vizsgált terület ismeretességi szintje alacsony (KOVÁCS et al., 2004). Ilyen esetekben becsült vagy származtatott adatokat használunk fel, szakirodalmi adatok alapján veszünk fel paramétereket, esetleg empirikus összefüggéseket használunk. A következő fejezetrészekben a hidrodinamikai és transzport-modellezéshez szükséges adatokra vonatkozó szakirodalmi ismereteket foglaljuk össze, illetve az egyes képződményekre legjobban jellemző értékeket soroljuk fel.

13.1. Internetes adatbázisok

Az internet megjelenésével az adatokhoz való hozzáférés drámaian megváltozott. Az ismertebb keresőmotorokba (Google, Yahoo, Lycos, stb.) néhány kulcsszót beütve a világ szinte minden tájáról kaphatunk mért vagy becsült vízföldtani vagy transzportparamétereket. Ezekkel a munka lehetséges, de sokszor lassú.

Léteznek nyilvános, illetve fizetés ellenében igénybe vehető adatbázisok, melyekben a modellezéshez szükséges adatokhoz lehet hozzáférni. A legismertebb és talán a legegyszerűbben használható adatbázis, az egykor még teljesen ingyenes EnviroBrowser adatbázis, melyet ma 100-150 USD-nek megfelelő áron kínálnak különböző cégek. Az EnviroBrowser ugyanakkor on-line verzióban a mai napig ingyenesen használható: http://www.envirobrowser.com vagy a készítő GEOREF, Inc. honlapjáról is (http://www.georef.com). Amennyiben rábukkanunk a világhálón az Envirobrowser-Lite verzióra, azt is ingyenesen lehet használni.

121. ábra
Az EnviroBrowser Online honlapja



122. ábra
Vízföldtani és szorpciós paraméterek keresése az EnviroBrowser adatbázisban

Az EnviroBrowser a talajparaméterek (***Soil parameters***) közül a *k* szivárgási tényező (***Hydraulic conductivity***), az *n* hézagtérfogat (***Porosity***), az S_y fajlagos hozam (***Specific yield***), az S_s fajlagos tárolási tényező (***Specific storage***) értékeit tartalmazza, ezen kívül szorpciós jellemzőket (K_d megoszlási együtthatók, **Adsorption** menü), α diszperzivitás (**Dispersivity** menü) értékeket és *T* felezési időket (**Half-life** menü) is kereshetünk az adatbázisban. Amennyiben a keresett paraméter szennyezőanyag specifikus, akkor a szennyezőanyagok közül, amennyiben médium-specifikus, akkor a különböző geológiai képződmények közül kell választanunk.

Az adatbázis a legjobb értéket ***Best Estimate*** néven adja meg, és kiírja a referált cikk, könyv vagy más publikáció adatait is (szerző, cím, megjelenés helye és ideje, stb.).

Amennyiben az adatbázist nem sikerülne elérni, Próbáljuk meg egy másik internetböngészővel is a letöltést, mert a hibának sokszor az az oka, hogy a használt – általában JAVA alapú – programokat a böngészők nem értik meg, esetleg félreértik.

13.2. Általános vízföldtani paraméterek és megadásuk

13.2.1. A szivárgási tényező és a transzmisszivitás

A szivárgási tényezők meghatározásának számos módja ismert, sajnos a pontosságuk jelentősen eltérő. A szivárgási tényező meghatározási módok közül előnyben kell részesíteni azokat a megoldásokat, melyek egy nagyobb területrészre vonatkozó értékeket szolgáltatnak, illetve amelyek in situ mérések az eredeti települési környezetben érvényesek. Ennek megfelelően a leggyakrabban a próbaszivattyúzások alapján meghatározott szivárgási tényező értékeket használjuk, ritkábban a szemcseeloszlás alapján vagy laboratóriumban permeabiméterrel határozzuk meg annak értékét, végül más ismeretek hiányában szakirodalmi adatokra is támaszkodhatunk. A szivárgási tényező értékét – szükség esetén – a kalibrálás során tovább pontosíthatjuk.

Megjegyezzük, hogy a hidrodinamikai modellek jelentős része (így pl. az összes MODFLOW verzió) általában a transzmisszivitással számol a szivárgási tényezők

helyett, kivéve azokat a rétegeket, amelyek egyaránt lehetnek nyílt- és zárttükrűek és a transzmisszivitás értéke nem tekinthető állandónak. Ennek a megoldásnak a következményeként gondoskodni kell arról, hogy az esetlegesen a modellezési folyamat közben megváltoztatott szivárgási tényező értékekből a szimulációs környezetben megtörténjék a megváltozó transzmisszivitások számítása is.

A következő táblázatban a teljesség igénye nélkül néhány szakirodalmi adatot közlünk (**13.1. táblázat**). A táblázatot áttekintve látható, hogy a leggyakrabban modellezett laza porózus képződmények átlagos szivárgási tényezői a következők: agyagok 0,003-0,0001 m/d, agyagos iszapok 0,005-0,008 m/d, iszapok 0,008-0,05 m/d, iszapos homokok 0,03-0,1 m/d, finom homokok 0,1-0,3 m/d, közepes homokok 0,5-1,2 m/d, durva homokok 1-5 m/d, kavicsos homokok 3-50 m/d, homokos kavicsok 10-130, kavicsok 100-300 m/d. Amennyiben a képződmény iszapos vagy agyagos frakciót tartalmaz, akkor a szivárgási tényező ugrásszerűen lecsökkenhet, és akár egy alapvetően homokos kavics szivárgási tényezője is 1 m/d alá eshet.

13.2.2. A hézagtényező, a hézagtérfogat és a szabad hézagtérfogat

Az *n* hézagtérfogat a talajmintában található pórusok térfogatának az aránya a minta teljes térfogatához viszonyítva. Az *e* hézagtényező a pórusok térfogatának és a szemcsék térfogatának az aránya. A két mennyiség nem független egymástól:

$$e = \frac{n}{1-n}; \quad n = \frac{e}{1+e}. \tag{13.1.}$$

A hézagtényező és hézagtérfogat meghatározása laboratóriumban történhet. Egy V térfogatú mintát kiszárítunk, és a száraz állapothoz tartozó M_0 tömegét lemérjük. Feltételezve, hogy a szemcsék sűrűsége ρ_s, a hézagtérfogat és a hézagtényező számítható:

$$e = \frac{V - \frac{M_0}{\rho_s}}{\frac{M_0}{\rho_s}}, \quad n = \frac{V - \frac{M_0}{\rho_s}}{V}. \tag{13.2.}$$

A szemcsék átlagos sűrűségét KÉZDI (1972) alapján a 13.2. táblázatban adtuk meg.

A pórustérnek azt a részét, melyből a vizet gravitációs úton ki lehet termelni, szabad hézagtérfogatnak nevezzük. A szabad hézagtérfogat közelítő laboratóriumi meghatározása kavics és homok képződmények esetében egyszerű: nedves, de telítetlen talajmintát alulról felfelé emelkedő vízzel lassan telítjük, majd a telítéshez szükséges víz mennyiségét mérjük. A telítéshez szükséges víztérfogat és a minta térfogatának aránya adja a szabad hézagtérfogat értékét. Szakirodalmi hézagtérfogat és szabad hézagtérfogat értékeket a 13.3. táblázat foglalja össze. Egy, a gyakorlatban használható szabad hézagtérfogat meghatározásra alkalmas összefüggést a 123. ábra mutat be. A fajlagos hozam értékek mindig kisebbek, mint a szabad hézagtérfogat értékei.

13.1. táblázat

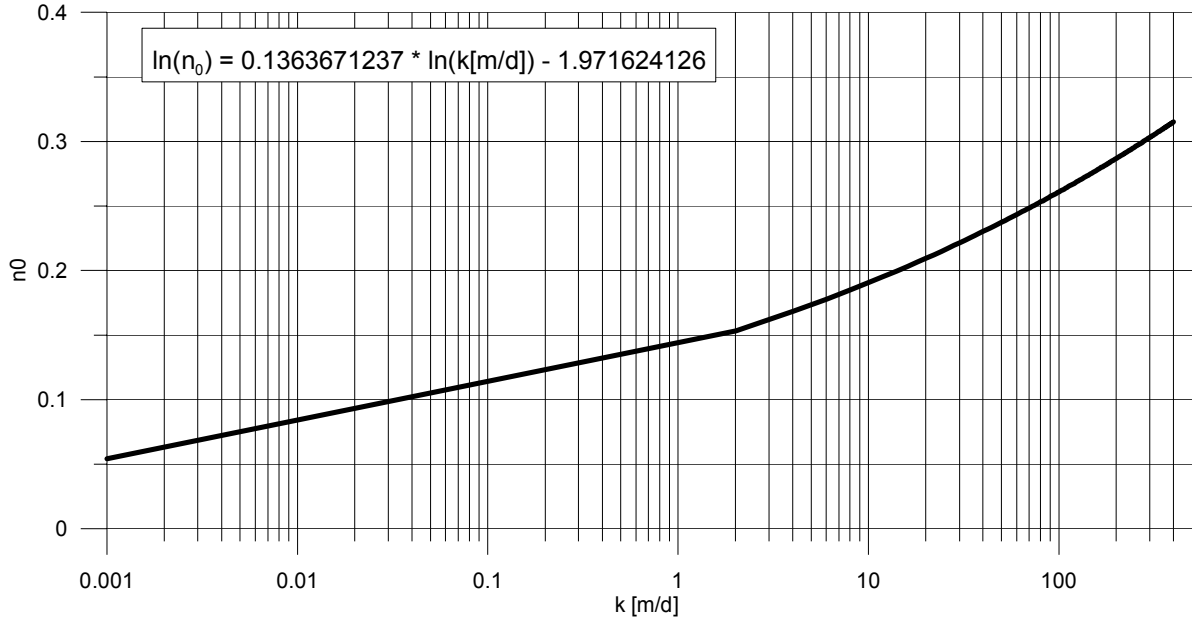
A szivárgási tényező tapasztalati értékei egyes szerzők szerint			
Képződmény	**Szivárgási tényező [m/s]**		
	Juhász (1987)	**Verruijt (1970)**	**Morris – Johnson (1967)**
mállott gránit			$3.3 \div 52 \cdot 10^{-6}$
mállott gabbró			$0.5 \div 3.8 \cdot 10^{-6}$
Bazalt			$0.2 \div 4250 \cdot 10^{-10}$
metamorf pala			$0.002 \div 1130 \cdot 10^{-8}$
homokő (finom)			$0.5 \div 2270 \cdot 10^{-8}$
Agyagpala			$0.1 \div 142 \cdot 10^{-10}$
agyag		$<1 \cdot 10^{-9}$	$0.1 \div 47 \cdot 10^{-10}$
iszapos agyag	$1 \div 5 \cdot 10^{-8}$		
homokos agyag		$1 \div 10 \cdot 10^{-9}$	
agyagos iszap	$1 \div 500 \cdot 10^{-8}$		
tőzeg		$1 \div 100 \cdot 10^{-9}$	
iszap		$1 \div 10 \cdot 10^{-8}$	$0.09 \div 7090 \cdot 10^{-9}$
kőzetliszt, homokliszt		$1 \div 10 \cdot 10^{-6}$	
homokos kőzetliszt	$1 \div 50 \cdot 10^{-6}$		
kőzetlisztes homok	$1 \div 20 \cdot 10^{-5}$		
finomhomok		$1 \div 10 \cdot 10^{-5}$	$0.2 \div 189 \cdot 10^{-6}$
közepes homok	$1 \div 4 \cdot 10^{-4}$		$0.9 \div 567 \cdot 10^{-6}$
durva homok		$1 \div 10 \cdot 10^{-4}$	$0.9 \div 6610 \cdot 10^{-6}$
kavicsos homok	$2 \div 10 \cdot 10^{-4}$	$1 \div 10 \cdot 10^{-3}$	
homokos kavics	$5 \div 30 \cdot 10^{-4}$		
Kavics		$>1 \cdot 10^{-2}$	$0.3 \div 31.2 \cdot 10^{-3}$

13.2. táblázat

Az egyes képződmények szemcséinek sűrűsége (KÉZDI, 1972)	
Képződmény	**Szemcsék sűrűsége [kg/m^3]**
Kavics, homok	2650
Lösz, homokliszt, homokos iszap	2670
Iszap	2700
Sovány agyag	2750
Agyag	2800

13.3. táblázat

A hézagtérfogat és szabad hézagtérfogat tapasztalati értékei néhány szerző szerint [%] (a szabad hézagtérfogat értékek zárójelben szerepelnek)								
Képződmény	**Morris-Johnson (1967)**	**Davis-DeWiest (1966)**	**Freeze-Cherry (1979)**	**Kézdi (1972)**	**Ubell (1962)**	**Busch-Luckner (1973)**	**Driscoll (1986)**	**Linsley-Franzini (1979)**
ép gránit		0,3	0-10				0-10	1
mállott gránit	34-57							
mállott gabbró	42-45							
bazalt	3-35	0,8-11,4	5-50				15-50	
tufák		14-40						
metamorf pala	4-49	5,2-21,1					0-10	5
mészkő	7-56	4,6-21,6	0-20				1-20	5
márvány		0,3						
dolomit		0,4-27,8	0-20				1-20	
homokő (finom)	14-49	11,2-27,45-30	5-30				5-30	15
tőzeg								
agyagpala	21-41	9,7	0-10					
agyag	34-57	33,3-58,8	40-70	30-70			45-55	45
iszapos agyag						45-65 (2-5)		
homokos agyag								
agyagos iszap						40-55 (3-8)		
iszap	34-61	33,7-50	35-50	30-50			35-50	
kőzetliszt, homokliszt				35-55				
homokos kőzetliszt					(<13)	35-45 (5-10)		
kőzetlisztes homok					(13-15)	33-40 (8-12)		
homok			25-50				25-40	35
finomhomok	26-53	40-50		33-48				
közepes homok		35-40		25-45	(17-19)	30-38 (10-15)		
durva homok	31-46	25-35		25-45				
kavicsos homok		10-30			(22-25)	28-35 (15-20)	10-35	20
homokos kavics		10-30		18-42		25-35 (20-25)	10-35	20
kavics		20-30	25-40				25-40	25
durva kavics	25-38							
finom kavics	24-36							



123. ábra
Empirikus összefüggés a szivárgási tényező és a szabad hézagtérfogat között

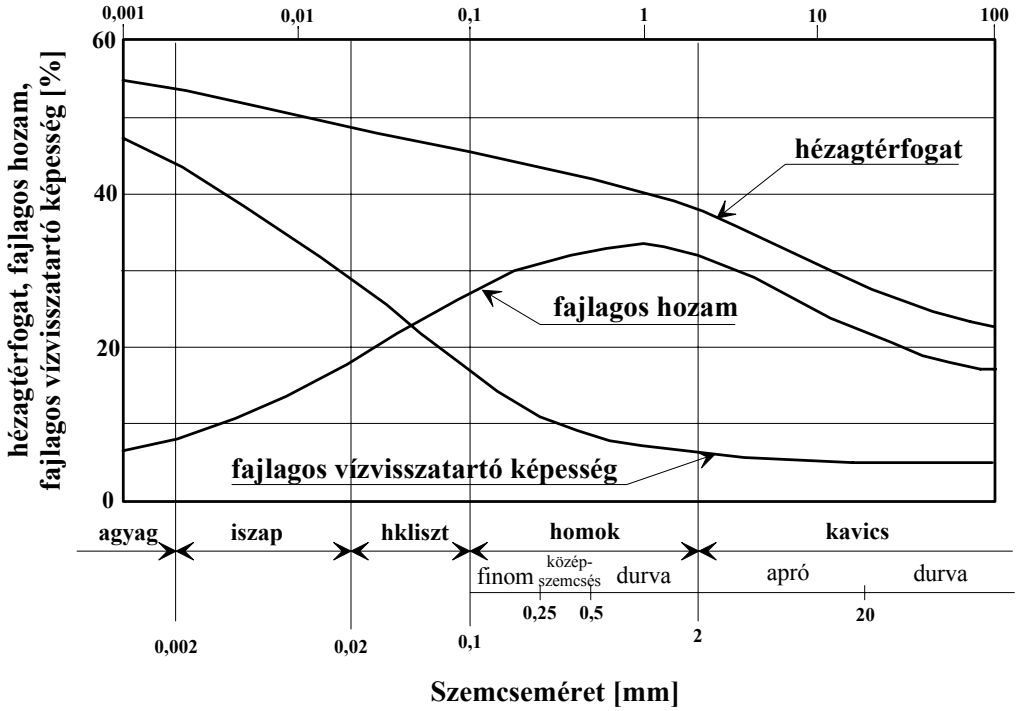
13.2.3. A fajlagos tárolási tényező és a fajlagos hozam

A nem permanens folyamatok követéséhez szükséges a fajlagos tárolási tényező és a fajlagos hozam ismerete. A tárolási tényezővel – mivel az a fajlagos tárolási tényező és a rétegvastagság hányadosaként számítható – külön nem foglalkozunk.

A fajlagos hozam az a vízmennyiség, amit a kőzet a gravitációval szemben képes visszatartani, ezért a teljes porozitás a fajlagos hozam és a kőzetek vízvisszatartó képességének összege (124. ábra).

A fajlagos hozam mérése éppen az ellenkezője a szabad hézagtérfogat mérésének, azaz a telített mintát hagyjuk szabadon leürülni, majd a leürülés közben kifolyó víz térfogatát vagy tömegét mérjük. A kifolyt vízmennyiség és a minta térfogatának a hányadosa a fajlagos hozam. A mérés iszapos és agyagos képződmények esetében nehezebb, ebben az esetben a víz távozását szűrőkövön keresztül gyenge vákuummal való szívással segítik elő, ami a mérés pontosságát erősen csökkenti (HUDAK, 1994). Néhány képződményre vonatkozó fajlagos hozam értékeket a 13.4. táblázat mutat be.

A fajlagos tárolási tényező megmutatja, hogy egységnyi térfogatú vízadó mennyi vizet képes leadni egységnyi potenciálcsökkenés hatására. A fajlagos tárolási tényezőt laboratóriumi körülmények között nehéz meghatározni, ezért a gyakorlatban nem permanens próbaszivattyúzások eredményeiből vagy kutak egymásrahatás-vizsgálati eredményeiből számítják értékét ki. A fajlagos tárolási tényezők szakirodalomban található, mértékadó értékeit a 13.5. táblázatban foglaltuk össze.



124. ábra

A hézagtérfogat, a fajlagos hozam és a képződmények vízvisszatartó képességének kapcsolata (BEAR-VERRUIJT, 1987)

13.4. táblázat

Tapasztalati fajlagos hozam értékek egyes szerzők szerint [%]					
Képződmény	**Hudak (1994)**	**Morris – Johnson (1967)**	**Linsley – Franzini (1979)**	**Walton (1970)**	**Raghunath (1982)**
Agyag	2	1-18	3	1-10	1-10
Homokos agyag	7				
Iszap	18	1-49			
Homok			25	10-30	10-30
Finomhomok	21	1-46			
Közepes homok	26	16-46			
Durvahomok	27	18-43			
Homokos kavics			16	15-25	15-25
Kavics			22	15-30	15-30
Apró kavics	25	13-40			
Középszemcsés kavics	23	17-44			
Durva kavics	22	13-25			
Lösz		14-22			
Eolikus homok		32-47			
Glaciális üledék					
Homokkő			8	5-15	10-20
Homokkő (finom)		2-40			
Homokkő (közepes)		12-41			
Mészkő és dolomit		0-36	2	0,5-5	1-10
Agyagpala			2	0,5-5	1-10
Repedezett kristályos kőzet			0,5		

13.5. táblázat

A fajlagos tárolási tényező tapasztalati értékei néhány szerző szerint [1/m]			
Képződmény	**Istok (1989) nyílt tükrű képződményekre**	**Istok (1989) zárt tükrű képződményekre**	**Domenico (1972)**
Sodorható agyag			$2.6 \div 20 \cdot 10^{-3}$
Merev agyag			$1.3 \div 26 \cdot 10^{-3}$
Közepesen kemény agyag			$9.2 \div 13 \cdot 10^{-4}$
Laza homok			$4.9 \div 10 \cdot 10^{-4}$
Tömör homok			$1.3 \div 2 \cdot 10^{-4}$
Tömör homokos kavics			$4.9 \div 10 \cdot 10^{-5}$
Repedezett, hasadékos kőzet			$3.3 \div 69 \cdot 10^{-6}$
Ép kőzet			$< 3.3 \cdot 10^{-6}$
Kavics	0,1-0,3	0,0001-0,003	
Homok	0,1-0,4	0,0001-0,004	
Iszap	0,2-0,4	0,0002-0,004	
Agyag	0,05-0,2	0,00005-0,002	
Homokkő	0,01-0,2	0,00005-0,002	
Agyagpala	0,01-0,2	0,00001-0,002	
Metamorf pala	0,01-0,08	0,00001-0,0008	
Járatos mészkő	0,01-0,05	0,00001-0,0005	
Nem üreges mészkő	0,01-0,2	0,00001-0,002	
Repedezett magmás és metamorf kőzet	0,01-0,05	0,00001-0,0005	
Nem repedezett magmás és metamorf kőzet	≈ 0	≈ 0	
Repedezett bazalt	0,01-0,2	0,00001-0,002	
Nem repedezett bazalt	≈ 0	≈ 0	
Tufa vagy breccsia	0,01-0,05	0,00001-0,0005	

13.2.4. A források és nyelők megadása (kutak, galériák)

A források és nyelők megadása különösebb gyakorlati problémákat nem okoz. A modellnek azon eleméhez, amelyikhez a forrás vagy nyelő tartozik, az elembe eső összes vízkivétel előjeles összegét kell hozzárendelni.

A végeselem módszernél ez nem jelent különösebb gondot, mert általában a háló csomópontjait úgy vesszük fel, hogy az egyes kutak éppen valamelyik csomópontba essenek. Így a csomópontra számított nyomásszint egyben a kútra – nyomásveszteség nélkül – számított vízszintet is jelenti.

A véges differencia módszernél azonban ez másképpen van. Tekintettel arra, hogy a modellszámítások egysége az elem, így valamennyi elemre egy átlagos vízszint számítható, illetve egy-egy elemhez – függetlenül az elemhez tartozó kutak számától –

egy hozamérték rendelhető. Ez a kutak hatásának összevonásához vezethet, amennyiben az egyes elemek túl nagyok. A modellezés során törekedni kell arra, hogy lehetőleg minden elembe csak egy-egy kút essen a rácsháló megfelelő sűrítése után.

Amennyiben egy elemen belül egy darab termelő vagy injektáló kút van, akkor is csak az elem átlagos víz- vagy nyomásszintjét kapjuk eredményül, ugyanakkor a modell kalibrációjához a kutak ismert és számított vízszintjeire van szükség. Az átlagos, h_e elemi nyomásszintből a kutakra érvényes – nyomásveszteség nélkül számított – h_0 nyomásszinteket ANDERSSON és WOESSNER (1992) szerint az alábbi összefüggésekkel számíthatjuk ki:

Zárt tükrű vízadóban:

$$h_0 = h_e - \frac{Q}{2\pi T}\ln\frac{r_e}{r_0}, \qquad (13.3.)$$

ahol h_e a cella átlagos nyomásszintje, h_0 a kútra számított nyomásszint, Q a kút hozama, T a transzmisszivitás, r_0 a kút sugara és r_e az effektív kútcellasugár.

Az effektív kútcellasugár $\Delta x=\Delta y$ szabályos rácsháló esetén

$$r_e = 0{,}208 \cdot \Delta x = 0{,}208 \cdot \Delta y\,. \qquad (13.4.)$$

Amennyiben a rácsháló egyenletesen sűrített, ahol a sűrítés mértéke $N=\Delta x_{x+1,j}/\Delta x_{x,j}$, akkor

$$r_e = \frac{\Delta x_{i,j}}{\sqrt{\pi}} C(N), \qquad (13.5.)$$

ahol $C(N)$ az N függvényében a 13.6. táblázatból kiolvasható konstans.

Amennyiben a háló szabálytalan de állandó osztásközű, ahol $\Delta x \neq \Delta y$ és α a cella anizometriájának maximális értéke ($\Delta x/\Delta y$ vagy $\Delta y/\Delta x$), akkor

$$r_e = \sqrt{\frac{\Delta x \Delta y}{\pi}} E(\alpha), \qquad (13.6.)$$

ahol $E(\alpha)$ a 13.6. táblázatból kiolvasható konstans

Nyílt tükrű vízadóban:

$$h_0 = \sqrt{h_e - \frac{Q}{2\pi k}\ln\frac{r_e}{r_0}}\,, \qquad (13.7.)$$

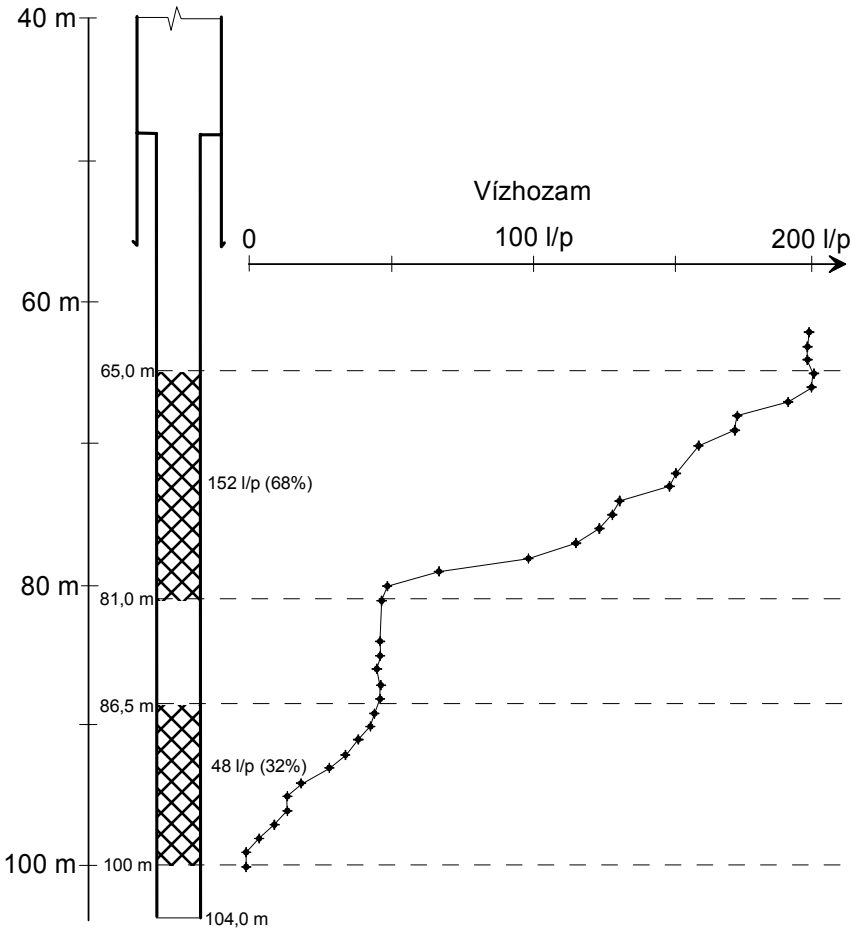
ahol a jelölések és a konstansok megegyeznek a korábbiakkal.

A kutakkal kapcsolatos másik probléma az összeszűrőzött rétegek esete. Ebben az esetben két vagy több modellrétegbe szűrőzött szakasz van, ugyanakkor csak a kitermelt összhozamot ismerjük. A hozam viszont modellrétegekre, azaz az érintett elemekre osztandó szét.

13.6. táblázat

Az effektív kútcellasugár számításhoz szükséges állandók (PRITCHETT-GARG, 1980)			
N	**C**	**α**	**E**
0	0,606531	1,1	1,002
0,1	0,606024	1,2	1,008
0,2	0,604518	1,3	1,017
0,3	0,602035	1,4	1,028
0,4	0,598614	1,5	1,041
0,5	0,594302	1,75	1,077
0,6	0,589156	2	1,118
0,7	0,583235	2,5	1,204
0,8	0,576603	3	1,290
0,9	0,569323	3,5	1,375
1	0,561457	4	1,456
1,1	0,553068	4,5	1,535
1,2	0,544214	5	1,610
1,3	0,534953	6	1,754
1,4	0,525338	7	1,887
1,5	0,515420	8	2,012
1,6	0,505246	9	2,129
1,7	0,494862	10	2,240
1,8	0,484308		
1,9	0,473623		
2	0,462843		
2,2	0,441125		
2,4	0,419385		
2,6	0,397814		
2,8	0,376572		
3	0,355786		
3,5	0,306432		
4	0,261541		
5	0,186447		
6	0,129980		
7	0,089093		
8	0,060262		
9	0,040327		
10	0,026751		

Ebben az esetben több megoldás létezik a teljes kúthozam rétegekre való szétosztásának. A legjobb és legegyszerűbb eset, ha létezik a kútnak reométerezési görbéje. Erről a grafikonról egyértelműen megállapítható az egyes szűrőzött szakaszok által szolgáltatott vízmennyiség aránya (125. ábra).



125. ábra
A Tiszadada 1/b kút reométerezési görbéje

Amennyiben reométerezési görbével nem rendelkezünk, akkor célszerű lehet a vízadó réteg transzmisszivitásával, mint súlyokkal történő súlyozott szétbontás. Ha az egyes rétegek vastagsága m_i, szivárgási tényezője k_i, transzmisszivitása T_i, a kút hozama Q, akkor az i-edik rétegre számolt hozam:

$$Q_i = Q\frac{T_i}{\sum_{i=1}^{n} T_i} = Q\frac{k_i m_i}{\sum_{i=1}^{n} k_i m_i}. \qquad (13.8.)$$

A MODFLOW program használatánál van még egy harmadik lehetőség is, ehhez szükség van a HFB1 (Horizontal Flow Boundary) csomag használatára. Ebben az esetben bármely termeltetett réteghez hozzárendeljük a Q hozamot, és a kútelem helyén a legalsó szűrőzött szinttől a legfelsőig irreálisan magas (pl. 1000 m/d) függőleges szivárgási tényezőket adunk meg. A legfelső szűrő teteje és a legalsó szűrő alja közötti szakaszon a nem szűrőzött szakaszokat pedig a HFB1 csomag segítségével kizárjuk úgy, hogy minden irányban horizontálisan a cellaperem k/m átszivárgási tényezőjét erősen lecsökkentjük (pl. 10^{-10} s^{-1}). A megoldással a nyomásszintek automatikusan kiegyenlítődnek a kútcellán belül, és az egyes rétegekből a transzmisszivitással súlyozott hozamarányok jutnak a kútba. A megoldás esetén célszerű a kútelem méreteit a lehető legjobban lecsökkenteni.

13.2.5. A felszíni vízfolyások paramétereinek megadása

A folyóvizek paramétereinek megadásával csak érintőlegesen foglalkozunk. Ennek az az oka, hogy a folyók hatását mindenesetben célszerű a helyi adottságoknak megfelelő helyszíni vizsgálatokkal kimérni.

A folyók vízrajzi adatait, mederkereszt szelvényeket a VITUKI által – általában sajnos többéves késéssel – kiadott Vízrajzi Évkönyvek tartalmazzák. Az utóbbi időben számos vízfolyás aktuális vízállását és a vízállás-változásokat az internetről is le lehet tölteni. Az egyik ilyen legjobb honlap a FETIKÖVIZIG oldaláról elérhető információs rendszer (http://www.fetikovizig.hu, Vízrajz lapon a Távadat mérőrendszer).

Egyes folyószakaszokon nagyberuházásokhoz kapcsolódóan (pl. Bős-Nagymaros Vízlépcsőrendszer építése, egyes távlati vagy működő partiszűrésű ivóvízbázisok diagnosztikája) sokkutas megfigyelőrendszer is kiépült, melyek mérése rövidebb-hosszabb ideig folyt.

Elsősorban a Dunán, de rövid Tisza szakaszokon is rendelkezésre áll a meder térképe, részben papíralapú térképeken, részben sekélyszeizmikus geofizikai mérések formájában.

A kolmatációval kapcsolatosan RÁKÓCZI (1997) végzett vizsgálatokat. A mederkapcsolati hatásfok meghatározása tekintetében VÖLGYESI (1993) közölt egy, a gyakorlatban is jól használható metodikai tanulmányt. A mederben alkalmazható beszivárgás-viszgálati módszert RÓZSA (2000) mutatott be.

Amennyiben a modellezés hidrogeológiai adatrendszerének megalapozásához szakmai ismeretekre van szükségük javasoljuk a felsorolt, magyar nyelvű irodalom áttanulmányozását, melynek segítségével kidolgozhatják a saját céljaiknak legjobban megfelelő vizsgálati rendszert, kútelrendezést.

13.2.6. A függőleges vízforgalom (beszivárgás, párolgás) megadása

A hidrodinamikai modellezés egyik legnehezebben meghatározható paramétere a maradó beszivárgás. Ennek meghatározása liziméteres mérésekkel, empirikus összefüggésekkel és terepi kútcsoportos vizsgálattal lehetséges.

A liziméteres vizsgálatokhoz a berendezés megépítésére és a vizsgálatok elvégzésére ritkán van lehetőség. A mérésekhez legalább egy év szükséges, de minimálisan a teljes téli hidrológiai félévben szükséges az észleléseket elvégezni.

A kútcsoportos vizsgálat során több kútban észleljük a vízszintek változásait és ezekből következtetünk a függőleges vízforgalom mértékére. A legismertebb ilyen módszer a Major-féle ötkutas vizsgálat (MAJOR, 1981a, 1981b).

A vizsgálathoz egy középponti (0 jelű) és négy irányban 1-1 külső kútra (1-4 jelű kutak) van szükség. A külső kutak középponti kúttól mért távolsága l_1, l_2, l_3 és l_4. A középponti és a külső kutakat összekötő vonalak felezőmerőlegesei egy általános négyszöget határoznak meg, melynek oldalhosszai a_1, a_2, a_3 és a_4. Ez a négyszög a differencia elem (126. ábra).

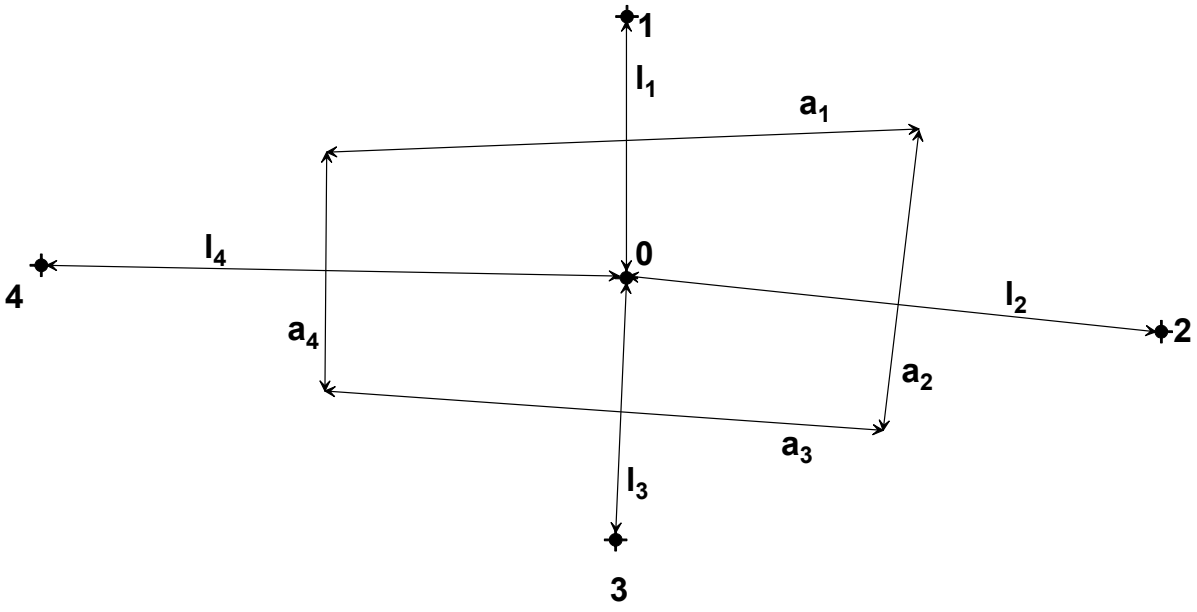
Legyen ΔH a kutak adatai és geometriája alapján számított – a differencia elem vízszintes vízforgalmával arányos – érték:

$$\Delta H = \frac{a_1}{l_1}(h_1 - h_0) + \frac{a_2}{l_2}(h_2 - h_0) + \frac{a_3}{l_3}(h_3 - h_0) + \frac{a_4}{l_4}(h_4 - h_0) = \sum_{i=1}^{4} \frac{a_i}{l_i}(h_i - h_0) \quad (13.9.)$$

akkor a függőleges vízforgalom:

$$v_f = \frac{\Delta h_0 \cdot S}{\Delta t} - \frac{T \cdot \Delta H}{F}, \quad (13.10.)$$

ahol Δh_0 a középső kút vízszintjének változása a $\Delta t = t_2 - t_1$ időintervallum alatt, T a talajvízadó transzmisszivitása, S a tárolási tényező, F a differencia-elem területe, h_0, h_1, h_2, h_3 és h_4 a kutak vízszintjei egy adott viszonyítási sík fölött. A képlet alapján definiáljuk, hogy a vertikális vízforgalom a teljes vízmérleg-változás és a vízszintes vízforgalom különbségeként kapható meg. Amennyiben a kapott szám pozitív egy adott időszakra, akkor a beszivárgás, ha negatív akkor a párolgás volt az uralkodó. A feldolgozást számítógéppel 3-6 napos időszakok sorozatára szokták elkészíteni.



126. ábra

Kútcsoport-elrendezés a Major-féle beszivárgási vizsgálathoz, és az általuk meghatározott differencia elem (MAJOR, 1981a)

Ha hosszabb adatsorok állnak rendelkezésre, akkor van lehetőség a T/S érték inverz meghatározására olyan időszak alapján, ahol a vertikális vízforgalom zérus (v_f=0), vagy két olyan időszak alapján, amikor a vertikális vízforgalom azonos nagyságú (v_{f1}=v_{f2}) volt.

Ha a vertikális vízforgalom zérus (pl. téli félév csapadékmentes időszaka után), akkor

$$\frac{T}{S} = \frac{\Delta h_0}{\Delta t} \cdot \frac{F}{\Delta H} \qquad (13.11.)$$

Amennyiben a talajvízadó nyílttükrű, akkor a tárolási tényező megegyezik a jól becsülhető szabad hézagtérfogattal, és akkor

$$T = \frac{\Delta h_0}{\Delta t} \cdot \frac{F}{\Delta H} n_0 \qquad (13.12.)$$

T és S vagy n_0 ismeretében a v_f függőleges vízforgalom számítható.

Ha a vizsgált területen nem áll rendelkezésre a megfelelő kútcsoport, akkor egy szomszédos azonos adottságú területen végzett észlelések alapján is elvégezhető a számítás. Ebben az esetben fontos, hogy a meteorológiai, beszivárgási viszonyok azonosak legyenek, azonos legyen a növénytakaró is. A talajvízadó fedőrétege vízföldtani tulajdonságainak azonosaknak kell lenniük, de nem szükséges, hogy a vízadó jellemzői is megegyezzenek.

A fedőrétegek azonossági kritériuma a két területre (I, II.):

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{m_{i,I}}{d_{hi,I}^2} \cong \sum_{i=1}^{n} \frac{m_{i,II}}{d_{hi,II}^2}, \qquad (13.13.)$$

ahol a fedőréteg vertikálisan n részre osztható és m_i az egyes rétegek vastagsága, d_{hi} az egyes rétegekre jellemző, felületegyenlőség alapján számított hatékony szemcseátmérő.

A függőleges vízforgalom meghatározása. A maradó beszivárgás általában a téli félévben domináns, ugyanakkor a nyári evapotranszspiráció hatására a talajvíz ekkorra olyan mélységbe kerül, hogy a téli félévbeli csökkent intenzitású párolgás a transzspiráció nélkül a talajvízkészletet nem fogyaszthatja. Mivel a gyökérzóna a téli félévben csak a beszivárgás kis részét kötheti le, a téli félévben a maradó beszivárgást a talajvízszint mélységétől függetlennek lehet tekinteni.

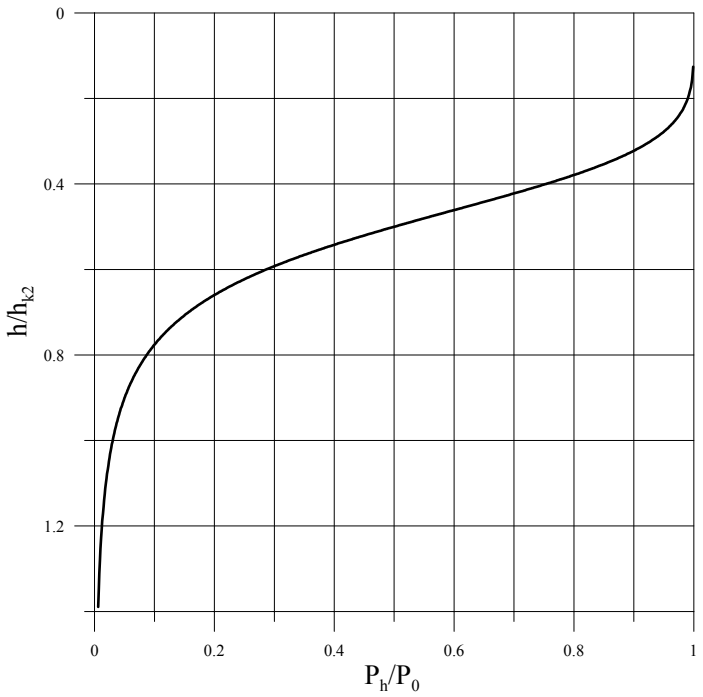
A talajvízből történő párolgást a vadózus zóna kapilláris vízemelő képessége erősen meghatározza. A növényzettel nem fedett területrészeken a párolgás a talaj legfelső részéből történik, ahova a víz a talajvízből kapilláris úton juthat fel. Ennek következménye, hogyha a talajvíz nem áramlik, akkor a talajvíz szintje nem süllyedhet mélyebbre, mint a felszínközeli párolgási zóna alatti legnagyobb kapilláris emelőmagasság. Azt a legnagyobb mélységet, ahonnan párolgás még történhet, párolgási határmélységnek nevezzük. Amennyiben a felszín csupasz, akkor a párolgási határmélységet a felszíni párolgási zóna és a kapilláris emelőmagasság, amennyiben növényzettel borított, akkor a gyökérzóna mélysége és a maximális kapilláris emelőmagasság összege adja meg.

A tapasztalatok szerint a párolgás a mélységgel erősen csökken, ugyanakkor a korábbi gondolatmenet alapján a maradó beszivárgás nem változik a mélységgel.

Liziméteres kísérletekkel MAJOR (1981a) megállapította, hogy egy „0” referencia szinten és az alatt h mélységben lévő szinten lévő talajvíz párolgásának aránya:

$$\frac{P_h}{P_0} = \frac{1}{1+\left(\frac{2h}{h_{k2}}\right)^5}, \qquad (13.14.)$$

ahol P_0 a referencia szinten mért párolgás, P_h a referenciaszint alatt h mélységben mért párolgás, h_{k2} a maximális kapilláris emelőmagasság (127. ábra).



127. ábra
A talajvízpárolgás mélységfüggvénye

A 0 referencia szint meghatározására a sokéves talajvízszint adatok alapján másik mód is nyílik. Ismerve a sokéves legalacsonyabb talajvízállást, ehhez h_{k2} értékét hozzáadva közelítően megkapjuk a „0” szintet, feltéve, hogy nincs talajvízáramlás).

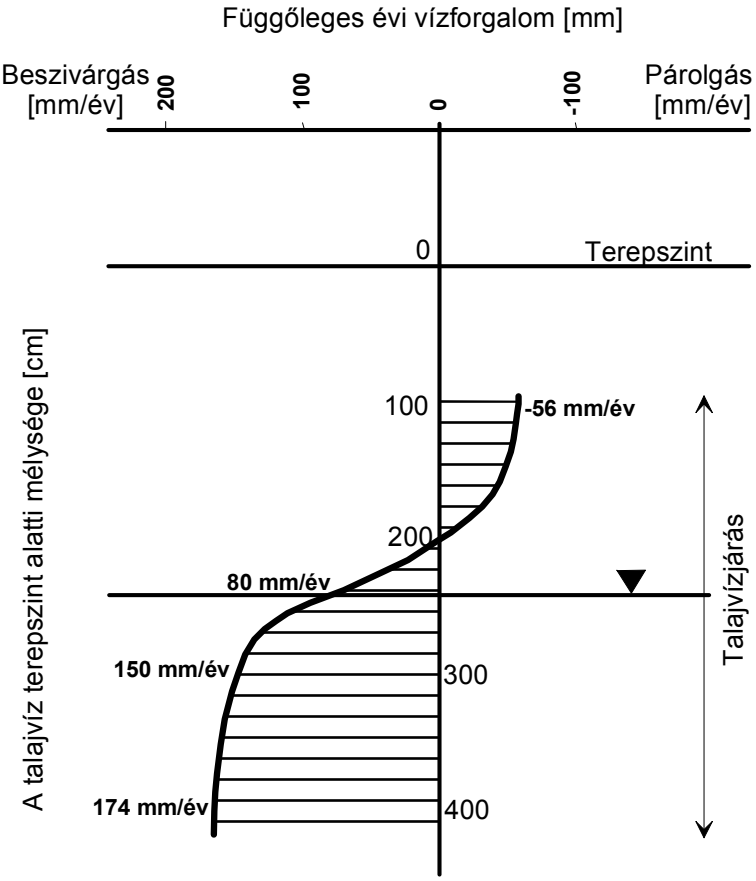
A maximális kapilláris emelőmagasságot a talajtanban a Jurin-képlettel számítják:

$$h_{k2}[cm] = \frac{0{,}3}{r_p[cm]}, \qquad (13.15.)$$

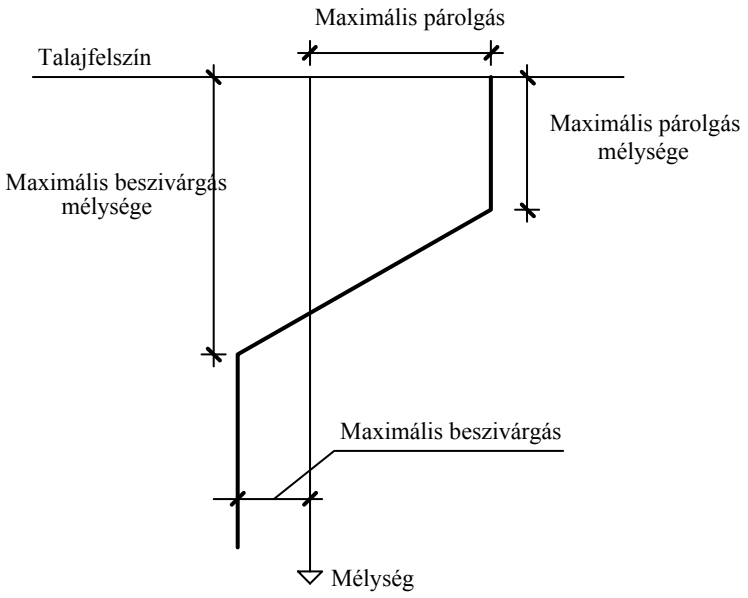
ahol r_p a pórus sugara.

Amennyiben mind a maradó beszivárgást, mind a párolgás mélységfüggvényét ismerjük, akkor ezek összegzésével a függőleges talajvízforgalom mélységfüggvényét, vagyis a talajvíz-háztartási jelleggörbét kaptuk meg (128. ábra).

Egyes számítógépes rendszerek a talajvíz-háztartási jelleggörbe egyszerűsített formáját használják a függőleges vízforgalom meghatározására. A görbe három egyenes szakaszból áll, amit négy paraméter ír le: a maximális párolgás, a felszínközeli párolgási zóna vastagsága, a maximális maradó beszivárgás és a párolgási határmélység.



128. ábra
Egy talajvíz-háztartási jelleggörbe
(MAJOR, 1981b)



129. ábra
A sematikus talajvíz-háztartási jelleggörbe
(HALÁSZ-SZŐKE, 1997)

Egyéb programok esetében a maradó beszivárgást szükséges megadni paraméterként.

Bármilyen módon is történjék a függőleges vízforgalom felszínközeli részének a megadása, megállapítható, hogy ez a folyamat – a szokásos rövid időszakokra és kis vizsgált területekre vonatkozó számításoknál – elsősorban csak a talajvízadók vízháztartása tekintetében játszik fontos szerepet, ugyanakkor egy nagy hidrogeológiai egység, pl. az Alföld rétegzett tároló rendszerének vizsgálatánál már ugyancsak nem elhanyagolható. Ugyanez mondható el a hosszú időtartamra végzett szimulációk, előrejelzések esetén is. Itt kell megjegyezni, hogy a permanens helyzetre történő számítás valójában egy végtelen időpontra történő nyomásszint meghatározás, ezért egyes permanens számításoknál a rosszul felvett talajvíz-háztartási jellemzők zavart okozhatnak.

13.2.7. A peremfeltételek meghatározása

A peremfeltételek jelentik a modellszámítások Achilles-sarkát. A rosszul megválasztott peremfeltételek egyébként teljesen jó adatrendszer esetén is meghiúsíthatják a számításokat. A peremfeltételek felvételének legfontosabb alapelve, hogy csak ott szabad használni azokat, ahol feltétlenül szükségesek, és olyan módon, hogy a vízmérleget a lehető legrugalmasabban és legkevésbé változtassák csak meg.

Amennyiben a peremfeltételeket osztályozzuk, megkülönböztethetünk kemény és puha peremfeltételeket. A kemény peremfeltétel az aktuális vízföldtani, geohidrológiai helyzettől függetlenül működik, és ezáltal módosítja az egyes elemek vízmérlegét (SZANYI, 2004). Kemény peremfeltétel az állandó nyomásszintű és az állandó vízhozamú határ. A puha peremfeltétel vízmérleg-módosító hatása nyomásszint függő, ilyen puha peremfeltétel a folyó jellegű vagy GHB perem.

Az állandó hozamú, Neumann-típusú peremfeltételek két fajtája a vízzáró és a nem vízzáró határ. A nem vízzáró határ okozza a legtöbb gondot, főképpen permanens helyzetre történő számítások esetén. Amennyiben túl sok a peremen beáramló hozam, akkor az a számítás divergenciáját okozza, ugyanis a peremi cellában a folyamatosan betáplált, túlméretezett hozam hatására a vízmérleg állandóan szufficites, ezáltal a vízszintek folyamatosan emelkednek. A nyomásszintek olyan mértékben növekedhetnek meg, hogy a számítás a számítógépes számábrázolás során túlcsordulás miatt szakad meg. Ha a betáplált vízmennyiség deficites vízmérleget okoz, akkor a termeltetett rétegekben lecsökken a vízszint, majd egy idő múlva akár ki is szárad a teljes modellezett térrész, és ezért szakad meg eredménytelenül a számítás. A tapasztalatok szerint a permanens modellek érzékenyebbek erre a hibára, mint a nem permanens modellek. A nem permanens modellek esetében megmarad annak a lehetősége is, hogy az első sikertelen, divergens számítás után akár ezredmásodpercre csökkentve a szimulált időtartamot, megtaláljuk az eredmények grafikus feldolgozása során az anomália térségét, azaz a hiba helyét.

Az állandó hozamú határ speciális fajtája, a vízzáró határ ritkán okoz problémákat, alkalmazásuk csak valóban vízzárónak tekinthető képződményekkel jellemzett térrészeknél indokolt.

Az állandó nyomásszintű, Dirichlet-típusú peremfeltételek a modell eredményeiben elsősorban torzulásokat okoznak. Az alkalmazás csak akkor okozhat divergenciát, ha

bár kijelöltük az elemet állandó nyomásszintűnek, de nem adtuk meg a nyomásszint értékét, vagy ha egymás mellett, vagy túl közel egymáshoz két nagyon eltérő nyomásszintű Dirichlet elem található. Az ilyen divergenciák elkerülése végett felszíni vizeket, szivárgókat, kutakat és galériákat stb. szimuláló cellák közvetlen közelében definiáljunk az állandó nyomásszintű cellákat.

A Dirichlet-típusú cellák általánosságban a konvergenciát segítik elő, sok esetben hibás adatrendszer esetén is konvergens a számítás, mert a rossz modellkoncepció, a hibás adatbevitel stb. okozta vízmérleg-hibákat a peremi cellák agresszív vízutánpótlással vagy szükség esetén intenzív víztelenítéssel korrigálják. Ez egyben a hibája az állandó nyomásszintű celláknak, hogy túlságosan megkötik a rendszer viselkedését.

A leginkább javasolt a puha, ún. GHB (General Head Boundary) peremfeltételek alkalmazása. Ez a peremfeltétel típus a peremi cellákban szükség esetén nyomásszint-változást is megenged, a cellának a vízmérlegét az ott kialakuló depresszióval arányos mértékben változtatva meg. Tekintettel arra, hogy így a peremi cellákban depresszió kialakulása lehetséges, ezért a peremek a legkisebb mértékben befolyásolják csak a vizsgált térrészen belül kialakuló nyomásszinteket. A GHB perem puhaságát-keménységét, egy konstanssal lehet változtatni. Ha a konstans nagy, akkor a GHB cella állandó nyomásszintű határként viselkedik.

A puha peremfeltételek használatán túl célszerű arra törekedni, hogy minél kevesebb peremi cella vízmérlegét befolyásoljuk. Például egy rétegzett tárolórendszerben az egymástól eltérő nyomásszintű vízadók közötti féligáteresztő rétegekben nem célszerű peremfeltételeket alkalmazni, mivel bennük a szivárgás uralkodóan vertikális, így a peremeken a vízkilépés minimális.

Ugyancsak nem szoktunk peremfeltételeket felvenni áramló talajvízben a modellnek a szivárgás irányával párhuzamos oldalain, csak a szivárgásra merőleges oldalak peremi celláinak vízmérlegét befolyásolva.

Valójában minden esetet felsorolni, ahol peremfeltételek alkalmazása nem szükséges, nem lehet, csak javasolható a modell vízforgalmának végiggondolásával az elhanyagolható vagy zérus vízforgalmú helyeken a peremfeltételek elhagyásával a rendszer szabadsági fokának emelése, mert a szükségtelenül használt peremfeltételek az eredmények sokszor alig észrevehető, máskor viszont jelentős hibát okozó torzulását okozhatják.

13.3. A transzport modell adatrendszerének kialakítása

A következő fejezetrészben a transzport-modellezéshez szükséges adatok meghatározási módjait mutatjuk be, illetve az egyes képződményekre legjobban jellemző értékeket soroljuk fel.

13.3.1. Az effektív diffúzió-állandó a hidrodinamikai diszperzió-állandó, diszperzivitás, diszperzió-állandó

Az effektív diffúzió-állandó, a hidrodinamikai diszperzió-állandó, a diszperzivitás és a diszperzió-állandó a szennyezőanyag szóródásának mértékét meghatározó tényezők. A diffúzió által szállított anyagmennyiséget a vizes oldatban mért diffúzió-

állandó és az azzal arányos közeg- és szennyezőanyag-specifikus effektív diffúzió-állandó határozza meg. A diffúzió-állandó meghatározásának legegyszerűbb módja Fick 2. törvényének szivárgásmentes közegre felírt alakján alapul:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_{eff} \frac{\partial^2 c}{\partial z^2}, \qquad (13.16.)$$

ahol D_{eff} az effektív diffúzió-állandó, z a távolság, t az eltelt idő és c a koncentráció, ami az oldott anyag tömege a diffúzió részére rendelkezésre álló pórustérfogathoz viszonyítva. A megoldás (KOHLER – HEIMERL, 1995):

$$C = C_0 \, erfc \frac{z}{2\sqrt{\frac{D_{eff} t}{R}}}. \qquad (13.17.)$$

A diffúzió-állandó meghatározása során ezt a függvényt illesztik az ismert z mélységben a mért koncentráció-idősorra. A megoldás hibája, hogy egyszerre határozza meg a diffúzió és szorpció hatását, ezért csak elhanyagolhatóan adszorbeálódó komponensekre (pl. klorid, lítium) vagy elhanyagolható szorpciós kapacitással jellemezhető közegre (pl. kvarchomok) ad pontos effektív diffúzióállandót.

Az effektív diffúzió-állandó és a vizes közegben mért diffúzió-állandó közötti kapcsolatot egy szorzótényezővel (impedancia-faktor) is figyelembe vehetjük (13.7. táblázat). Ennek a szorzónak a nagyságát tapasztalati úton határozták meg néhány anyagra: (LEGE et al., 1996)

$$\gamma_i = \frac{D_{eff}}{D_0} \qquad (13.18.)$$

Amennyiben a diffúzió-állandó az adott szennyezőanyagra ismeretlen, akkor KINZELBACH (1986) a 10^{-9} m^2/s érték felvételét tartja ajánlatosnak. Néhány szakirodalmi adatot az effektív diffúzió-állandókra a 13.8. táblázat, a vizes közegben mért diffúzió-állandókra a 13.9. táblázat foglal össze.

13.7. táblázat

Az effektív és a vizes közegben mért és diffúzió-állandó aránya néhány képződmény esetén (LEGE et al., 1996)

Impedancia-faktor	Képződmény, anyag	Forrás
$0{,}02 > \gamma_i > 0{,}5$	kezeletlen agyagok	DGEG-GDA (1993)
$0{,}01 > \gamma_i > 0{,}5$	konzervatív szennyezőanyagok kezeletlen közegben	Fetter (1988)
$0{,}3 > \gamma_i > 0{,}5$	laza képződmények	Wienberg-Förstner (1994)
$\gamma_i > 0{,}1$	Erősen tömörített agyagok	Wienberg-Förstner (1994)
$0{,}002 > \gamma_i > 0{,}03$	Speciális tömítőanyag résfalazáshoz	Wienberg-Förstner (1994)

13.8. táblázat

Néhány jellegzetes komponens effektív diffúzió-állandója		
D_{eff} [m^2/s]	Vizsgált közeg	Megjegyzés, szerző
Komponens : Cl^-		
$3 \cdot 10^{-10}$	Átlagérték jó agyagszigetelőrétegekre	Burkhardt és Eggloffstein, 1995
$1{,}4\text{-}1.6 \cdot 10^{-10}$	Agyagpala (Queenstone shale)	Barone, Rowe, Quigley, 1990
$4{,}7\text{-}10{,}6 \cdot 10^{-10}$	Kaolinit	Shackelford és Daniel, 1991
$4{,}7 \cdot 10^{-10}$	Agyag (Lufkin clay)	Shackelford és Daniel, 1991
$6{,}4\text{-}8{,}3 \cdot 10^{-12}$	Rétegzett agyag (Badener Tegel)	Bartl és Czurda, 1991
$5\text{-}7 \cdot 10^{-10}$	Glaciális agyag (till)	Rowe és szerzőtársai, 1993
Komponens : I^-		
$3{,}5\text{-}14{,}7 \cdot 10^{-10}$	Kaolinit	Shackelford és Daniel, 1991
$5{,}3 \cdot 10^{-10}$	Agyag (Lufkin clay)	Shackelford és Daniel, 1991
Komponens : Br^-		
$4{,}9\text{-}9{,}9 \cdot 10^{-10}$	Kaolinit	Shackelford és Daniel, 1991
$1{,}82 \cdot 10^{-9}$	Agyag (Lufkin clay)	Shackelford és Daniel, 1991
Komponens: Na^+		
$5 \cdot 10^{-10}$	Kezelt Na-bentonit pogácsák (átlag)	Lai és Mortland, 1962
$6{,}15 \cdot 10^{-10}$	Na-bentonitos pogácsák 7,8% bentonit tartalommal	Lai és Mortland, 1962
$5{,}7 \cdot 10^{-10}$	Na-bentonitos pogácsák 8,9% bentonit tartalommal	Lai és Mortland, 1962
$4{,}47 \cdot 10^{-10}$	Na-bentonitos pogácsák 12,9% bentonit tartalommal	Lai és Mortland, 1962
$3{,}6 \cdot 10^{-10}$	Na-bentonitos pogácsák 15,2% bentonit tartalommal	Lai és Mortland, 1962
Komponens: K^+		
$1{,}17\text{-}1{,}77 \cdot 10^{-9}$	Kaolinit	Shackelford és Daniel, 1991
$1{,}96 \cdot 10^{-9}$	Agyag (Lufkin clay)	Shackelford és Daniel, 1991
Komponens: Ca^{2+}		
$2{,}36 \cdot 10^{-10}$	Na-bentonitos pogácsák 17,9% bentonit tartalommal	Lai és Mortland, 1962
$1{,}95 \cdot 10^{-10}$	Na-bentonitos pogácsák 23,9% bentonit tartalommal	Lai és Mortland, 1962
$1{,}75 \cdot 10^{-10}$	Na-bentonitos pogácsák 28% bentonit tartalommal	Lai és Mortland, 1962
Komponens: Cs^+		
$10{,}4\text{-}6{,}3 \cdot 10^{-12}$	Rétegzett agyag (Badener Tegel)	Bartl és Czurda, 1991
Komponens: Sr^{2+}		
$6{,}1\text{-}4{,}4 \cdot 10^{-12}$	Rétegzett agyag (Badener Tegel)	Bartl és Czurda, 1991
$7{,}25 \cdot 10^{-10}$	Na-bentonitos pogácsák 9,8% bentonit tartalommal	Lai és Mortland, 1962
$5{,}81 \cdot 10^{-10}$	Na-bentonitos pogácsák 12% bentonit tartalommal	Lai és Mortland, 1962
$4{,}62 \cdot 10^{-10}$	Na-bentonitos pogácsák 14,6% bentonit tartalommal	Lai és Mortland, 1962
$4 \cdot 10^{-10}$	Na-bentonitos pogácsák 16,6% bentonit tartalommal	Lai és Mortland, 1962

Komponens: Co^{2+}		
$8{,}2\text{-}7\cdot10^{-12}$	Rétegzett agyag (Badener Tegel)	Bartl és Czurda, 1991
Komponens: Cr^{2+}		
$2\cdot10^{-11}$	Karbonátmentes plasztikus agyag (Eisenberg)	Czurda, Böhler és Wagner, 1989
$1\cdot10^{-12}$	Meszes, harmadidőszaki, tengeri agyagmárga (Wiesloch)	Czurda, Böhler és Wagner, 1989
$1{,}5\cdot10^{-13}$	Kvarter, szalagos agyagmárga (Ravensburg)	Wagner, 1992
Komponens: Cd^{2+}		
$2\cdot10^{-11}$	Karbonátmentes plasztikus agyag (Eisenberg)	Czurda és Wagner, 1988
$4{,}8\text{-}7{,}6\cdot10^{-10}$	Kaolinit	Shackelford és Daniel, 1991
10^{-9}	Agyag (Lufkin clay)	Shackelford és Daniel, 1991
$5\cdot10^{-12}$	Kvarter, szalagos agyagmárga (Ravensburg)	Wagner, 1992
10^{-11}	Meszes, harmadidőszaki, tengeri agyagmárga (Wiesloch)	Wagner, 1992
Komponens: Zn^{2+}		
10^{-11}	Karbonátmentes plasztikus agyag (Eisenberg)	Czurda és Wagner, 1988
$2\cdot10^{-11}$	Karbonátmentes agyagos iszap, édesvizi molassz (Hinterschlagen)	Czurda és Wagner, 1988
$2\text{-}6\cdot10^{-12}$	Kvarter, szalagos agyagmárga (Ravensburg)	Czurda és Wagner, 1988
$0{,}9\text{-}1{,}2\cdot10^{-11}$	Meszes, harmadidőszaki, tengeri agyagmárga (Wiesloch)	Czurda és Wagner, 1988
$8{,}2\text{-}10{,}3\cdot10^{-10}$	Kaolinit	Shackelford és Daniel, 1991
$2{,}54\cdot10^{-9}$	Agyag (Lufkin clay)	Shackelford és Daniel, 1991
$7\text{-}9{,}8\cdot10^{-12}$	Rétegzett agyag (Badener Tegel)	Bartl és Czurda, 1991
$2\cdot10^{-11}$	Illites-szmektites öntésagyag	Wagner, 1992
Komponens : Cu^{2+}		
$6{,}3\cdot10^{-11}$	26% illit és 27% montmor, tartalmú agyag	Kohler és Heimerl, 1995
$2{,}5\cdot10^{-11}$	Illites-kaolinites agyag	Kohler és Heimerl, 1995
10^{-12}	Kaolinites-szmektites agyagmárga	Kohler és Heimerl, 1995
$4\cdot10^{-13}$	Szmektites agyagmárga	Kohler és Heimerl, 1995
$2{,}5\cdot10^{-11}$	Karbonátmentes plasztikus agyag (Eisenberg)	Wagner, 1992
10^{-12}	Kvarter, szalagos agyagmárga (Ravensburg)	Wagner, 1992
$4\cdot10^{-13}$	Meszes, harmadidőszaki, tengeri agyagmárga (Wiesloch)	Wagner, 1992
Komponens : Pb^{2+}		
$4\cdot10^{-11}$	Illites-kaolinites agyag	Kohler és Heimerl, 1995
$8{,}5\cdot10^{-12}$	Kaolinites-szmektites agyagmárga	Kohler és Heimerl, 1995
$3{,}5\cdot10^{-12}$	Szmektites agyagmárga	Kohler és Heimerl, 1995
10^{-12}	Illites-szmektites öntésiszap	Kohler és Heimerl, 1995
$4\cdot10^{-12}$	Karbonátmentes plasztikus agyag (Eisenberg)	Czurda és Wagner, 1988
$0{,}7\text{-}1\cdot10^{-11}$	Kvarter, szalagos agyagmárga (Ravensburg)	Czurda és Wagner, 1988
$0{,}6\text{-}4\cdot10^{-11}$	Meszes, harmadidőszaki, tengeri agyagmárga (Wiesloch)	Czurda és Wagner, 1988
10^{-12}	Illites-szmektites öntésagyag	Wagner, 1992
Komponens : nehézfémek általában		
$6{,}3\text{-}0{,}04\cdot10^{-11}$	Átlagérték jó agyagszigetelőrétegekre	Burkhardt és Eggloffstein, 1995
$1\cdot10^{-16}$	Geomembrán	5 mm vastagságú fólián vizsgálva, Kohler és Heimerl, 1995

Komponens : tetraklór-etilén		
$2 \cdot 10^{-13}$	Geomembrán	Burkhardt és Eggloffstein, 1995
Komponens : diklór-metán		
$8\text{-}8{,}5 \cdot 10^{-10}$	Glaciális agyag (till)	Rowe és szerzőtársai, 1993
Komponens : metanol		
$7{,}5 \cdot 10^{-14}$	Geomembrán	Burkhardt és Eggloffstein, 1995
Komponens : apoláros szerves szennyezőanyagok általában		
$>\cdot 10^{-10}$	Megfelelő agyagszigetelőrétegek	Burkhardt és Eggloffstein, 1995
$1\text{-}0{,}01 \cdot 10^{-14}$	Geomembrán	Poláros szennyezőanyagokra is, Burkhardt és Eggloffstein, 1995

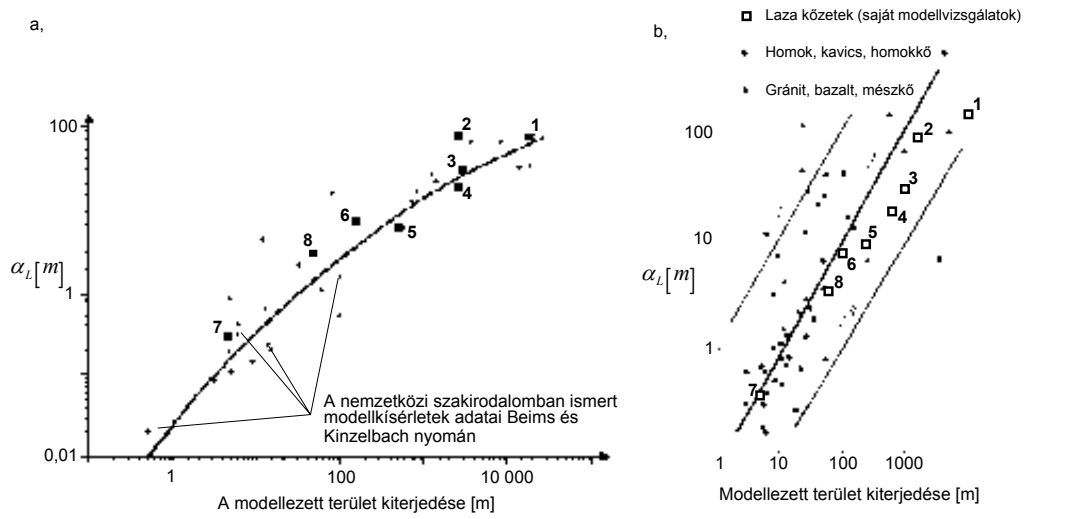
13.9. táblázat

Néhány szerves vegyület és a nehézfémek diffúzió-állandói (MÜLLER-KIRCHENBAUER, et. al. , 1997)

Anyag csoport	**Anyag**	**Diffúzió-állandó**		
Közeg		**Híg vizes oldat (10^{-10} m^2/s)**	**A szigetelő réteg pórusvize (10^{-10} m^2/s)**	**HDPE geomembrán (10^{-12} m^2/s)**
Alkohol	Metanol	14,5	4,8	0,8
Keton	Aceton	10,2	3,4	0,6
	Etilmetilketon	9,0	3,0	0,55
Szerves savak	Ecetsav			0,15
	Propinsav			0,15
Észter	Ecetsav-etilészter	8,4	2,8	0,15
Aldehid	Formaldehid-oldat	17,8	5,9	0,8
Klórozott szénhidrogének	Kloroform	9,2	3,1	0,25
	Széntetraklorid	8,7	2,9	0,25
	Triklóretilén	8,4	2,9	0,25
	1,2-Diklóretán	9,1	3	0,25
	Tetraklótetilén	7,6	2,5	0,25
	1,2-Diklórpropán	8	2,7	
	Klórbenzol	8,1	2,7	0,25
Aromás szénhidrogének	Benzol	9,0	3,0	0,2
	Etilbenzol	6,8	2,3	0,2
	Xilol	7,2	2,4	0,2
	Toloul	8	2,7	0,2
	Naftalin	7	2,3	
Alifás szénhidrogének	Pentán	8	2,7	0,2
	Hexán	7,2	2,4	0,2
	Heptán	6,6	2,2	0,2

A hidrodinamikai diszperzió-állandó és a diszperzivitás – mint azt az 5.1.2.3. fejezetben tárgyaltuk – egymásból származtatható mennyiségek, a különböző számítási rendszerek – eltérő megfontolások alapján – mindkettőt gyakran használják. A két paraméter határozza meg a szennyezőanyagnak a lokális sebességvektor irányának és nagyságának hatására bekövetkező szóródásának, a hidrodinamikai diszperziónak mértékét. A hidrodinamikai diszperzió fogalmába ugyanakkor nem fér bele a diffúzió miatti anyagvándorlás. Mivel a hidrodinamikai diszperzió-állandó a szivárgási sebességgel kapcsolatos mennyiség, és a szennyezőanyagok terjedésének mértéke eltérő a szivárgás sebességére merőlegesen és azzal azonos irányban, ezért megkülönböztetünk longitudinális és transzverzális hidrodinamikai diszperzió-állandót, illetve longitudinális és transzverzális diszperzivitást.

KINZELBACH (1986) – BEIMS (1983) adatai alapján végzett – elemzése korrelációt mutatott ki a modellezett terület kiterjedése (léptéke) és a jellemző longitudinális diszperzivitás értéke között. Hasonló eredményre jutott az amerikai WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY BOARD OF THE NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1990), amikor a porózus és repedezett közegbeli transzportmodell-vizsgálatokat elemző, összegző jelentést készített. Megállapították, hogy a modell léptéke és a longitudinális diszperzivitás értéke között általában 10:1 – 100:1 arány jellemző. Ellenőrzésképpen néhány hazai modellvizsgálat adatait is feltüntettük az ábrákon. (130. ábra)



130. ábra

A longitudinális diszperzivitás és a modell léptéke közötti összefüggés, KINZELBACH (1986) és WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY BOARD (1990) nyomán

Saját tapasztalatunk szerint a longitudinális diszperzivitás értékét az alábbi, a Gauss-féle közelítés alapján meghatározott empirikus összefüggéssel közelíthetjük:

$$\alpha_L = 332 \cdot e^{-0,1(\lg L 8,4)^2}, \qquad (13.19.)$$

ahol L a modell léptéke (kiterjedése) [m]. A megadott összefüggés meredeksége (L/α_L arány) mintegy 10 m-es modell-léptékig közel 10:1, de nagyobb léptékek esetén akár 100:1 fölé is növekedhet.

A diszperzió állandó kis léptékek esetén laboratóriumban mérhető: ilyen berendezéseket PONGRÁCZ (1981) és ÚJFALUDI (1985) is szerkesztett, de számítható oszlopkísérlet során mért áttörési görbék érintőjének meredekségéből is (RIFAI et. al. 1956). A szerzők levezették, hogy a longitudinális diszperzió-állandó

$$D_L^* = \frac{vL}{4\pi E^2} \tag{13.20.}$$

összefüggéssel számítható, ahol v a folyadék lineáris szivárgási sebessége, L az oszlop magassága és E az áttörési görbe érintőjének meredeksége egységnyi pórustérfogatnyi effluens esetén. (KREMPER, 1998)

PERKINS és JOHNSTON (1963) a D_L^* longitudinális diszperzió-állandót vízrekesztő képződmények esetén az alábbi formulával javasolják kiszámítani:

$$D_L^*\left[\frac{m^2}{a}\right] = D_{eff} + 1{,}75 \cdot d_{50}[m] \cdot v\left[\frac{m}{a}\right], \tag{13.21.}$$

ahol d_{50} az átlagos szemcseátmérő.

BRUCH ÉS STREET (1967) szerint durvahomokok esetén a

$$D_L^* = 1{,}8 \cdot \nu \cdot \mathrm{Re}_{50}^{1{,}205} \tag{13.22.}$$

$$D_T^* = 0{,}11 \cdot \nu \cdot \mathrm{Re}_{50}^{0{,}7} \tag{13.23.}$$

összefüggés érvényes, ahol

$$\mathrm{Re}_{50} = \frac{vd_{50\%}}{\nu}, \tag{13.24.}$$

ahol v a szivárgás Darcy-féle sebessége, $d_{50\%}$ az 50%-os szemcsemérethez tartozó szemcseátmérő és ν a folyadék kinematikai viszkozitása (BOUWER, 1978).

13.3.2. A szorpciós izotermák jellemzői, megoszlási együttható és a késleltetés

A szorpciós izotermákat laboratóriumi mérésekkel lehet a vizsgált szennyezőanyagra és közegre meghatározni. A laboratóriumi vizsgálat menetét a megfelelő talajtani szakkönyvek és szakcikkek (CZINKOTA et al., 2002; KONDA et al. 2002; FÖLDÉNYI et al. 2004) részletesen leírják. Olyan területen, ahol sok talaj és talajvízkoncentráció mérési adat áll rendelkezésre megkísérelhető a talajvízadó kőzetre és a talajvíz szennyezettségére vonatkozó adatpárokból is a szorpciós izoterma felvétele. A megoldás ötletes, de sokszor nem áll kellő mennyiségű és pontosságú mérési adat a meghatározáshoz rendelkezésre.

A megoszlási együttható a szorpciós izoterma érintőjének meredeksége, ami a valóságban a koncentráció függvényében folyamatosan változik. Amennyiben lineáris adszorpciót tételezünk fel, akkor a K_d megoszlási együttható alapján számítható a késleltetés:

$$R = 1 + \frac{K_d \rho_b}{n}, \qquad (13.25.)$$

ahol ρ_b a közeg száraz állapotra vonatkoztatott sűrűsége és n a hézagtérfogat.

13.10. táblázat

A késleltetés nagysága néhány szerző szerint CZURDA-WAGNER (1988), WAGNER (1992), SHACKELFORD (1990), CZURDA-WAGNER (1991), EGGLOFFSTEIN-BURKHARDT-MAINKA (1996)		
A vizsgált anyag	**A szennyezőkomponens**	**R**
Karbonátmentes plasztikus agyag (Eisenberg)	Zn	3-6
Karbonátmentes plasztikus agyag, édesvízi molassz (Hinterschlagen)	Zn	5-9
Kvarter szalagos agyagmárga (Ravensburg)	Zn	10-20
Meszes, harmadidőszaki tengeri agyagmárga (Wiesloch)	Zn	10-20
Márga (Mühlacker)	Zn	~ 10
Márga (Mühlacker)	Cd	~ 7
Márga (Mühlacker)	Pb	~ 70
Illites-kaolinites agyag (Eisenberg)	Cd	6
Illites-kaolinites agyag (Eisenberg)	Cr	23-35
Illites-kaolinites agyag (Eisenberg)	Cu	6
Illites-kaolinites agyag (Eisenberg)	Pb	15-22
Illites-kaolinites agyag (Eisenberg)	Zn	5,2-7,5
Tömörített agyag (kaolinit)	Cl	1
Tömörített agyag (kaolinit)	K	26,3
Tömörített agyag (kaolinit)	Zn	92,7
Tömörített agyag (kaolinit)	Cd	371
Szalagos agyagmárga (Badener Tegel)	Sr	95-145
Szalagos agyagmárga (Badener Tegel)	Cs	48-78
Iszapos, agyagos talajok	Szervetlen és szerves kationok	3-80
Iszapos, agyagos talajok	Szervetlen és szerves anionok	2-5
Iszapos, agyagos talajok	Semleges, poláros szerves vegyületek	1-5
Iszapos, agyagos talajok	Semleges, apoláros szerves vegyületek	1-2

A retardációs faktor (R, késleltetés) a következőképpen is értelmezhető:

$$R = \frac{c_{teljes}}{c_{mobil}}, \qquad (13.26.)$$

ahol c_{teljes} a koncentráció pusztán advektív transzport figyelembe vételével, c_{mobil} a koncentráció valamennyi transzport-folyamat figyelembe vételével. A késleltetés másik definíciója ebből következik, azaz hogy a késleltetés a víz szivárgási sebességének és a szennyezőanyag-front előrehaladási sebességének az aránya. Az értelmezés szerint a késleltetés egy 1-nél nagyobb szám.

$$R = \frac{v_p}{v_{c50\%}} \qquad (13.27.)$$

ahol v_p a víz pórusbeli, és $v_{c50\%}$ az 50%-os relatív koncentrációértékhez tartozó front mozgásának sebessége.

A késleltetés meghatározása elvégezhető laboratóriumi kísérlettel (SZABÓ et al. 2001), de sokszor a tapasztalt koncentráció eloszlás és az ismert, a szennyezőanyag talajvízbe jutása óta eltelt idő ismeretében becsülhető is. A késleltetésre vonatkozó szakirodalmi adatokat a 13.10. táblázat ismertet.

13.3.3. A bomlási együttható és a felezési idő

A szennyezőanyagok radioaktív bomlását a felezési idővel írjuk le. Az egyes izotópok *T* felezési idejét jól ismerjük, ezeket a fontosabb fizikai alapművek tartalmazzák. A szerves vegyületek bomlása bekövetkezhet hidrolízis útján és biodegradációval, melyeket a λ bomlási állandóval vehetünk figyelembe. A felezési idő és a bomlási állandó könnyen átszámítható egymásba:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} \quad . \qquad (13.28.)$$

13.11. táblázat

Néhány szerves vegyület hidrolitikus bomlásának intenzitása (DRAGUN, 1988)					
Vegyület	**Felezési idő**	**Vegyület**	**Felezési idő**	**Vegyület**	**Felezési idő**
acetamid	3950 év	dikloro-acetamid	0,73 év	jodometán	110 nap
atrazin	2.5 óra	dikloro-jodometán	275 év	2-jodopropán	2,9 nap
azirdin	154 nap	dikloro-metán	704 év	3-jodopropán	2 nap
benzol-klorid	16 mp	dikloro-metiléter	25 mp	izobutil-amid	7700 év
benzil-bromid	1,32 óra	dietil-metilfoszfonát	990 év	izopropil-bromid	2 nap
benzil-klorid	15 óra	dimetoxiszulfon	1,2 perc	izopropil-etanoát	8,4 év
benzilidén-klorid	0,1 óra	1,2-dimetil-epoxietán	15,7 nap	malation	8,1 nap
bromo-acetamid	21200 év	1,1-dimetil-epoxietán	4,4 nap	metoxi-acetamid	500 év
bromo-klorometán	44 év	difenil-foszfát	20,6 nap	n-metil-acetamid	38000 év
bromo-diklorometán	137 év	epoxietán	12 nap	metil-kloroetanoát	14 óra
bromoetán	30 nap	3,4-epoxi-ciklohexén	6 perc	metil-dikloroetanoát	38 perc
1-bromohexán	40 nap	3,4-epoxi-ciklooktán	52 perc	metil-epoxietán	14,6 nap
3-bromohexán	20 nap	etion	9,9 nap	metil-parathion	10,9 nap
bromometil-epoxietán	16 nap	n-etil-acetamid	70000 év	metil-trikloro-etanoát	<3,6 perc
1-bromo-3-fenil-propán	290 nap	etil-acetát	136 nap	monometil-foszfát	1 nap
1-bromopropán	26 nap	etil-butanoát	5,8 év	paration	17 nap
3-bromopropán	12 óra	etil-transz-butanoát	17 év	fenil-dikloroetanoát	3,7 perc
kloro-acetamid	1,46 év	etil-difluoro-ethanoát	23 perc	fenil-etanoát	38 nap
kloro-dibromoetán	274 év	etil-dimetil-etanoát	9,6 év	foszfonitril-haxamid	46 nap
kloroetán	38 nap	etil-metil-tioetanoát	87 nap	propadienil-etanoát	110 nap
kloro-fluoridometán	1 év	etil-fenil-metanoát	7,3 év	tetra-klorometán	7000 év
klorometán	339 nap	etil-propanoát	2,5 év	tribromometán	686 év
klorometil-epoxietán	8,2 nap	etil-propénoát	3,5 év	trikloro-acetamid	0,23 év
2-kloro-2-metilpropán	23 mp	etil-propinoát	17 nap	triklorometán	3500 év
2-kloropropén	2,9 nap	etil-piridil-metanoát	0,41 év	trikloro-etilbenzén	19 mp
3-kloropropén	69 nap	fluorometán	30 év	trietil-foszfát	5,5 év
ciklopentán-karboxamid	5500 év	2-fluor-2-metil-propán	50 nap	trietil-tiofoszfát	8,5 év
dibromoetán	183 év	hidroxi-metilpropán	28 nap		
1,3-dibromopropán	48 nap	jodoetán	49 nap		

Néhány szerves vegyület felezési idejét a 13.11. táblázat , bomlási állandóját a 13.12. táblázat tartalmazza.

13.12. táblázat

A szerves anyag talajban lejátszódó biodegradációjának intenzitása (MABEY - MILL, 1978)					
Vegyület	**Bomlási állandó [d^{-1}]**	**Vegyület**	**Bomlási állandó [d^{-1}]**	**Vegyület**	**Bomlási állandó [d^{-1}]**
Aldrin, dieldrin	0,013	Difenamid	0,123	Parakvát	0,0016
Atrazin	0,019	Fonofos	0,012	Pikloram	0,0073
Bromacil	0,0077	Glifoszfát	0,1	Simazin	0,014
Karbaril	0,037	Heptaklór	0,011	TCA	0,059
Karbofurán	0,047	Lindán	0,0026	Terbacil	0,015
DDT	0,00013	Linuron	0,0096	Trifluralin	0,008
Diazin	0,023	Malation	1,4	2,4-D	0,066
Dikamba	0,022	Metil-paration	0,16	2,4,5-T	0,035

13.3.4. A transzportmodellek peremfeltételinek megadása

A transzportmodellezésnél a peremfeltételek helytelen megadása kevésbé jelent problémát. Ennek az az oka, hogy a modellezendő térrészt általában úgy választjuk meg, hogy kellően távol essen a szennyezett területrész határaitól, ennek megfelelően a gyakorlatban alárendelt a peremek hatása az eredményekre.

14. A modellek paraméter-érzékenysége

A modellezés során alapvető fontosságú annak megismerése, hogy a modellezett rendszer az elkövetett pontatlanságokra, esetlegesen a hibákra mennyire érzékeny. A modell érzékenységét alapadat-érzékenységi vizsgálattal lehet eldönteni. A vizsgálat megkezdéséhez rendelkezni kell egy működőképes és jónak talált modellel.

A modellben célszerű megvizsgálni az ismert potenciálú vagy koncentrációjú helyeken a modell hibáját, melyet az úgynevezett *RMS* (***Residual Mean Square***) értékkel határozunk meg. Az *RMS* hiba adja meg a valós (potenciál vagy koncentráció) felület és a számított felület közötti átlagos egydimenziós szórás nagyságát. Az *RMS* hibát a következő módon számítjuk ki:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(z_{i,mért} - z_{i,számított}\right)^2}{n-1}}, \qquad (14.1.)$$

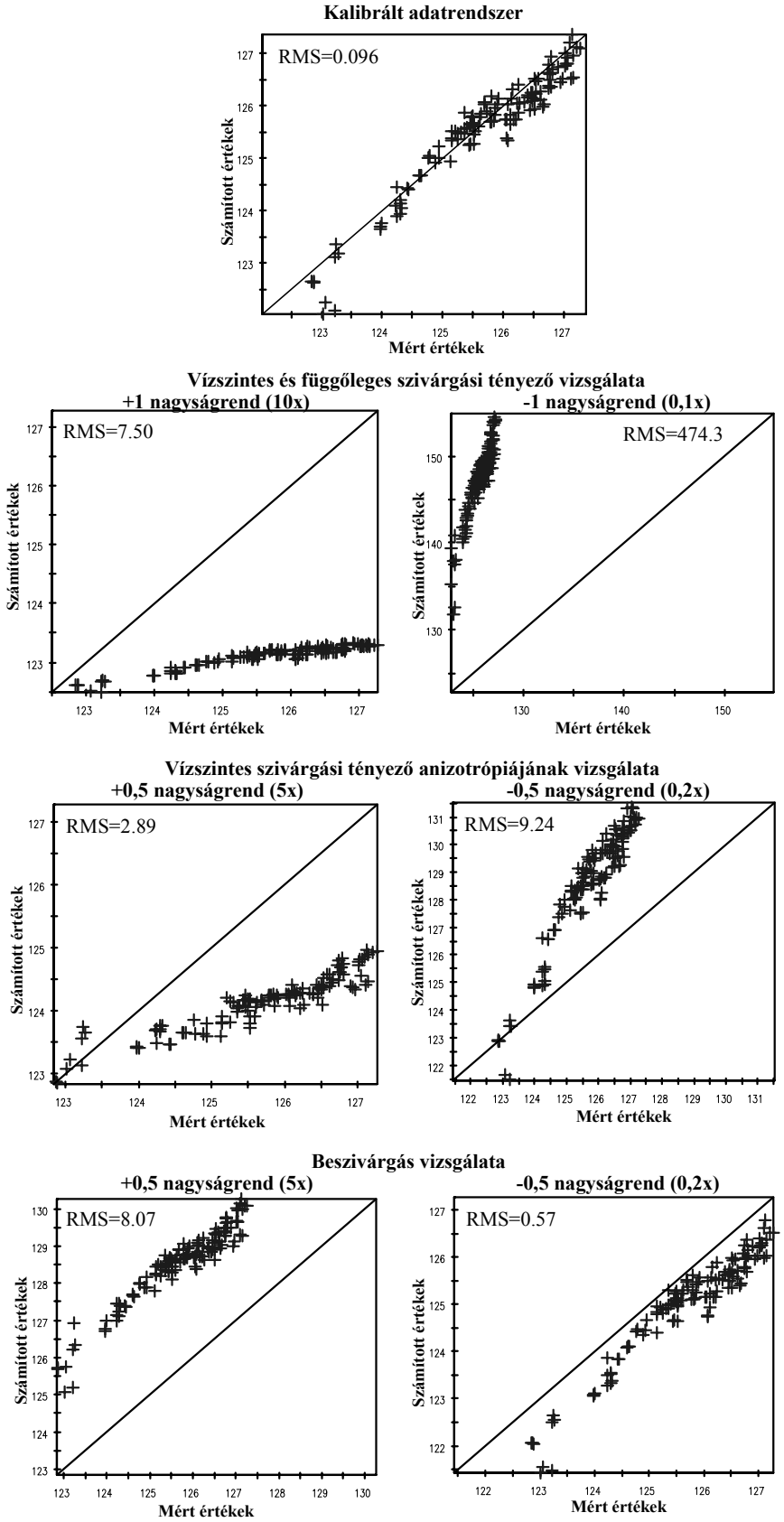
ahol n a vizsgált pontok száma, $z_{i,mért}$ az adott ponton a mért és $z_{i,számított}$ a számított érték.

A Processing MODFLOW környezetben a mért értékeket a **Parameters → Boreholes and Observations** menüben kell megadni, az *RMS* hiba számított értékét pedig a **Tools → Graphs → Head-Time** menün belül a Scatter diagram megrajzolásánál olvashatjuk le.

Az alapadat-érzékenységi vizsgálat során egyes paraméterek ismert mértékű megváltoztatása esetére vizsgáljuk meg az RMS hiba változását. Példaként egy olyan hidrodinamikai modellt mutatunk be, ahol a műszaki ellenőr által előírt *RMS* hiba, kisebb mint 0,1 m, azaz a háromvízadós rendszerben az ismert pontokban a felület átlagos hibája nem lehetett nagyobb mint 10 cm. Ez eléggé nagynak tűnik, de ha figyelembe vesszük, hogy minden modellnél előfordulnak különlegesen viselkedő modellterületek, ahol a hiba sokszor elérheti az 1 m-t is, akkor a többi részen igen pontos modellt kell előállítani a feltétel teljesítéséhez.

Ezután megvizsgáltuk, hogy a modellre milyen hatással van ± 1 nagyságrendnyi hiba a szivárgási tényezőben, illetve ± fél nagyságrendnyi hiba a szivárgási tényező anizotrópiájában, végül a beszivárgásban (131. ábra).

Az ábrákról látható, hogy a szivárgási tényezőben egy nagyságrenddel felfelé történő tévedés esetén a vízszintek a mérthez képest lecsökkennek (*RMS*=7.5), ugyanekkora lefelé való tévedés esetén a modell teljesen szétesik (*RMS*=474.3). Az anizotrópia kevésbé hat a rendszerre, de látszik, hogy van a modellnek egyfajta irányítottsága, mivel az anizotrópia növelése és csökkentése eltérő mértékű hatással van az eredményekre. A beszivárgás emelése és csökkentése szinte azonos mértékben emeli, illetve csökkenti a vízszinteket a területen, miközben az RMS hiba csak kismértékben változik.



131. ábra

Egy hidrodinamikai modellszámítás alapadat-érzékenységi vizsgálatának eredményei

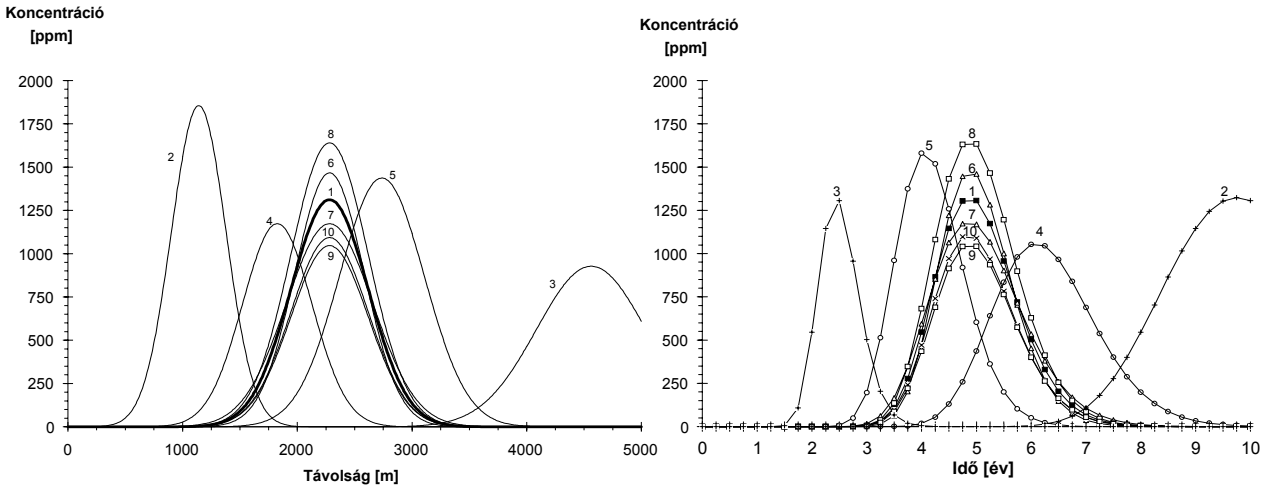
A vizsgálat tanulsága, hogy amennyiben a vízszintek átlagos értéke a valós szintek közelében van, akkor a beszivárgás becslésében nagy hibát nem követhettünk el. A rendszer különlegesen érzékeny a szivárgási tényezőkre. Ezt az okozta, hogy a modellezett területen a felszín alatti vizek áramlanak, mely áramlást zavarják a nem megfelelően meghatározott szivárgási tényezővel jellemzett képződmények. Az anizotrópia irányok megváltoztatásának eltérő mértékű hatása a hibára is az áramlás irányára merőleges és azzal párhuzamos irányok eltérő viselkedéséből fakad.

Transzportmodellek esetén a transzportparaméterekben elkövetett hibák a számítások eredményeit eltérő mértékben befolyásolják. Mint azt NACHTNEBEL és BÁRDOSSY (1990) megállapítják, a transzportfolyamatok jellemzésénél *elsődleges fontosságú a peremfeltételek által jelentősen befolyásolt nyomás-eloszlás pontos ismerete*, ugyanakkor a rétegek geometriai jellemzőinek hibái az eredményeket kevésbé befolyásolják. Mindez a szivárgási sebességmező lehetőség szerinti legpontosabb megismerésének szükségességét jelenti, amely a *transzportegyenlet advektív-diszperzív tagjai pontosságának jelentőségére* utal. Ugyanakkor a transzportegyenlet diszperzív tagjait a longitudinális és transzverzális diszperzivitás nagysága erősen befolyásolja. A transzportegyenletekben szereplő paraméterek hatásának összehasonlító vizsgálatát a szuhogyi veszélyes hulladéklerakó hatásvizsgálata során készített számítás (SZABÓ - KOVÁCS, 1992) alapján mutatjuk be. A számítást a transzportegyenlet egydimenziós, analitikus megoldása felhasználásával végeztük el. Először az egyes paraméterek jellemző értékeit határoztuk meg, illetve a meghatározás lehetséges hibája alapján az adott paraméter előforduló maximális és minimális értékét becsültük meg (14.1. táblázat). A koncentráció időbeli és térbeli változását az ilyen módon kialakított 10 paraméterkombináció segítségével számítottuk. A kapott áttörési görbékről és koncentráció-eloszlásokról látható, hogy a koncentráció-eloszlás jellegét a diszperzivitás, a szabad hézagtérfogat, valamint a bomlási együttható változása nem befolyásolja, ugyanakkor a szivárgási sebesség nagyságának, valamint a késleltetés értékének megváltozása igen. Mindez azt jelenti, hogy a felsorolt első három paraméter okozta hibák összegződnek, hatásuk erősítheti és gyengítheti is egymást, de a kapott eredmények jellegükben helyesek maradnak, azaz néhány észlelési érték alapján a számított koncentráció-eloszlás a valós helyzethez igazítható, a modell kalibrálható. Nem mondható el ugyanez a késleltetés és a szivárgási sebesség okozta hibákról, melyek az áttörési görbéket és a koncentráció-eloszlást is jelentősen módosítják. A gyakorlatban előforduló inhomogén áramlási térben ezek a hibák nehezen javíthatók (132. ábra).

A bemutatott érzékenységi vizsgálatsor alapján megállapítható, hogy a transzportmodellezés egyik sarokpontja a *megfelelően reprezentatív áramlási tér kialakítása*, a hidrodinamikai modell paraméterhibái előfordulási lehetőségének minimalizálása (BÍRÓ et al., 1998). Problémát jelent a nem-konzervatív, adszorbeálódó szennyezőanyagok mozgásának követése. Ilyen anyagokkal a gyakorlatban sokszor találkozhatunk, ugyanakkor szorpciós tulajdonságaikat többnyire nem ismerjük, ezért ebben az esetben a transzportmodellek kizárólag közelítő becslések számítására alkalmasak.

14.1. táblázat

A transzportparaméterek minimális, jellemző és maximális értékei a szuhogyi hulladéklerakó érzékenységi vizsgálatához (1992)					
Paraméter	**Szivárgási sebesség [m/nap]**	**Szabad hézagtérfogat [-]**	**Longitudinális diszperzivitás [m]**	**Késleltetés [-]**	**Bomlási együttható [1/nap]**
Jellemző érték	1,5	0,15	25	1,2	0
Becsült minimális érték	0,75	0,12	20	1	0
Becsült maximális érték	3	0,18	31,5	1,5	10^{-4}



Alapgörbe (1)
Minimális(2) vagy maximális(3) szivárgási sebesség
Minimális(4) vagy maximális(5) késleltetés
Minimális(6) vagy maximális(7) diszperzivitás
Minimális(8) vagy maximális(9) szabad hézagtérfogat
Maximális bomlási együttható(10)

132. ábra

A szennyeződés-terjedési számítások alapadat-érzékenységi vizsgálatának eredményei a szuhogyi lerakó adatrendszerének felhasználásával 1D analitikus megoldás esetén

A) A koncentrációk a forrástól mért távolság függvényében t=5 év időpontban

B) A koncentrációk az eltelt idő függvényében a forrástól mért 2250 m távolságban

15. A numerikus hibák kiküszöbölése

Mint azt az elméleti részben tárgyaltuk (4.2.2.3. és 5.2.2.2. fejezet), négy alapvető numerikus hibatípust lehet megkülönböztetni: az instabilitást, az oszcillációt, a numerikus diszperziót és az „Undershoot-Overshoot" (alálövés-fölélövés) típusú hibákat (SZABÓ - KOVÁCS, 1995).

Az instabilitás leküzdéséhez a gyakorlatban előforduló legfontosabb okokat kell ismernünk, ezek:

- a konvergencia- vagy más néven stabilitási-kritériumnak nem megfelelő időlépcső alkalmazása,
- irreális modelladat-rendszer (lásd 11.4.8. fejezet), azon belül is:
- mértékegység-hibák,
- helyiérték hibák,
- egymást kizáró paraméterek használata.

A megoldás alapvetően akkor válik divergenssé, ha lehetőség van az anyagmérleg számításakor arra, hogy egy adott elemből több anyag (víz vagy szennyezőanyag) távozzék, mint amennyit abban az elemben az időlépcső elején tároltunk. Tekintettel arra, hogy az eltávozó anyagmennyiség az eltelt idővel egyenesen arányos és mind a hidraulikus-, mind a koncentráció-gradiens az adott időlépcsőben állandó, ezért az időlépcső csökkentése ilyen hibák esetén előbb-utóbb stabilitást eredményez.

Összefoglalva az elméleti részben leírtakat a hidrodinamikai modellekre érvényes a (4.71.) stabilitási kritérium:

$$\frac{T}{S}\left(\frac{\Delta t}{\Delta x^2}+\frac{\Delta t}{\Delta y^2}\right)\le\frac{1}{2}, \tag{15.1.}$$

míg a transzportmodellek akkor válnak stabillá, ha kétdimenziós esetben (5.61.) egyenlet teljesül:

$$Co_x=\left|\frac{\Delta t\cdot v_x}{\Delta x}\right|\le 1,\ Co_y=\left|\frac{\Delta t\cdot v_y}{\Delta y}\right|\le 1, \tag{15.2.}$$

illetve előrelépéses differenciák esetén : $Co_x+Co_y\le 1$ (15.3.)

Háromdimenziós transzportmodell-számításoknál a stabilitási kritérium alakja megváltozik (5.62.):

$$Co=\left|\frac{\Delta t\cdot v(x,y,z)}{\Delta l}\right|\le 1. \tag{15.4.}$$

Minden megoldásnál szükséges, hogy az úgynevezett forrás-nyelő kritérium is érvényesüljön (5.64.), azaz:

$$\Delta t\le\frac{n_0 m_{i,j}}{q_{i,j}}. \tag{15.5.}$$

A jelölések megfelelnek az elméleti részben tárgyaltaknak.

Általában a megoldás stabillá válik, ha $\omega \geq 1/2$ értéket veszünk fel a (4.57.) egyenletben (LAPIDUS és PINDER, 1982).

A nagyon kicsi időlépcsővel elért stabilitás azonban „pirruszi" győzelem csak, mert az eredmények szinte bizonyosan rosszak, részben a fel nem lelt hibák, részben a soklépéses iteráció hatására megnövő numerikus diszperzió miatt. Általában, ha nincsen túl nagy méretbeli különbség az elemek között, továbbá fizikailag reális feladatot fogalmaztunk meg, akkor a számítás gyors, nincs szükség másodperces vagy perces nagyságrendű időlépcsők alkalmazására.

A hibák kereséséhez – ennek ellenére – célszerű „bármi áron" egy stabil megoldáshoz jutni, mert az már lehetővé teszi a hibakeresést. Amennyiben más mód nincsen, úgy végezzünk el egy alaphelyzetből induló nem permanens számítást akár 1 századvagy ezredmásodperces időre, majd összevetve a kapott és az eredeti nyomásszinteket, esélyünk van felfedezni az instabilitás kiindulópontját, azaz azt vagy azokat a cellákat, ahol a vízmérleg felborul. Amennyiben ezek a helyek megvannak, akkor célszerű az összes adott cellához vagy térséghez tartozó elemhez rendelt paramétert ellenőrizni.

A hidrodinamikai számítások során jó megoldás, ha az adott térség vízmérlegét külön kiszámítjuk pl. MODFLOW használata esetén a „Waterbudget" programmal, majd a vízmérleg komponensei között kiugró értékeket próbálunk keresni. Általában egy jól kiválasztott modellrész vízmérlege elárulja, hogy milyen komponensek (pl. források és nyelők, felszíni vízből való betáplálás, maradó beszivárgás stb.) körében kell az instabilitás okát keresni.

Amennyiben látszólag minden rendben van, akkor gondoljuk még egyszer végig az alkalmazott mértékegységrendszert, hiszen a modellezés során magunk döntünk arról, hogy mit használunk a hosszúság [L], az idő [T] és a tömeg [M] dimenziójaként, amiből azután minden egyéb paraméter dimenziója következik. Sokszor véletlenül következetlenül adjuk meg a paramétereket, pl. a maradó beszivárgást mm/évben szokták gyakorlati kezelhetőség miatt megadni, de ha ezt akarjuk használni, akkor a cellák méretét is mm-ben, a szivárgási tényezők értékét is mm/év dimenzióban, stb. kell megadni. Tekintettel arra, hogy a másodperc és a nap között a váltószám 86400, ezért a dimenzió-hibáknál sajnos könnyen véthetünk akár 5-7 nagyságrendben is hibákat, ami a rendszer biztos instabilitásához vezet.

A transzportszámításoknál még könnyebb mértékegység hibát véteni, mert az egyes kémiai komponensek határértékei és előfordulási koncentrációi általában nagyságrendekkel eltérők. Míg a nitrát, nitrit, ammónium, szulfát, stb. koncentrációit célszerűen mg/l-ben mérjük, addig a vízben oldott szénhidrogéneket általában µg/l-ben szokás megadni. Ennek megfelelően, egyazon területen a számítás tárgyát képző szennyező komponensek függvényében eltérő lehet a megválasztott M tömegegység, azonban ekkor megváltoztatandók (vagyis a megfelelő tömegegységre átváltandók) a szorpciós paraméterek, a száraz térfogatsúly, stb. értékei. Ha ez elmaradt, akkor nagyságrendi hibát vétünk, ami ugyancsak eredményezhet instabilitást, a számítás eredményei pedig értelemszerűen rosszá válnak.

Ha minden dimenziót helyesnek találtunk, akkor célszerű izovonalas térképeken megjeleníteni a bemeneti modelladatokat; például rétegenként. Ellenőrizzük le, hogy

– az értékekben észlelt ugrások mind zónahatárhoz kötődnek-e,
– valamennyi elemhez rendeltünk-e értéket,
– megfelelő-e az interpolálással kapott adatrendszer eloszlás,
– az értékek reális tartományban mozognak-e.

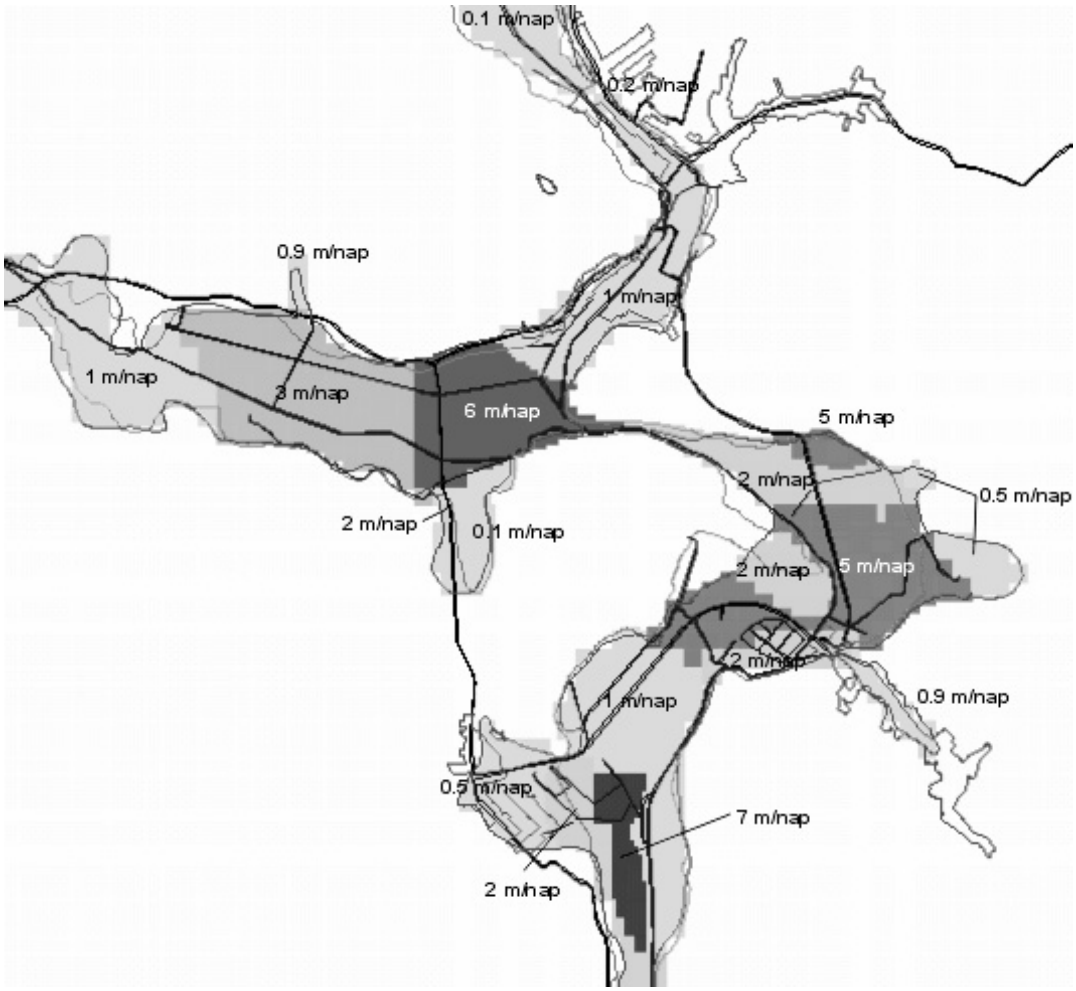
Különös figyelmet kell fordítani az állandó nyomásszintű cellákra, mert gyakori, hogy tévedésből vagy figyelmetlenségből egy vagy több állandó nyomású cellához nem rendelünk potenciál értéket (kezdeti feltétel), amit a legtöbb szoftver zérus értékűnek tekint, és a szokásos magyarországi 80-120 mBf. szintek helyett 0 mBf. értékkel számol, ami nagy peremek felé irányuló hozamokat és a rendszer gyors leürülését okozza.

Amennyiben zónákat alkalmazunk, akkor célszerű végignézni, hogy minden cella hozzá van-e rendelve valamelyik zónához, mert szinte minden program lehetőséget ad általános alakú zónák felvételére, amely zónákhoz rendelt értékeket maga írja be az egyes paramétereket tartalmazó mátrixokba. Amennyiben marad olyan elem, amelyik nincsen egy zónához sem rendelve, az egy olyan szingularitás a rendszerben, ami okozhatja az iteratív számítás divergenciáját.

A zónák alkalmazása esetén további hibalehetőség a zónahatárokon fellépő ugrásszerű változások kezelése. Példaképpen bemutatjuk a Siroki Talajvízbázis környezetében a hidrogeológus által megadott szivárgási tényező eloszlási koncepciót (ENGEO, 1999). A koncepció mérési adatokon alapul, mégsem kedvező változtatás nélkül a modellbe illeszteni. Adott a keskeny folyóvölgy, ahol völgyirányú szivárgás van, ugyanakkor a völgyre merőleges szelvényben hirtelen szivárgási tényező-változások vannak. Ahol az áramlási keresztmetszettel együtt a szivárgási tényező is ugrásszerűen lecsökken, ott hirtelen nyomásszint-változások következnek be a számítás során, ami kedvezőbb esetben oszcillációhoz, de kedvezőtlenebb helyzetben instabilitáshoz vezetnek (133. ábra).

Ugyancsak numerikus hibákhoz vezetnek a modell belső ellentmondásai, például, ha a maradó beszivárgást olyan területrészen érvényesítjük, ahonnan a kis szivárgási tényező miatt oldalirányú vízmozgás csak kismértékben lehetséges, ennek a következménye az adott területen messze a terepszintet meghaladó, akár több 10 000 m magasságban stabilizálódó nyomásszint lehet, ami egyrészt irrealitás, másrészt egyéb tényezőkkel együtt akár a modell instabilitását is okozhatja.

Ugyancsak problémát jelenthet, ha egy-egy zónához hozzárendelt különböző vízföldtani paraméterek nincsenek összhangban egymással. Például egy kavicsos homokréteg szivárgási tényezőjéhez egy iszapra jellemző szabad hézagtérfogatot rendelünk stb. Ezek a hibák önmagukban általában nem vezetnek instabilitáshoz, de más modelladat-hibákkal együtt már sok kellemetlenséget okozhatnak.



133. ábra
A Siroki Vízbázis talajvízadó rétegének szivárgási tényező-eloszlása (koncepció) (ENGEO, 1999)

Összefoglalva az iteratív megoldás instabilitásának legfontosabb oka, hogy

- vagy túl kevés anyag (víz vagy szennyezőanyag) lesz a rendszerben vagy annak egy kis részén,
- vagy túlságosan sok anyag (víz vagy szennyezőanyag) tárolódik egy térségben, és onnan nincs mód annak eltávozására.

A két lehetőség közül az első biztosan, a második csak egyéb tényezőkkel együttesen okozza az instabilitást. Amikor tehát a stabil modellrendszer kialakítására törekszünk, feltétlenül eldöntendő, hogy vajon az anyagmérlegben fennálló hiány vagy bőség vezet a számítás eredménytelenségéhez.

Amennyiben nincs más mód az első stabil rendszer elérésére, akkor akár a valóságostól eltérő adatokkal is próbálkozhatunk. A következő intézkedések a rendszer reprezentativitásának csökkenését, ugyanakkor a stabilitásra való hajlam erősödését okozzák:

- peremfeltételek lecserélése állandó nyomásszintű vagy koncentrációjú cellákra,

– GHB jellegű peremfeltételek esetén a C_{HGB} arányossági tényező növelése,
– pontszerű források és nyelők hozamának csökkentése,
– szabad hézagtérfogat növelése,
– konstans vízföldtani és szennyezőanyag-terjedési jellemzők felvétele, vagy az éles anyagi tulajdonságbeli ugrások átmeneti zónákkal való elsimítása,
– maradó beszivárgás csökkentése vagy növelése a vízmérleg-egyensúly megbomlási irányától függően.

Ha elkészült a kevésbé reprezentatív, legelső stabil verzió, akkor célszerű a koncepcionálisan indokolt változtatásokat lépésenként visszaépíteni a rendszerbe. Célszerű mindig lépésről lépésre haladni, azaz egyszerre csak egy tényező módosítását elvégezni. Minden lépés után érdemes újrafuttatni a számítást, hogy kiderüljön, hogy mi az instabilitás okozója.

Az itt felsoroltakat gyakorlott modellező csak igen ritkán alkalmazza, mert döntései során már az első modelladat-rendszer felépítésénél a legstabilabb numerikus megoldást eredményező lehetőségeket választja. Tudomásul kell ugyanakkor venni, hogy vannak olyan földtani környezetek, amelyeknél gyakrabban előfordul az instabilitás. Ilyenek:

– a keskeny folyóvölgyek,
– vékony vízadók,
– kis szabad hézagtérfogattal rendelkező képződmények,
– nagy hozammal termelő kutak és kútcsoportok.

A felsorolt esetekben kicsi a rendszerben tárolt vízmennyiség, aminek következtében hamarabb borul fel a víz- vagy szennyezőanyag-mérleg egyensúlya.

A numerikus oszcilláció esetén a numerikus megoldás oszcillál a valós megoldás körül, tehát a numerikus megoldás lépésenként váltakozva egyszer a valós megoldásnál kisebb, másszor annál nagyobb értéket ad anélkül, hogy a két megoldás közötti különbség csökkenne.

Mellőzve a bizonyítást, az oszcilláció megszűnik, amennyiben Δt és ω változókra (4.56. és 4.57. egyenletek) a $\Delta t < \frac{\alpha}{1-\omega}$ egyenlőtlenség teljesül, ahol α az a legkisebb szám, amelyet az alábbi egyenletbe behelyettesítve és a determinánst kifejtve a $\left|\left[A^{(e)}\right]-\alpha\left[D^{(e)}\right]\right| = 0$ egyenlőség bármely elemre teljesül. (FRIED, 1979).

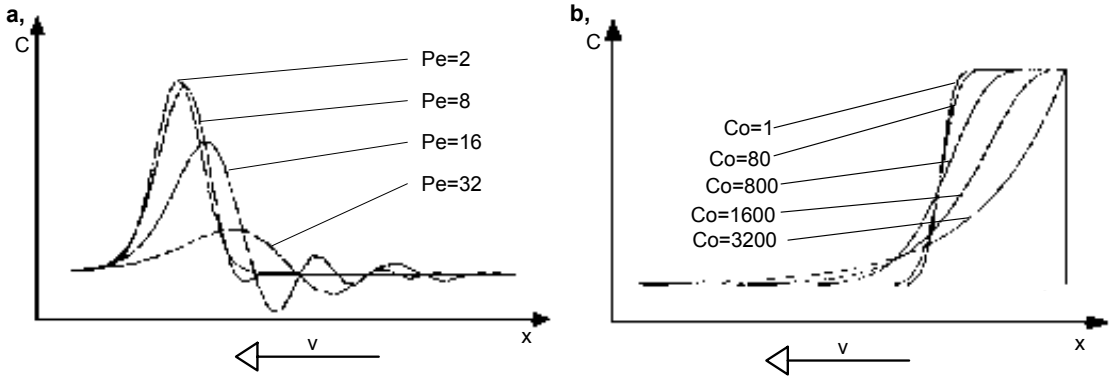
A transzportmodellek esetében a Neumann-kritériumnak is teljesülnie kell (5.63):

$$\frac{D^*_{xx}\Delta t}{(\Delta x)^2} + \frac{D^*_{yy}\Delta t}{(\Delta y)^2} \le 0{,}5\,. \qquad (15.6.)$$

Amennyiben a megoldás oszcillál, akkor az időintegrálás során használt differenciaképzéssel lehet a helyzeten változtatni. A középponti differenciák módszere (Crank-Nicholson-módszer) erősen hajlamos az oszcillációra, ugyanakkor az előre és hátra-

lépéses differenciák módszere kevésbé. Szinte valamennyi ismertebb programban van lehetőség a differencia-képzési mód megváltoztatására, próbáljuk ki!

KÖNIG (1993) megállapította a SICK100 végeselemes, szuper-számítógépes, szivárgáshidraulikai és transzport-modell számításokra kifejlesztett programrendszer stabilitás-vizsgálata során, hogy a numerikus oszcilláció annál nagyobb mértékű, minél nagyobb az advektív transzportfolyamat jelentősége a diszperzív transzporthoz viszonyítva. Az erősebb oszcillációt a koncentrációcsúcsok elmosódása kíséri. Különböző $Pe = \frac{v\Delta l}{D}$, Peclet-számok mellett elvégezve azt a modellkísérletet, amikor a konstans sebességgel jellemezhető áramlási térben egy haranggörbe alakú koncentráció-impulzus terjed tova, jól látható volt, hogy a Peclet-szám növekedése mellett egyre nagyobb negatív koncentráció-értékeket kaptak a numerikus oszcilláció következtében, ami természetesen a valós rendszerben irreális (134. ábra).



134. ábra

A végeselem módszer numerikus hibái a SICK100 programrendszeren: a koncentráció-eloszlás *t*=1000 s elteltével, harang alakú kiindulási koncentráció-impulzus, állandó szivárgási sebesség esetén (a, különböző Peclet-számok , b, különböző Courant-számok esetén)
(KÖNIG, 1993)

Tekintve egy *v* szivárgási sebességű homogén teret, ahol az egyes elemekre eső áramvonal maximális *Δl* hossza konstans (azonos elemekre való bontás) a *Δt* időlépcső változtatása egyben a Courant-számok változtatását is jelenti. A növekvő Courant-számok esetén a valóságban éles határvonal egyre erősebben elmosódik, azaz a numerikus diszperzió fokozódik.

FRIND (1982) szerint mind a numerikus diszperzió, mind az alálövés-fölélövés hiba megszüntethető, ha a Peclet-szám nem nagyobb, mint 2 (5.65.):

$$Pe_x = \frac{\bar{v}_x \Delta x}{D^*_{xx}} \le 2 \quad \text{és} \quad Pe_y = \frac{\bar{v}_y \Delta y}{D^*_{yy}} \le 2 . \qquad (15.7.)$$

A numerikus (longitudinális és transzverzális) diszperzió jelenségének kiszűrésére több megoldás létezik. Magyarországon a pusztán advektív COMAD transzportmodell esetén SZÉKELY (1986) alkalmazta az úgynevezett osztott blokkos (Method of divided blocks) eljárást. Az eljárás lényege, hogy az adott elem mentén a kémiai

anyagáramokat két részre osztjuk: egyfelől az egyik blokkba, a kiáramlási cellába összegezzük a kiáramló hozamokat, melynek C_{ki} koncentrációja határozza meg az adott elemből elszivárgó oldat koncentrációját. Másfelől egy ún. beáramlási cellába gyűjtjük a laterális, keresztirányú és külső beszivárgásból eredő V víztérfogatokat és az azokhoz kapcsolódó W kémiai anyagmennyiséget. Amikor a V víztérfogat eléri az adott elem adszorpcióval korrigált effektív pórustérfogatát, akkor a kiáramlási cella C_{ki} értéke felveszi W kémiai anyagmennyiségből és az effektív pórustérfogatból számított új koncentrációértéket, miközben a V és W regiszterek nullázódnak, és a folyamat kezdődik elölről.

Teljesen általánosan tehát megállapítható, hogy a numerikus módszerrel végzett számítások pontosságának növelése érdekében az elemek számát növelni kell, ugyanakkor a numerikus hibák gyakorisága és nagysága is nő (KOVÁCS, 1998). A numerikus hibák megjelenése nem kerülhető el, mert általában egy hibatípus eliminálása egy másik hibatípus megjelenését vonja maga után, ezért a numerikus hibák terén is meg kell találni azt az optimális szintet, amikor valamennyi numerikus hiba az elfogadható nagyságon belül van, amikor azok még a számítási eredményeket nem befolyásolják.

A numerikus hibák megjelenítésének és számszerűsítésének a térinformatikában jelentős hagyományai vannak, melyeket TAMÁS és LÉNÁRT (2002) foglal össze. A paraméterhibák kiküszöbölése érdekében használandó mintavételezési stratégia meghatározási metodikáját TAMÁS (1999), TAMÁS és KOVÁCS (2002) ismerteti.

15.1. táblázat

Az egyes paraméterek megváltoztatásának hatása a modellnél fellépő numerikus hibákra

Paraméter változtatás	**Numerikus hibára való hajlam**			
	instabilitás	**oszcilláció**	**diszperzió**	**alálövés-fölélövés**
Előre- vagy hátralépéses differenciák alkalmazása	nő	csökken	nem befolyásolja	nem befolyásolja
Középponti differenciák alkalmazása	csökken	nő	nem befolyásolja	nem befolyásolja
Cella- vagy elemméret csökkentése	nő	nő	nő	nő
Időlépcső növelése	nő	nő	nem befolyásolja	nem befolyásolja
Szivárgási sebesség, transzmisszivitás növelése	nő	nő	nő	nő
Források és nyelők hozamának növelése	nő	nő	nem változik	nem változik
Tárolási tényező növelése	csökken	csökken	nem befolyásolja	nem befolyásolja
Diszperzió-állandó, diszperzivitás növelése	nő	nő	csökken	csökken

16. Determinisztikus és sztochasztikus modellezés

A sztochasztikus modellezés önmagában megérdemelne egy könyvnyi terjedelmet, ezért ebben a fejezetben csak a sztochasztikus megközelítés lényegével, illetve a Processing MODFLOW kezdetleges, de mégiscsak létező sztochasztikus modellezési képességeivel foglalkozunk.

A kőzettestek hidrogeológiai jellemzői (porozitás, szivárgási tényező, talajvízszint, stb.) változóknak tekintendők: az adott tulajdonság térbeli változása teljes mértékben nem véletlenszerű, de nem is determinisztikus. Azaz a tanulmányozott paraméter értéke a tér adott pontjában nem független a környezetétől, hanem környezete valamilyen „térbeli szabályszerűség" szerint befolyásolja azt (DE MARSILY 1986). Ezt a fajta függőséget sztochasztikus kapcsolatnak, a jelenséget sztochasztikus folyamatnak nevezzük.

A sztochasztikus modellezés statisztikai alapon kezeli a hidrodinamikai és transzportfolyamatokat. Tudjuk, hogy valamennyi mért paraméter változásának is van bizonytalansága, sőt sokszor használunk olyan felvett paramétereket, melyek pontos eloszlását nem ismerjük, mégis „hisszük", hogy az értéke szinte bizonyosan egy általunk feltételezett intervallumba esik. Például egy homokösszlet esetén, ha ismerjük annak a képződését, feltételezhetjük, hogy a szivárgási tényezője jellemzően a 0,2-3,5 m/d tartományba esik, ugyanakkor pontról pontra nem ismerjük, nem ismerhetjük annak nagyságát. Ebben az esetben segít, ha a különböző hidraulikai, vízföldtani és transzportjellemzőket vagy azok egy részét olyan statisztikai változóknak tekintjük, amelyeknek valamilyen ismert diszkrét matematikai eloszlásuk van. Ilyenkor a paraméter vagy paraméterek eloszlását függvényekkel írhatjuk le. Sztochasztikus modellezés során a számítást ugyanakkor nem a függvényekkel végezzük el, hanem a függvények segítségével generált nagyszámú adathalmazon. Egy-egy a felvett függvények eloszlásai alapján számított adathalmazt realizációnak szoktak nevezni, és a számításokat 100, 500, vagy akár 1000 realizációval végzik el. Az eredményként kapott 100, 500 vagy 1000 eredményt statisztikai alapon dolgozzák fel: meghatározzák, hogy pl. egy-egy elemben a kialakuló koncentráció mekkora valószínűséggel nagyobb egy adott (határ)értéknél, vagy milyen valószínűséggel ér pl. 50 éven belül a víz adott elemből egy kiválasztott kútig, stb. A sztochasztikus modellezés eredménye ezért nemcsak a legvalószínűbb koncentráció-eloszlást adja meg, hanem egyben jellemzi a rendszer bizonytalanságait is.

Példaként vizsgáljuk pontszerű mérések eredményeit (pl. kutakban mért talajvízszint).

A sztochasztikus szimuláció során a paraméter mért értékeit normál eloszlású valószínűségi változóknak tekintjük (*k* db mért talajvízszint esetén *k* db valószínűségi változó). A valószínűségi változók eloszlását egyértelműen meghatározza szórásuk és várható értékük. A szimuláció során ezen eloszlások várható értékeinek környezetét véletlenszerűen jellemzi, azaz nem a mért érték, hanem annak eloszlása a meghatározó. Ezen eloszlások (mint valószínűségi változók) halmaza alkotja *Z(x)* valószínűségi függvényt, ahol $Z(x):=\{z(x1), z(x2),...,z(xk)\}$.

A $Z(x)$ k db valószínűségi változóját egy k változós eloszlásfüggvény egyértelműen leírja:

$$F_{x1,x2,\ldots,xk}(z_1,z_2,\ldots,z_k)=P\{Z(x_1)<z_1,Z(X_2)<z_2,\ldots,Z(x_k)<z_k\} \quad (16.1.)$$

A $Z(x)$ valószínűségi függvény térbeli törvénye tartalmazza az összes ilyen eloszlásfüggvény halmazát. A térbeli törvény ismeretében terjeszthetjük ki a mintázott tulajdonságot a vizsgált térrészre (a térbeli törvény teljeskörű ismerete nem szükséges az adott szimulációs eljáráshoz) (GEIGER - MUCSI, 2005).

A sztochasztikus szimuláció menete a következő (GEIGER, 2006):

A gridháló generálását követően a mért értékek, mint valószínűségi változók egy-egy normáleloszlást generálnak, ezen eloszlásokból véletlenszerűen egy-egy értéket választunk ki. A mérési pontokkal szomszédos gridpontok közül egyet véletlenszerűen kijelöl a program és a valószínűségi függvény ismeretében meghatározza az adott pontban a vizsgált paraméter értékét.

A következő lépésben a kapott értéket hozzáveszi az alapsokasághoz (k db), így már $k+1$ valószínűségi változó van, és az eljárást addig folytatja, míg az összes gridpontot be nem járta. Az egész eljárás annyiszor ismétlődik ahány realizációt létre akarunk hozni (általában 100-1000 közötti érték).

Az egyes realizációk közötti különbség egyrészt a pontok mint valószínűségi változók eloszlásainak véletlen mintázásából, másrészt a gridháló eltérő bejárási útjából adódik.

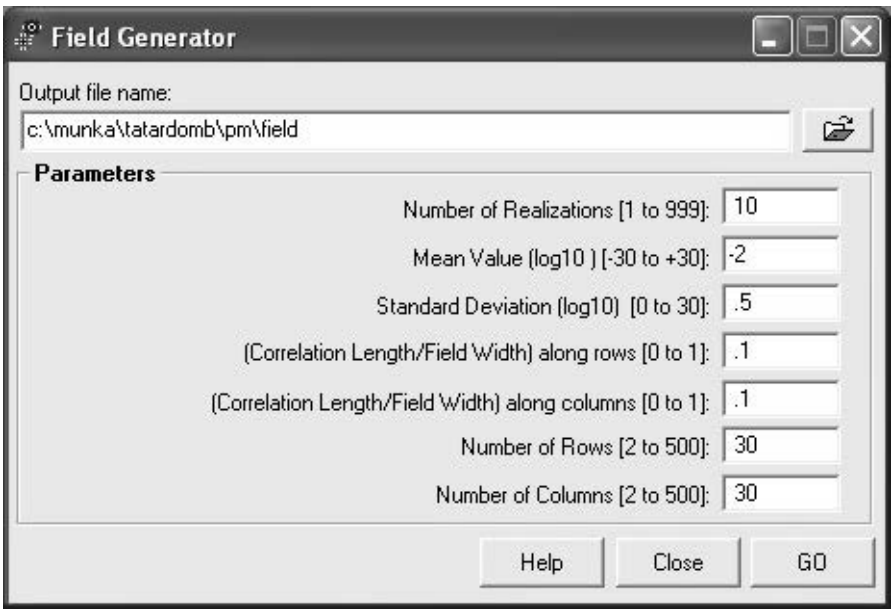
Ezzel szemben az eddig bemutatott determinisztikus modelleknél minden értéket meghatároztunk, vélelmeztük, hogy az adott helyeket a felvett értékek jól jellemzik, és ennek alapján az egyetlen, „igaz” eredményhez jutottunk. Kis túlzással azt lehet mondani, hogy a determinisztikus modell megfelel egy olyan egy-realizációs sztochasztikus modellezésnek, ahol a számítást valamennyi paraméter-eloszlás legvalószínűbb értékével végeztük el. A determinisztikus modell kevés információt ad a modell bizonytalanságaira, ezért szokás a 14. fejezetben bemutatott alapadat-érzékenységi vizsgálatokat elvégezni. Ennek ellenére az eredmény bizonytalanságait a sztochasztikus modellezéssel jobban meg lehet jeleníteni.

Egy további probléma lehet a modellek eredményeinek értelmezése. A jelenlegi műszaki és jogi szemlélet a determinisztikus modellezést részesíti előnyben; nem tud a jelenlegi jogrend egy olyan állítással mit kezdeni: hogy egy pontban a koncentráció 85%-os valószínűségi szinten kisebb lesz a szennyezettségi határértéknél. Függetlenül attól, hogy ez a megközelítés sokkal jobban írja le a valóságot, mégis a követelmény – egyelőre – az, hogy mondjuk meg: meghaladja-e vagy nem a kialakuló koncentráció a határértéket. Természetes, hogy attól a modell reprezentativitása nem változik, hogy áttértünk a sztochasztikus rendszerről a determinisztikusra, ennek megfelelően egy determinisztikus modell ugyanúgy tartalmazza a bizonytalanságokat, mint a sztochasztikus csak itt „elhallgatjuk” azokat. A jövő mindenképpen a sztochasztikus modellezésé, a kérdés, hogy megtaláljuk-e a bizonytalanságok közvetlen jogi kezelésének módját, vagy megkapják-e a földtani és vízföldtani szakemberek azt a lehetőséget, hogy valószínűség-elméleti alapon számított eredmények értékelésével a hatályos jogszabályok szellemében járjanak el.

A Processing MODFLOW a sztochasztikus modell-adatrendszerek építését a ***Field Generator*** nevű eszközzel támogatja (135. ábra), ami a **Tools** menüből érhető el. A ***Field Generator*** egy adott modellhez a felhasználó által megadott számú szivárgási tényezőt vagy transzmisszivitás-adatrendszert állít elő (realizációk!). Ehhez szükséges megadni a kimeneti állományok nevét pl. ***FIELD***, és akkor a rendszer az egyes realizációkat a ***FIELD.1***, ***FIELD.2***, …, ***FIELD.N*** névre menti el, ahol *n* a realizációk száma (***Number of Realizations [1 to 999]***). Az állomány neve ne legyen azonos a PM modell nevével, mert akkor a készített állományok némelyike fontos modell állományt írhat felül!

A Field Generator feltételezi, hogy a keresett paraméter eloszlása lognormális, azaz az értékek tízes alapú logaritmusai normál-eloszlásúak. A generálandó adatok átlagértékét a ***Mean Value (log10)[-30 to +30]*** mezőben, szórását a ***Standard Deviation (log10) [0 to 30]*** mezőben állíthatjuk be.

A generálandó sorok (***Number of Rows [2 to 500]***) és oszlopok (***Number of Coloumns [2 to 500]***) számát a futó modellből a program átveszi, de a megfelelő mezőkben be is állítható. A ***Correlation Length/Field Width*** mezőben adhatjuk meg az adatok sor- és oszlopirányú változékonyságát, a krigelésnél bemutatott hatástávolság (***Correlation Length***) és a modellezett térrész nagyságának (***Field Width***) hányadosaként.



135. ábra
A Field Generator dialógusablak

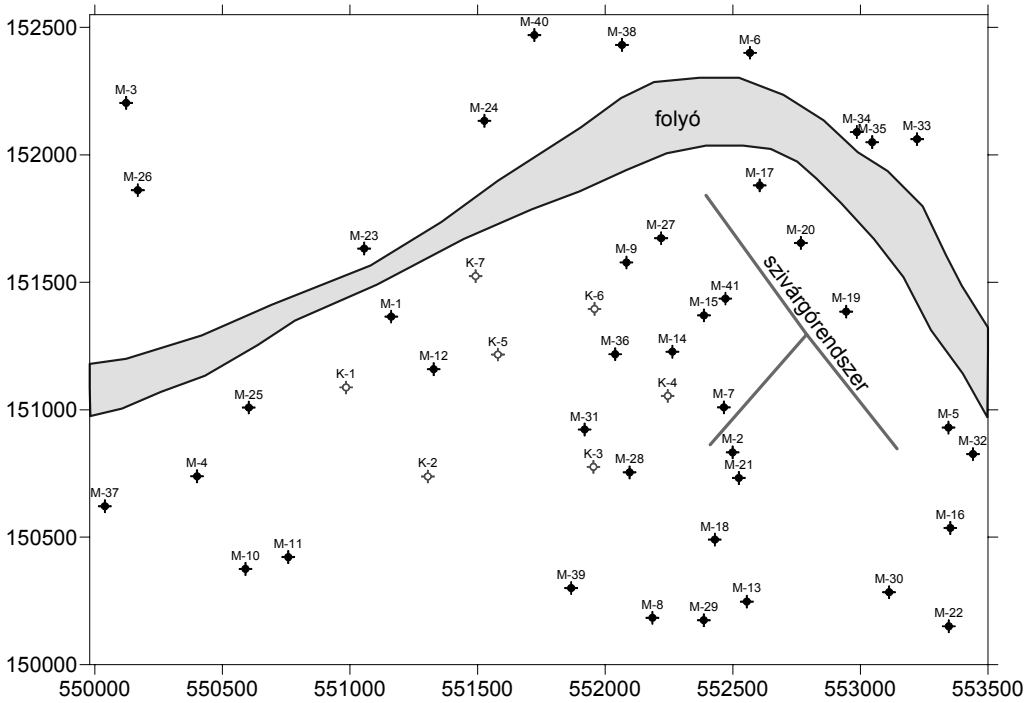
17. Modellezési praktikum (példamodellek)

A következőkben néhány egyszerűbb probléma modellezéssel való megoldását mutatjuk be.

17.1. Az első modell (\app\perm_mdl)

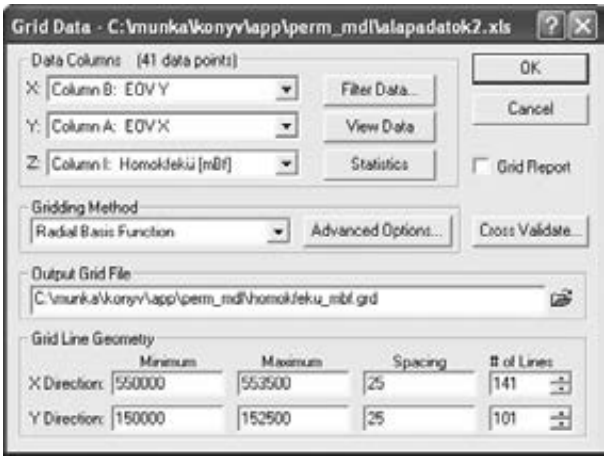
A feladat legyen egy két vízadó szinttel jellemzett területrész permanens állapotú hidrodinamikai modelljének elkészítése. A két vízadó szint (felső homok és alsó homokos kavics) között iszapos féligáteresztő összlet található. A területet a 136. ábra mutatja be, a képződmények geometriai adatait az ***ALAPADATOK.XLS*** állomány tartalmazza. Az Excel állományban megtalálhatók a fúrások EOV koordinátái, a terepszintek-magasságok, illetve a fúrásokban észlelt réteghatárok, azaz a felső homokos összlet, a köztes, féligáteresztő iszapos képződmények, illetve az az alatt található kavicsos összlet feküszintjeinek terepszint alatti mélysége.

Először célszerű az adatállományt kicsit átalakítani. Számítsuk ki az egyes réteghatárok tengerszinthez viszonyított magasságát! Ehhez értelemszerűen a terepszintből kivonandók a feküszintek megadott értékei. A feladatot elvégezhetjük bármilyen táblázatkezelőben, pl. az Excelben is, vagy használhatjuk a Surfer **Data → Transform** parancsát is. Előbb nyissuk meg az alapadat-állományt a **File → Open** paranccsal, majd használjuk az említett **Data → Transform** utasítást, jelöljük ki az egyik oszlopot, majd pl. a homokok réteghatárainak tszf. magasságának meghatározásához a ***Transform Equation*** mezőbe írjuk be, hogy ***I=D-E***, ekkor az I oszlopban megjelennek a számított értékek. Hasonlóképpen számítsuk a többi réteghatár tengerszint feletti magasságait is! A kész állományt mentsük el ***ALAPADATOK2.XLS*** névre!



136. ábra
A vizsgált terület térképe

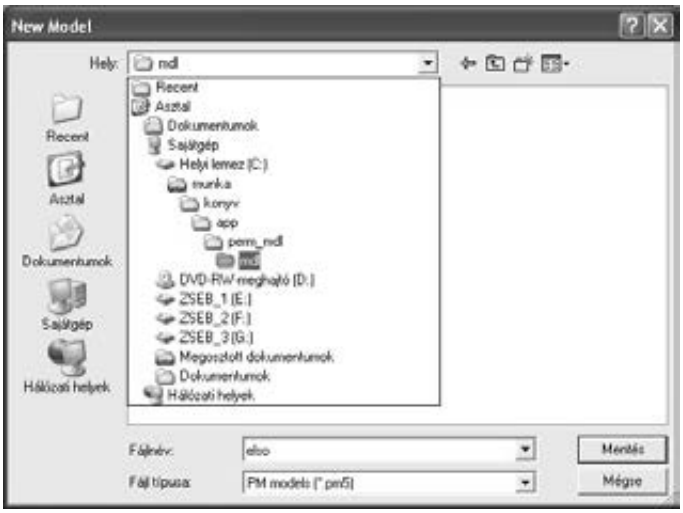
Két jó tanács! Egyrészt az alapadat-állományt célszerű megtartani abban a formában, ahogy azt kaptuk. Lehet, hogy a munka során tévedésből elrontunk valamit, és akkor mindig jó visszatérni az eredeti állományhoz. Másrészt bizonyos esetekben nem célszerű áttérni tengerszint feletti magasságokra, mert ha kevés az adat, akkor a rétegeket elválasztó, általunk számított térfelületek metszhetik egymást (76. ábra és 77. ábra). Ennek elkerülésére célszerű lehet a rétegek vastagsági térképeit előállítani, majd azokat az aktuális fedőszintből kivonva meghatározni a feküszinteket. Amennyiben a vastagsági térkép csak pozitív értékeket tartalmaz, akkor a képzett elválasztó felületek sem fogják metszeni egymást!
Ezután használjuk a Surfert a térfelületek előállítására, majd ezt követően a térfelületeket a Surfer grid állományból vigyük át a PM modellezési környezetbe a 12.4.5. fejezetben leírt módszerrel.
A grid állományok létrehozásához használjuk a Surfer **Grid → Data** parancsát, úgy, hogy az EOV Y=550000-553500 és EOV X= 150000-152500 koordinátákkal határolt területre 25x25 m-es rácshálót illesztünk. A paraméterek térbeli eloszlásának meghatározásához használjuk a radiális bázisfüggvény módszert ***(Gridding Method: Radial Basis Function***) az alapbeállításokkal (137. ábra). A készített állományok nevei legyenek: ***TEREP.GRD***, ***HOMOKFEKU_MBF.GRD***, ***ISZAPFEKU_-MBF.GRD*** és ***KAVICSFEKU_MBF.GRD***. A talajvízdomborzatot számítsuk a minimális görbület módszerével ugyanerre a területre a 25 m-es osztású rácshálóval (***TVSZ.GRD***).



137. ábra
A Grid → Data parancs beállításai

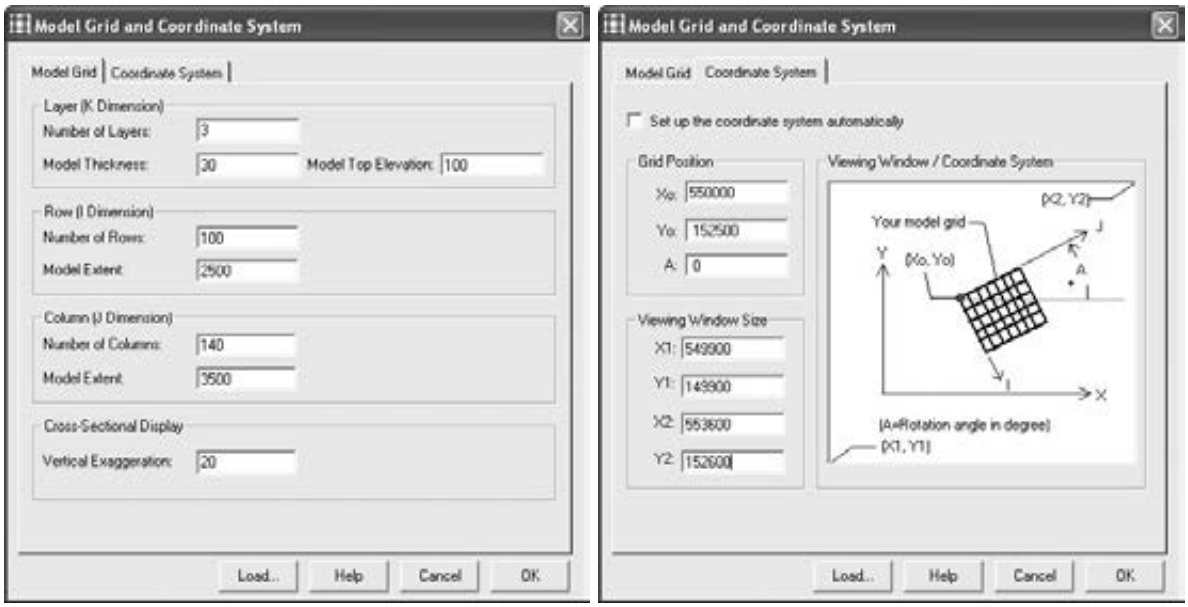
A Surfer grid állományoknak a modellben történő felhasználásához először konvertáljuk a ***GRD*** állományokat azonos nevű ***DAT*** állományokká a **Grid → Convert** paranccsal! Ezután keverjük őket véletlenszerűen össze. Nyissuk meg a ***DAT*** állományokat egyesével, a D oszlophoz rendeljünk egy véletlenszámot (**Data → Transform** parancs), rendezzük sorba a D oszlop szerint a sorokat (**Data → Sort** parancs), töröljük az adatokat a 2001. sortól (**Edit → Delete** parancs) majd szúrjunk be egy üres sort az elejére (**Edit → Insert** parancs), és írjuk az A1 mezőbe az adatok számát: 2000. Mentsük az állományokat egy új névre: ***PM_TEREP.DAT***, ***PM_HOMOKFEKU_MBF.DAT***, ***PM_ISZAPFEKU_MBF.DAT, PM_KAVICS-***

FEKU_MBF.DAT és ***PM_TVSZ.DAT***. Mivel a lépéseket a 12.4.5. fejezetben részletesen leírtuk, ezért itt csak röviden foglaltuk össze a tennivalókat.
Az adatrendszer előkészítése után lássunk hozzá a modellépítéshez. Implicit módon már az első döntést meghoztuk, hiszen eldöntöttük, hogy a modell az EOV Y=550000-553500 és EOV X= 150000-152500 koordinátákkal határolt területen belül lesz, mivel erről a területről állnak rendelkezésre ismeretek. Az egyszerűség kedvéért legyen a modellezett terület a teljes ismert térrész, azaz a modell legyen 3.5x2.5 km méretű.
Mielőtt létrehoznánk a modellt, készítsünk egy alkönyvtárat részére (***APP*****PERM_MDL*****MDL**), majd itt hozzunk létre egy új modellt ***ELSO.PM5*** néven a **File → New Modell…** paranccsal (138. ábra)

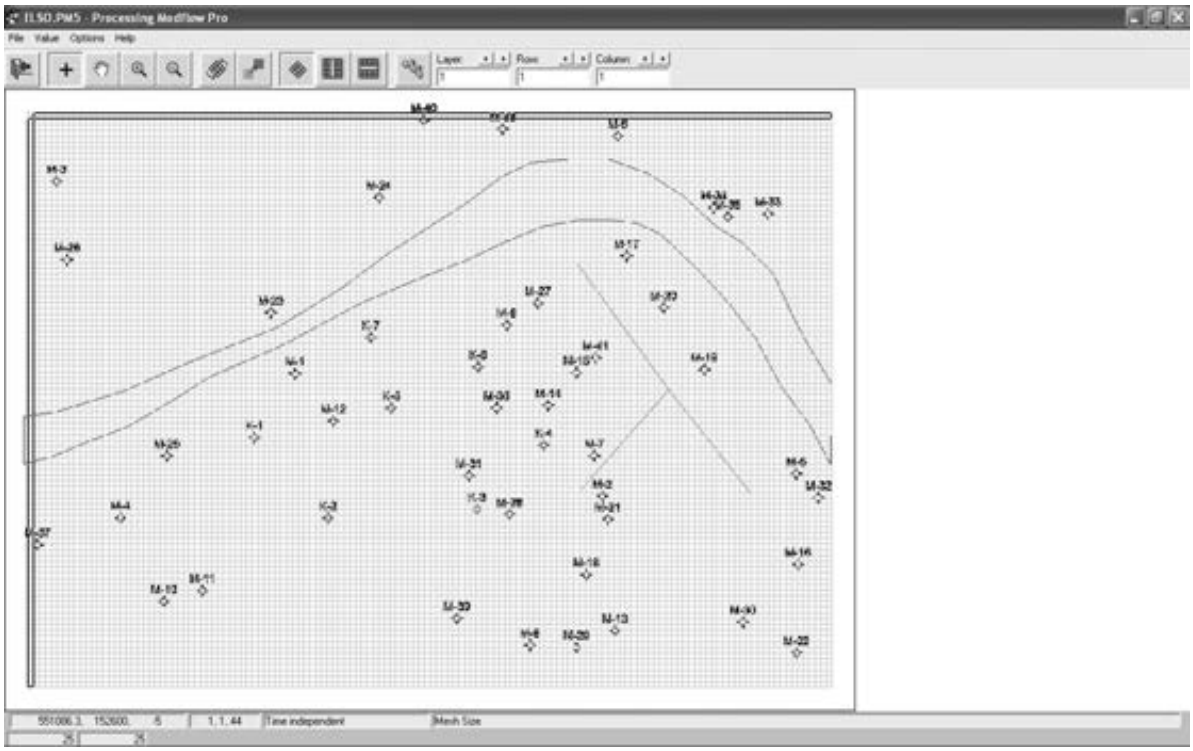


138. ábra
Az elso.pm5 modell létrehozása

Ezután fedjük le a területet 25x25 m-es elemekkel, amihez definiáljunk elemeket 100 sorban, 140 oszlopban és 3 rétegben a **Grid → Mesh Size** paranccsal. Azonnal állítsuk be a modellezési koordinátarendszert is úgy, hogy a képernyőn a modellezett térrészen kívüli 100 m széles sáv is látható legyen (139. ábra)
A beállításokat ellenőrzendő hívjuk be a ***DXF*** alaptérképet (***ALAPTERK.DXF***) a modellbe az **Options → Maps** paranccsal. (A ***DXF*** állományt a 12.4.2. fejezetben leírtak szerint készítettük el). Ekkor a képernyőn megjelennek a fúrások, a kutak, a folyó és a szivárgó nyomvonala (140. ábra).
Lépjünk ki a Grid Editor ablakból a **File → Leave Editor** paranccsal, majd sűrítsük a rácshálót a kutak környezetében. A kutak helyét és hozamát a ***KUTAK.DAT*** állomány tartalmazza. A sűrítéshez ismét válasszuk a **Grid → Mesh Size** parancsot, válasszuk ki a kutat tartalmazó elemeket, és a jobb egérgombbal adjuk meg a sűrítés (***Refinement***) mértékét. Legyenek a sűrített helyen az elemek 5x5 m-esek és közvetlenül mellettük 12.5x12.5 m-es elemeket alkalmazzunk. Lépjünk ki a Grid Editor ablakból a **File → Leave Editor** paranccsal, közben mentve a rácshálót.
A **File → Layer Properties** menüben a felső réteget nyílt tükrűnek (***Unconfined***) a másik két réteget zárt tükrűnek (***Confined***) definiáljuk.



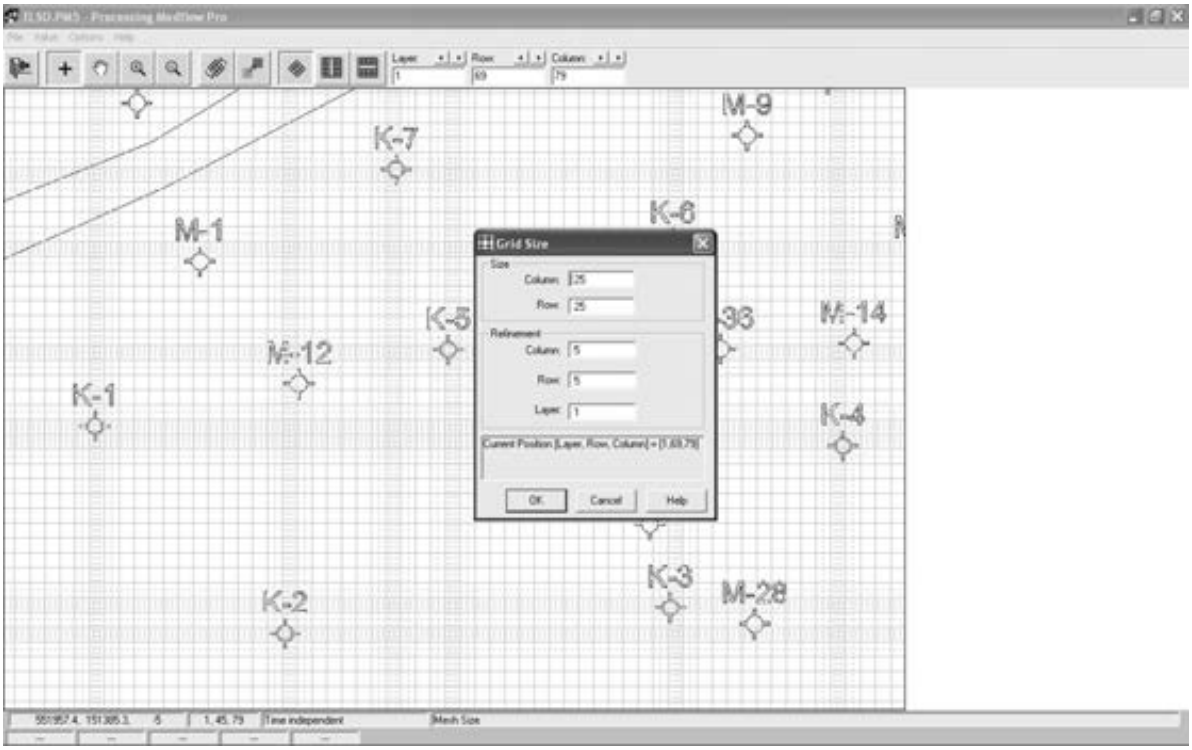
139. ábra
A rácsháló és a koordinátarendszer beállításai



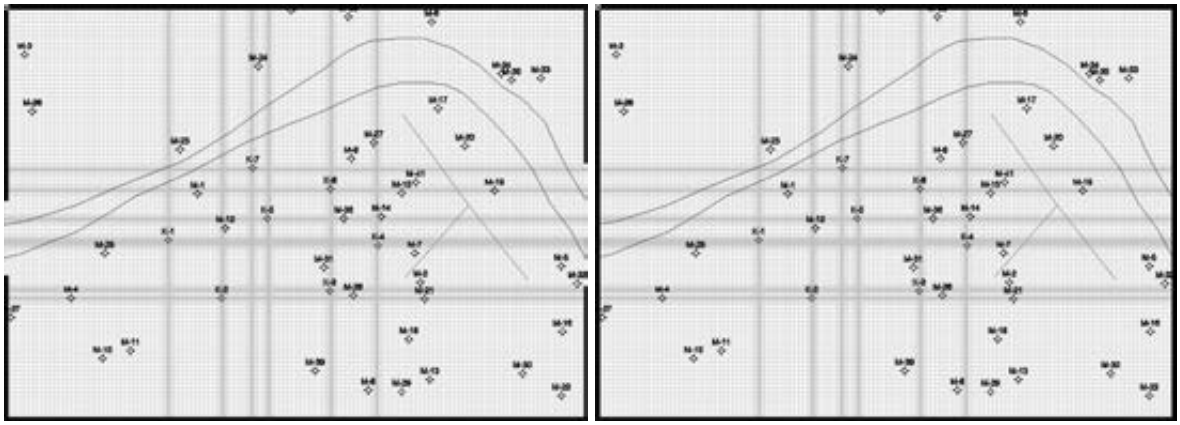
140. ábra
A modell elemosztása az alaptérképpel

Ezt követően adjuk meg a peremfeltételeket a **Grid → Boundary Conditions → IBOUND (MODFLOW)** paranccsal. Az egyszerűség kedvéért alkalmazzunk állandó nyomású peremeket a modell határain. Mivel a területen egy a felső vízadóval kapcsolatban álló folyó halad keresztül, ezért a folyó környezetében nem használunk peremfeltételeket, ezen a területrészen ugyanis a folyó határozza majd meg az elemek vízmérlegét. A második rétegben a szivárgás uralkodóan vertikális, azaz a hori-

zontális szivárgás elhanyagolható, ezért itt sincs értelme állandó nyomású cellákat definiálni. A harmadik rétegben a modell peremein viszont célszerű és egyben szükséges is a peremfeltételeket megadni. Az egyes cellák állandó nyomásúvá változtatása érdekében a cella értékét 1-ről változtassuk -1-re a jobb egérgomb segítségével, majd a megadott értéket a másológomb segítségével célszerű a többi, korábban felsorolt peremi cellába is átmásolni (142. ábra).



141. ábra
A rácsháló sűrítése



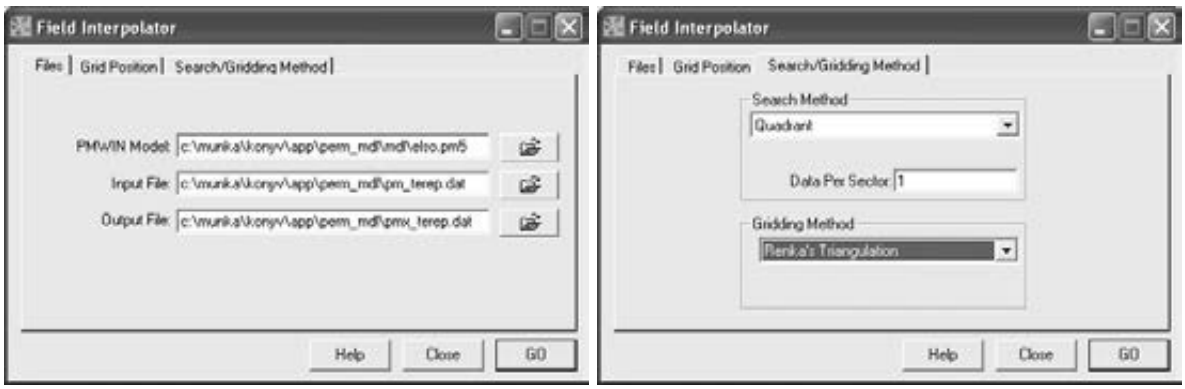
142. ábra
Az állandó nyomású cellák helye az 1. és a 3. rétegben

Ezután adjuk meg az egyes modellrétegek elválasztó felületeit. A korábban készített ***PM_*.DAT*** állományokból a ***Field Interpolator*** segítségével határozzuk meg a készített rácsháló elemei helyén a legvalószínűbb értékeket. Mivel sok, pontosan 2000

pont áll rendelkezésünkre, ezért gyakorlatilag mindegy, hogy melyik módszerrel történik a számítás. Célszerű azonban valamennyi felületet azonos módon generálni. Mi a példában a Renka-módszert alkalmaztuk, kvadráns kereséssel a legközelebbi szektoronkénti 1 pontból (***Gridding Method: Renka Triangulation, Search method: Quadrant, Data per Sector: 1***). Amennyiben a Renka-módszer – általában memóriahiány miatt nem indulna el – nyugodtan használjuk az Akima-módszert (***Gridding Method**: **Akima's Bivariate***).

Jó tanács! Célszerű mindenkinek a saját maga állomány-elnevezési rendszerét kitalálnia. A modellezés során rengeteg állomány készül, és ezek között csak „szigorú rendet tartva" lehet majd később is eligazodni. Mi a példánkban és az életben is az interpolálásra előkészített állományokat ***PM*.DAT*** néven, az interpolálás révén kapott mátrixokat ***PMX*.DAT*** néven neveztük el. Ez azért fontos, mert ha véletlenül szükségessé válik az elemosztás későbbi megváltoztatása, pl. az elemek sűrítése, akkor a korábbi mátrixok hasznavehetetlenné válnak (így az összes ***PMX*.DAT*** törölhető és törlendő), miközben a ***PM*.DAT*** állományok minden új hálónál a számítások kiindulópontjai lehetnek. Főképpen akkor nagy segítség az értelmes állománynévrendszer, ha hónapok vagy évek múltán kell egy korábbi modellhez visszatérni, mert addigra szinte minden más „kapaszkodó" feledésbe merül…

Indítsuk el a programot a **Tools → Field Interpolator** paranccsal, majd ellenőrizzük a modell nevét és adjuk meg a korábban említett beállításokat (143. ábra).



143. ábra
A Field Interpolator beállításai

Az elkészült állományokat a **Grid → Aquifer Top** és a **Grid → Aquifer Bottom** menüvel elérhető mátrixokba kell beolvasni. A ***PMX_TEREP.DAT*** állomány az 1. réteg fedője, a ***PMX_HOMOKFEKU_MBF.DAT*** állomány a 2. réteg fedője, egyben az 1. réteg feküje, stb. (17.1. táblázat).

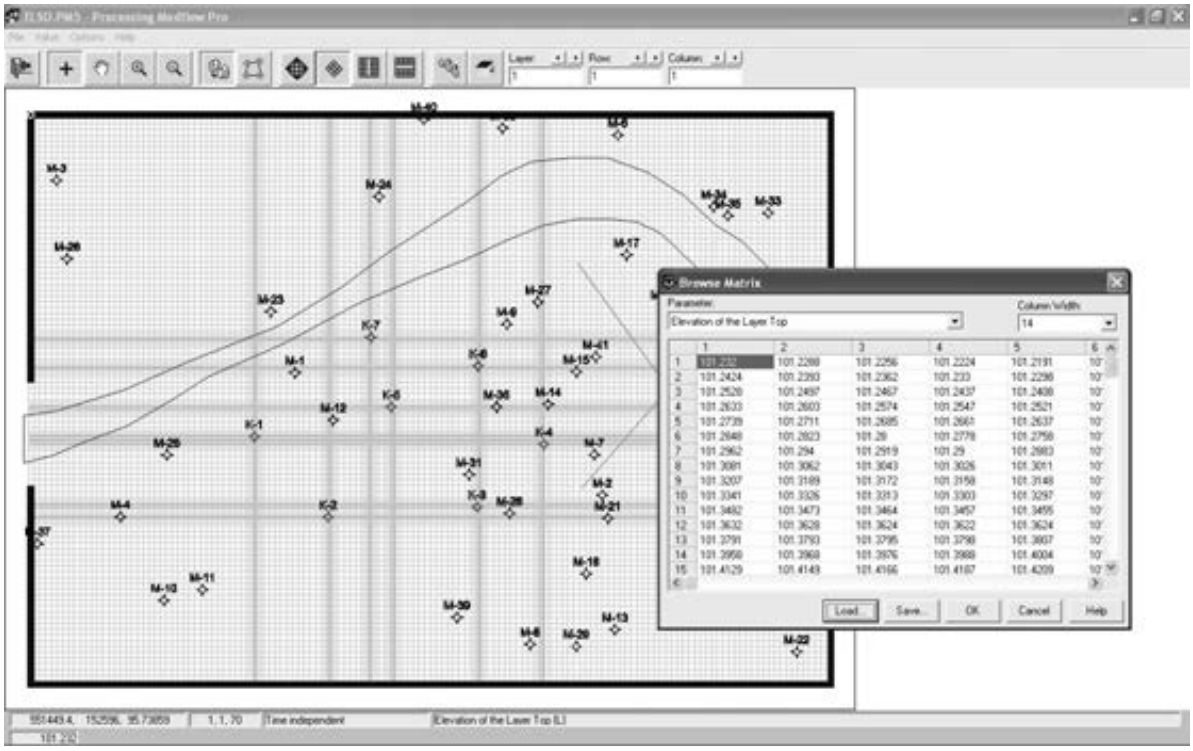
A beolvasást a **Grid Editor Value → Matrix** parancsával tehetjük meg (144. ábra).

Ezzel a modell geometriáját meghatároztuk, a következőkben a vízföldtani tulajdonságok megadásával foglalkozunk. A vízföldtani tulajdonságok megadásához szükség van az idő dimenziójának megadására, amit a **Parameters → Time** paranccsal tehetünk meg. Legyen az idő dimenziója nap [d], ennek megfelelően a szivárgási tényezőt és a maradó beszivárgást m/d, a kutak hozamait m^3/d dimenzióban kell megadni.

Válasszuk hát ki a ***Simulation Time Unit*** mezőben a ***Days*** opciót, továbbá permanens modellről lévén szó a ***Simulation Flow Type*** mezőben válasszuk a ***Steady-State*** opciót. Az **OK** gombbal hagyjuk el a ***Time Parameters*** dialógusablakot.

17.1. táblázat

A fedő és feküállományok megadása		
Réteg	**Aquifer Top (fedő)**	**Aquifer Bottom (fekü)**
1. réteg: homok	***PMX_TEREP.DAT***	***PMX_HOMOKFEKU_MBF.DAT***
2. réteg: iszap	***PMX_HOMOKFEKU_MBF.DAT***	***PMX_ISZAPFEKU_MBF.DAT***
3. réteg: homokos kavics	***PMX_ISZAPFEKU_MBF.DAT***	***PMX_KAVICSFEKU_MBF.DAT***

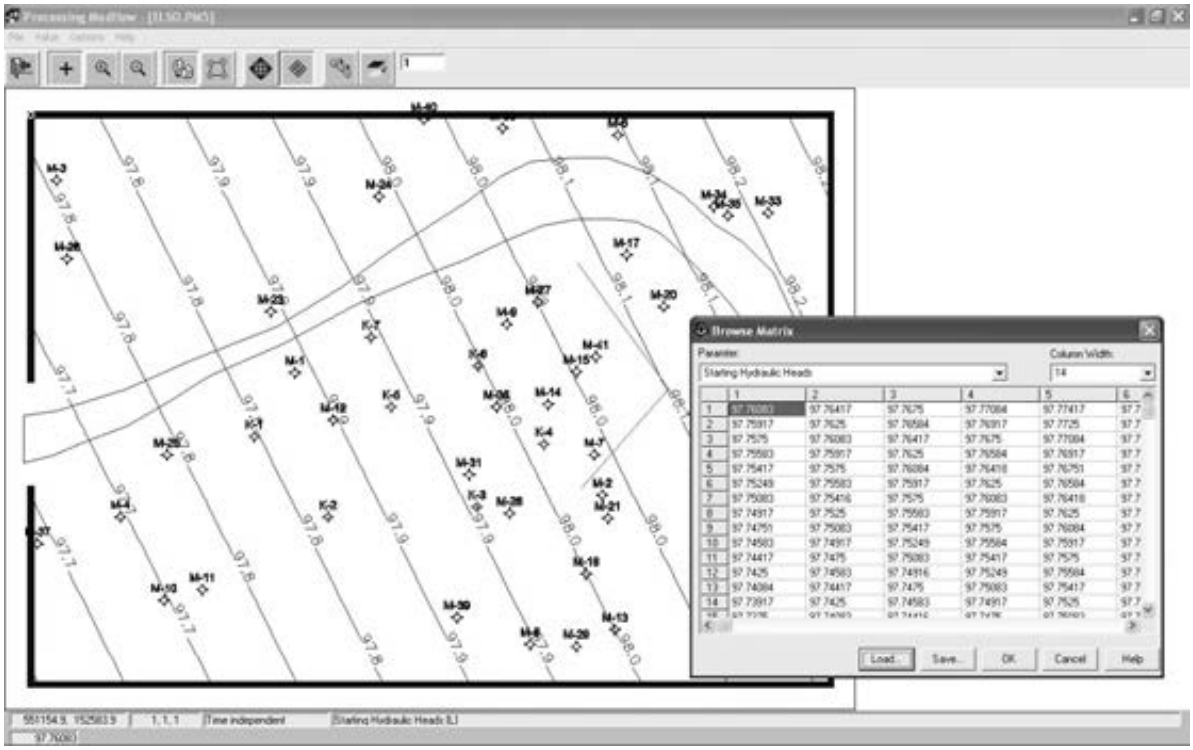


144. ábra
A réteghatár magassági adatokat tartalmazó mátrixok beolvasása

Ezután olvassuk be a kezdeti feltételként szolgáló talajvízszint-értékeket a **Parameters → Initial Hydraulic Heads** menü segítségével. Valamennyi rétegben tételezzük fel, hogy azonos a nyomásszint-eloszlás, ezért mindhárom mátrixba olvassuk be a ***TVSZ.GRD*** átalakításával készített ***PM_TVSZ.DAT*** állományból a ***Field Interpolator***ral számított ***PMX_TVSZ.DAT*** mátrixot! Amennyiben az állományokat izovonalas térképen ábrázoljuk (**Options → Environment** menü **Contours** lap ***Visible*** mező, 145. ábra) látható, hogy a talajvíz áramlása KÉK-NyDNy-i, a horizontális hidraulikus gradiens kb. 0.6 m/4300 m= 0,14 m/km. Ne felejtsük el, mindhárom rétegbe behívni a mátrixot a **Value → Matrix** parancsot követően a **Load** gomb

megnyomásával, majd ha végeztünk, akkor a **File → Leave Editor** paranccsal térjünk vissza a főmenübe.

Ezt követik a szivárgási tényezők. A területről információ a folyótól délre eső terület kútjaiból áll rendelkezésre próbaszivattyúzási adatok formájában, illetve a kutatás során a folyótól északra is történt három kútban próbaszivattyúzás. A kapott adatok alapján a folyótól É-ra kissé iszaposabb kifejlődésűek a vízadók, ezért célszerűen a folyótól É-ra és D-re eső területeket eltérő hidraulikai paraméterekkel jellemezhetjük (17.2. táblázat).

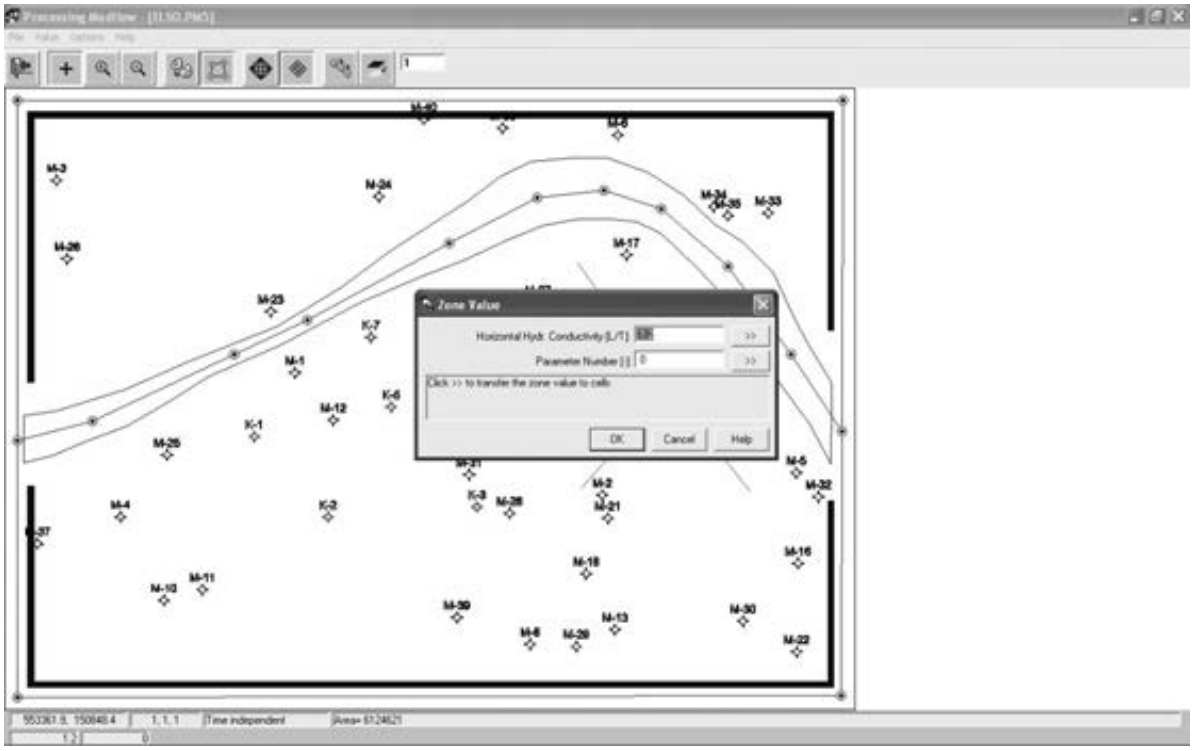


145. ábra
A nyugalmi nyomásszintek [mBf.] beolvasása és térképe

17.2. táblázat

A modellben alkalmazott vízföldtani paraméterek			
Réteg	**Szivárgási tényező [m/d]**		**Szabad hézagtérfogat [-]**
	horizontális	**vertikális**	
Folyótól északra eső területrész			
1. homok	0,8	0,4	0,11
2. iszap	0,02	0,01	0,07
3. homokos kavics	15	5	0,22
Folyótól délre eső területrész			
1. homok	2,5	0,8	0,13
2. iszap	0,02	0,01	0,07
3. homokos kavics	25	8	0,25

A vízföldtani paramétereket zónák segítségével adjuk meg. Ehhez először nyissuk meg bármelyik paraméter ***Grid Editor***át (mi a horizontális szivárgási tényező ablakát választottuk erre a célra: **Parameters → Horizontal Hydraulic Conductivity**)! Az egyszerűbb rajzolás érdekében váltsunk a „ValóVilág” üzemmódba: **Options → Display Mode → Real-World**. Ennek az az előnye, hogy a zónákat nyugodtan a modell határán túl is kijelölhetjük, így biztosítva, hogy minden cella a két zóna területére essék. (Alapvető és nehezen észrevehető hiba, amikor a zónák nem fedik le teljesen a modellezett területet, ami miatt egyes, a zónákon kívül található cellákban a szivárgási tényező zérus marad. A hiba elkerülése végett javasoltuk a környezet beállításakor, hogy a képernyőn maradjon körben egy szabad, 100 m széles sáv, amit ilyenkor jól lehet használni!) Ezután váltsunk a zóna üzemmódba (**Options → Input Method → Zones**) és a 8.3. fejezetben leírtak szerint rajzoljuk meg a két zónát. A zónákhoz rendeljük hozzá az értéket az 1. modellrétegben a „>>” feltöltőgomb segítségével (146. ábra). Végül a készített zónákat mentsük el a **Value → Zones → Save As** paranccsal ***VIZFOLDTAN.ZON*** néven.



146. ábra
A vízföldtani paraméterek zónái és értékadás a zónákhoz

A második rétegben állandó minden vízföldtani paraméter, ezért ezeket a **Value → Reset Matrix** paranccsal adjuk meg, a homokos kavics rétegbe előbb hívjuk be a korábbi zónákat a **Value → Zones → Load** paranccsal, majd rendeljük hozzá a 17.2. táblázatban felsorolt értékeket. Ezután a ***Grid Editor***ból lépjünk ki a **File → Leave Editor** paranccsal, majd ugyanígy járjunk el a függőleges szivárgási tényezők

(***Vertical Hydraulic Conductivity***) és a szabad hézagtérfogat (***Effective Porosity***) megadásánál.

A szivárgó modellbe illesztéséhez futtassuk a **Models → MODFLOW → Drain** parancsot (lásd 8.2.2.fejezet). A területen található T-alakú szivárgót 97.5 mBf. magasságban képezték ki. A drén körül kavicsos homok szivárgótestet képeztek ki, aminek szivárgási tényezője 5 m/d. A szivárgót két paraméterrel jellemezzük a MODFLOWban, a drén fektetési magasságával (***Elevation of the Drain***) és az ekvivalens szivárgási tényezővel, ami a drén elembeli hosszának és a szivárgótest szivárgási tényezőjének a szorzata. Az egyszerűsítés kedvéért most tételezzük fel, hogy a normál méretű elemekben 25 m, sűrített elemeknél 12.5, illetve 5 m a szivárgó elemen belüli hossza, ennek megfelelően az ekvivalens szivárgási tényező 125, 62.5, illetve 25 m^2/d. Az első rétegben található, a szivárgó területére eső, egyes elemekhez rendeljük hozzá a megfelelő értékeket, kihasználva a ***Grid Editor*** értékmásoló gombját! Az értékadás után lépjünk ki a **File → Leave Editor** paranccsal.

A maradó beszivárgás becsült értéke a területen 20 mm/év, ami átszámítva $5.5 \cdot 10^{-5}$ m/d értéknek felel meg. Futtassuk a **Models → MODFLOW → Recharge** parancsot (lásd 8.2.5.fejezet). A beszivárgás teljes területen történő megadásához használjuk a Reset matrix parancsot, és adjuk meg, hogy a beszivárgás $5.5 \cdot 10^{-5}$ m/d értékű (***Recharge Flux [L/T]: 5.5e-5***), illetve válasszuk ki, hogy a beszivárgás az első modellréteget érinti (***Recharge is only applied to the top grid layer***). Az értékadás után lépjünk ki a **File → Leave Editor** paranccsal.

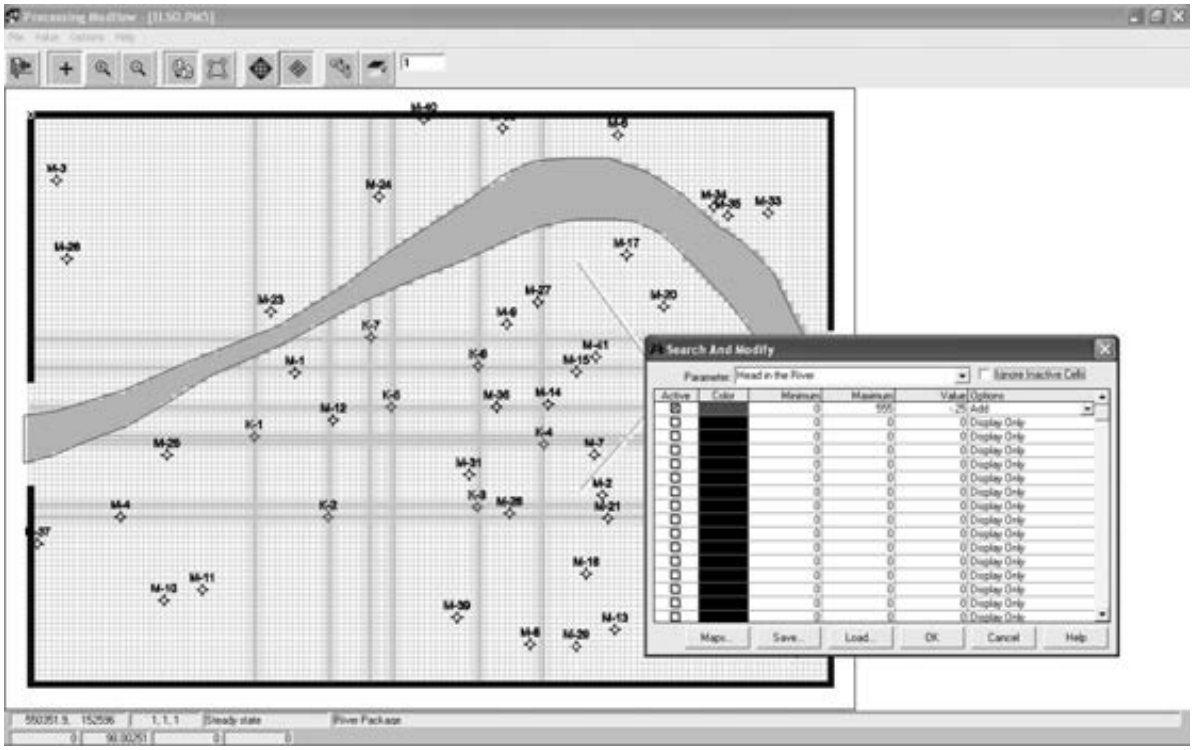
A folyó modellbe illesztéséhez futtassuk a **Models → MODFLOW → River** parancsot (lásd 8.2.3.fejezet). A folyó vizsgálatával megállapították, hogy a területen a folyó vízállása jellemzően az átlagos talajvízszint alatt 25 cm-rel van, az átlagos vízmélység 2 m. A paraméterek alapján a folyó a felső, homokos összlettel van hidraulikai kapcsolatban. A mederfenék vizsgálatok alapján a kolmatált zóna vastagsága 0,8 m szivárgási tényezője 0.04 m/d. Ennek alapján a mederkapcsolati hatásfokot jellemző $b=k/m$ átszivárgási tényező 0.04 m/d / 0.8m = 0.05 d^{-1}, amit az egyes folyócellák területével szorozva megkapjuk CRIV paramétert. Ennek megfelelően a cellamérettől függően a CRIV értéke 31.2 és 0.25 m^2/d között változik. Az eltérő méretű cellákhoz rendeljük hozzá a 31.2, 15.6, 7.8, 6.2, 3.1, 0.25 m^2/d értékeket a ***Hydraulic Conductance of the Riverbed*** mátrixban. Mentsük el a kapott mátrixot ***PMX_CRIV.DAT*** néven!

Ezután állítsuk be a vízállás értékeket, amelyek 25 cm-rel alacsonyabbak a talajvízszintnél. Ehhez hívjuk be a ***Head in the River*** mátrixba a talajvízszint értékeket (***PMX_TVSZ.DAT***) majd a **Value → Search and Modify** paranccsal (147. ábra) valamennyi értékből vonjunk ki 0,25 m-t (***Parameter: Head in the River, Minimum: 0, Maximum: 555, Value: -0.25, Option. Add***). Mentsük el a kapott mátrixot ***PMX_HEADRIVER.DAT*** néven!

Állítsuk be a mederfenék-szinteket, melyek 2 m-rel mélyebben vannak a vízállásnál. Ehhez hívjuk be a ***Elevation of the Riverbed Bottom*** mátrixba a vízállás értékeket (***PMX_HEADRIVER.DAT***) majd a **Value → Search and Modify** paranccsal valamennyi értékből vonjunk ki 2 m-t (***Parameter: Elevation of the Riverbed Bottom,***

Minimum: 0, Maximum: 555, Value: -2, Option. Add). Mentsük el a kapott mátrixot ***PMX_RIVERBOTTOM.DAT*** néven!

Megjegyzés: A minimum és a maximum érték bármekkora lehet, az értékek felvételével csak arra törekedtünk, hogy valamennyi cellaérték az intervallumba essék.



147. ábra
A Search and Modify parancs használata

A kutak modellbe illesztéséhez futtassuk a **Models → MODFLOW → Wells** parancsot (lásd 8.2.1. fejezet). A kutak hozamát a ***KUTAK.DAT*** állomány tartalmazza. Az 1. és 3. modellrétegbe írjuk be a megfelelő cellákba kúthozamokat (17.3. táblázat), figyeljünk, hogy a kitermelt vízmennyiségeket negatív számok jelzik!

17.3. táblázat

A vízkivételek adatai				
EOV Y	**EOV X**	**Kút neve**	**Q_{homok}[m^3/d]**	**Q_{kavics}[m^3/d]**
550984.67	151087.78	K-1	0	30
551304.94	150738.39	K-2	20	20
551953.80	150781.83	K-3	15	20
552244.96	151054.50	K-4	0	30
551579.46	151216.72	K-5	0	30
551957.96	151395.57	K-6	15	20
551492.11	151520.51	K-7	0	20

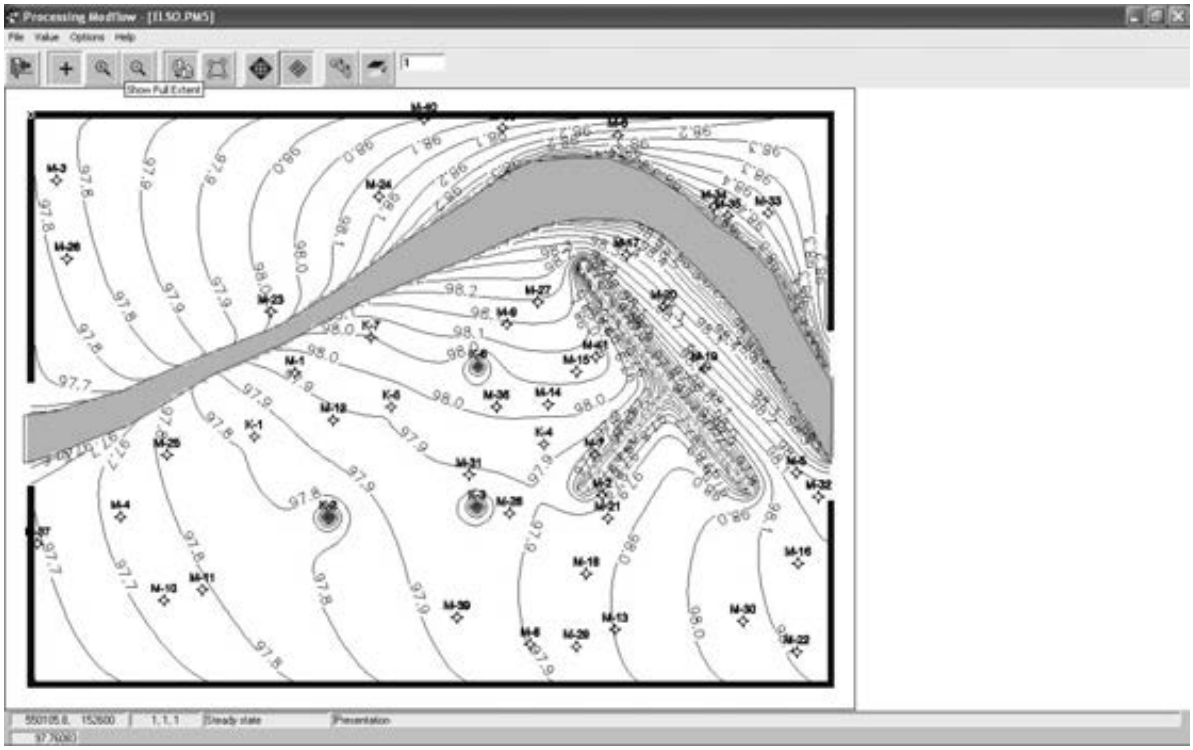
Ezután futtassuk a modellt a **Models → MODFLOW → Run** paranccsal. A biztonság kedvéért az Options menüben valamennyi jelölőnégyzetet jelöljük be. Ekkor a rendszer elvégzi az adatállomány formai ellenőrzését, és elkészíti a MODFLOW állományokat. Ezután az ***\APP\PERM_MDL\MDL*** könyvtárban keressük meg a ***MODFLOW.BAT*** állományt és kétszer ráklikkelve futtassuk le a programot.

Jelenítsük meg a kialakuló depressziós teret! A **Tools → Presentation** menüben használjuk a ***Result Extractor***t (**Value → Result Extractor**) és hívjuk be a számított potenciálértékeket előbb az első, majd a harmadik rétegbe (***Result Type: Hydraulic Head, Layer: 1***, illetve ***3***). A beállítás után nyomjuk meg a **Read**, **Apply** és a **Close** gombokat (a ***Result Extractor*** használatát lásd 12.4.6.2.5. fejezetnél).

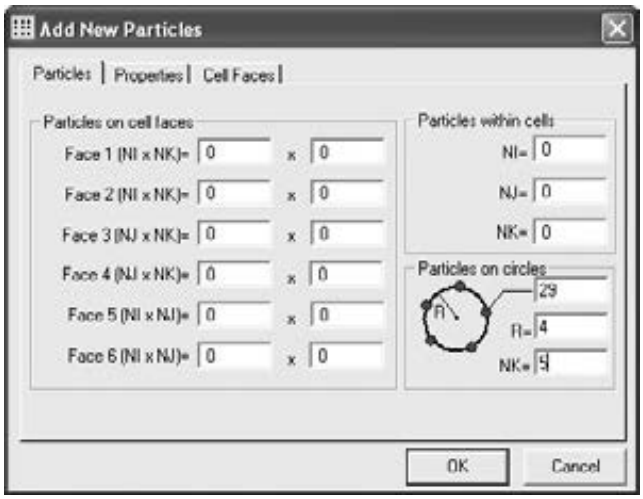
Rajzoljuk ki a depressziós teret az **Options → Environment** parancsban található **Contours** lap megfelelő beállításával (148. ábra)!

Rajzoljuk meg a kutakhoz futó áramvonalakat a PMPATH programmal (**Models → PMPATH (Pathlines and Contours))** ! Az eszköz használatát a 8.6. fejezet részletesebben tárgyalta. Most minden kút szűrőzött szakaszától indítsunk 4 m sugarú hengerpalláston öt mélységszintről 29-29 db vízrészecskét 1 hónapos lépésközzel az áramlási iránnyal szemben (149. ábra).

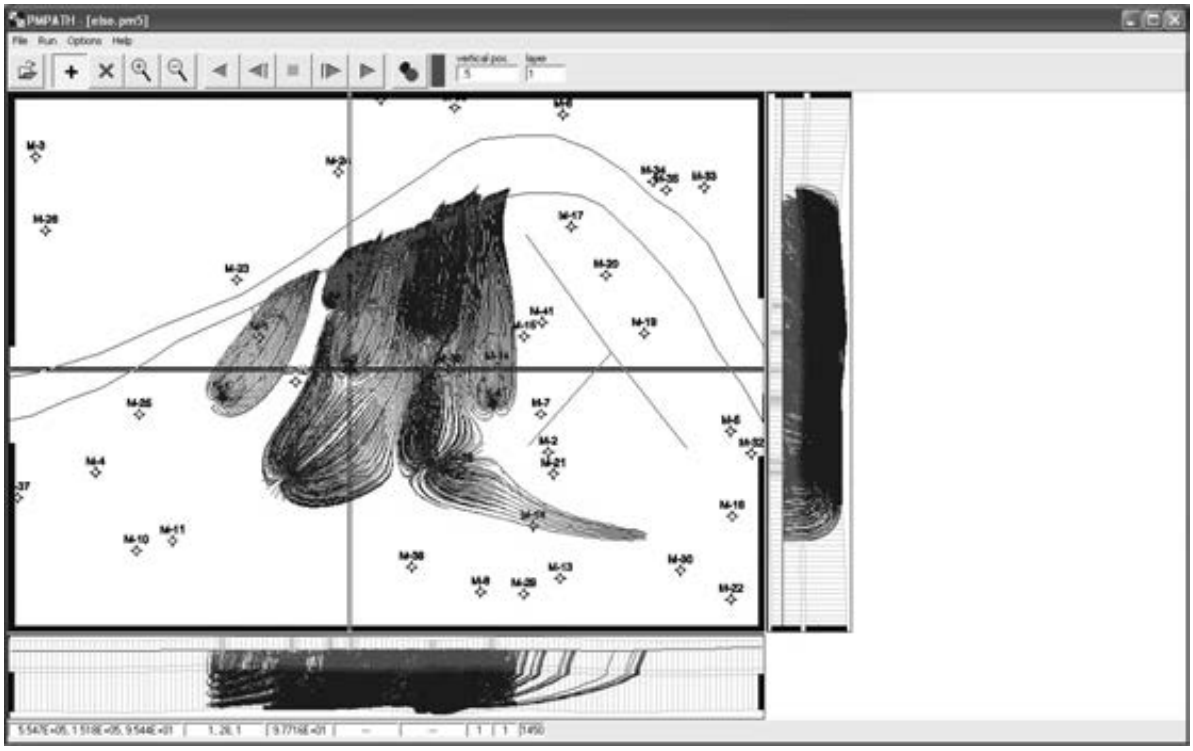
A számított áramvonalakon jól látszik, hogy a szivárgórendszer által keltett depresszió miatt a kutak utánpótlódási területe „kikerüli” a drénezett területrészt (150. ábra).



148. ábra
A homokrétegben kialakuló potenciálfelület



149. ábra
A vízrészecskék megadása



150**. ábra**
A kutakig számított 30 napos áramvonalak

17.2. Az első modell finomítása (\app\perm_mdl2 könyvtár)

Az ***ELSO.PM5*** nevű modellünk bár működőképes mégis van még rajta mit finomítani. Egy ilyen lehetőség a kemény peremfeltételek megváltoztatása úgy, hogy az állandó nyomású cellák helyett **GHB** (***General Head Boundary***) típusú peremeket alkalmazunk. A ***GHB*** cellákat a 8.2.4. fejezetben mutattuk be. A ***General Head***

Boundary lényege, hogy a peremen ki- és beáramló vízmennyiség arányos az aktuális és egy előírt vízszint eltérésével, azaz:

$$Q_{GHB} = C_{GHB} \cdot (h_{GHB} - h), \qquad (17.1.)$$

ahol Q_{GHB} a hozam, h_{GHB} az előírt (***Head on the Boundary***), h az aktuális vízszint és C_{GHB} a perem erősségét jelző mérőszám (***GHB Hydraulic Conductance***):

$$C_{GHB} = \frac{k \cdot A}{L_0}, \qquad (17.2.)$$

ahol k a réteg vízszintes szivárgási tényezője, A a szivárgás irányára merőleges felület nagysága az elemben és L_0 a perem távolsága az állandó nyomásúnak feltételezett határtól.

A GHB perem egy olyan cella, ami úgy működik, mint egy állandó, h_{GHB} nyomású cella, ami a GHB cellától L_0 távolságra van.

Az első modellünket másoljuk egy másik könyvtárba, hogy a korábbi modell érintetlenül maradhasson meg. Mi az ***\APP\PERM_MDL2*** könyvtárba másoltuk át az összes állományt. A könyvtáron belüli ***MDL*** alkönyvtárban található a PM modell.

Először az állandó nyomású peremeket távolítsuk el: A **Grid → Boundary Condition → IBOUND (Modflow)** menün belül valamennyi -1 értéket írjunk vissza 1-re. Legegyszerűbben a **Value → Reset Matrix** paranccsal tehetjük ezt meg, mivel a modellben a változtatás után kizárólag aktív cellák lesznek, ezért valamennyi cella értéke 1.

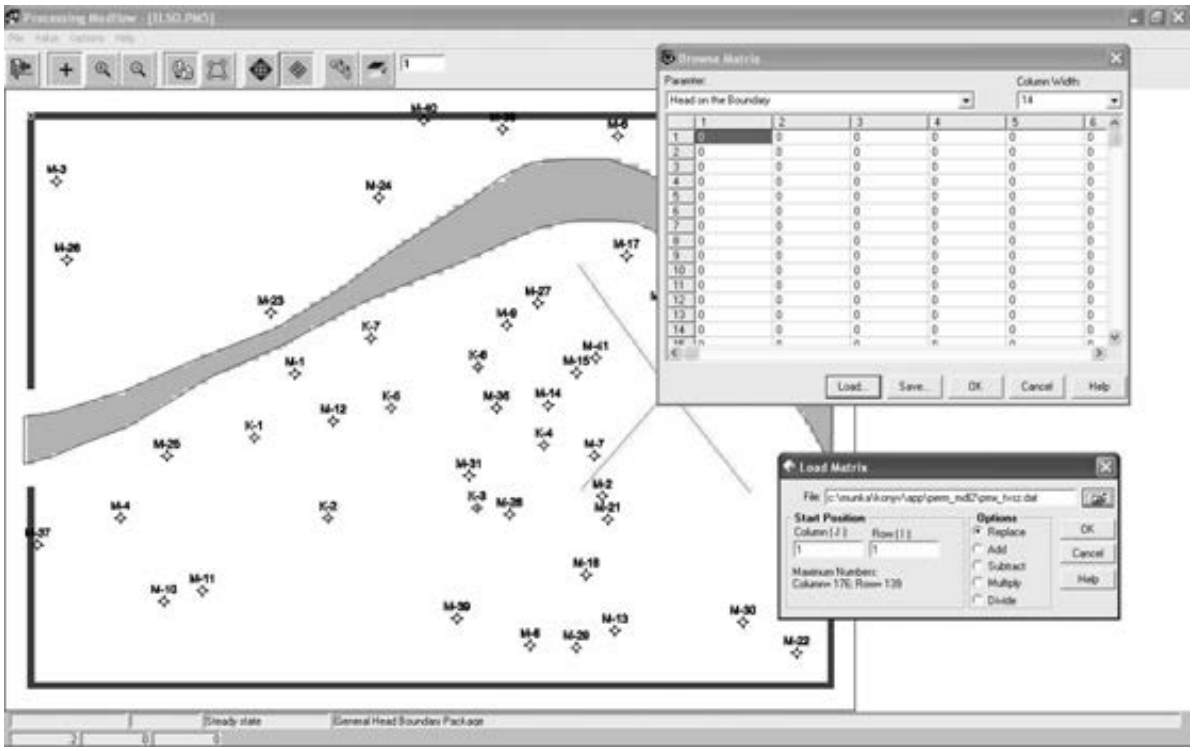
Ezután a **Modell → MODFLOW → General Head Boundary** parancsot hajtsuk végre. A ***Grid Editor***ban valamennyi GHB cellához hozzá kell rendelni egy tartani szándékolt vízszintet, ami esetünkben a kezdeti feltételnek megfelelő vízszint és a perem erősségét befolyásoló tényezőt. Gyengítsük a peremeket annyira, hogy azok megfeleljenek egy 1 km távolságra eső állandó nyomású peremnek. Az egyszerűbb celladefiníció érdekében használjunk átlagos szivárgási tényező értékeket: a homok átlagos szivárgási tényezője 1.5 m/d, a homokos kavicsé 20 m/d. A homokréteg telített vastagsága 5-6 m, a kavicsé 12-13 m. Ennek megfelelően a perem erőssége 25 m szélességű cella esetén a homokban kb. 0,2 m^2/d, a kavicsban kb. 6 m^2/d. A kisebb elemekben az érték elvileg kisebb, azonban könnyen belátható, hogy néhány sűrítés miatt kisebb elem csak a perem közvetlen közelében módosítja a nyomásszinteket, ezért első közelítésként nyugodtan használhatunk állandó C_{GHB} értékeket.

Először írjuk hát be a peremi cellákba a homokrétegre vonatkozóan 0,2 m^2/d, a kavicsra 6 m^2/d „vezetőképesség” értékeket (***GHB Hydraulic Conductance*** mátrix). Ezután rendeljük a határhoz a ***PMX_TVSZ.DAT*** mátrixban tárolt nyomásszint értékeket (***Head on the Boundary*** mátrix, 151. ábra).

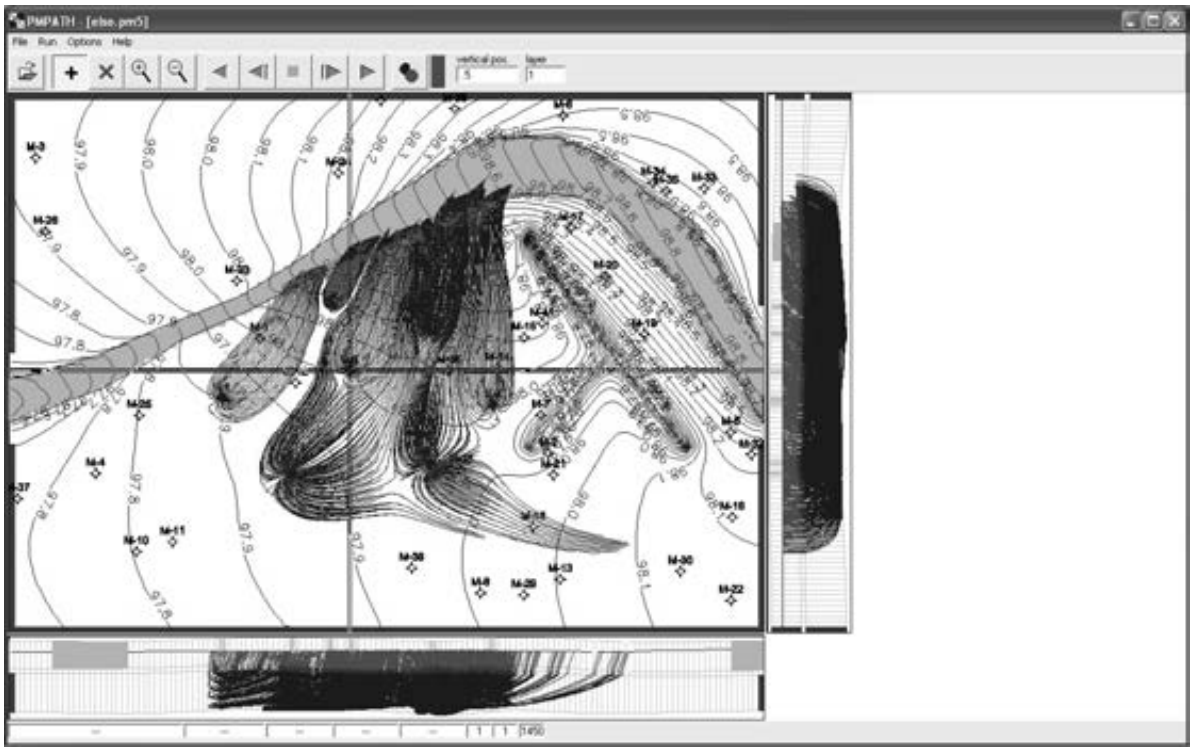
Végül lépjünk ki a ***Grid Editor*** ablakból a **File → Leave Editor** paranccsal.

Amennyiben lefuttatjuk a modellt (Models MODFLOW Run) akkor a 152. ábra szerinti áramképet kapjuk. Bár az áramkép most nem sokat változott, az új modellben

pl. egy a modellperem közelébe telepített kút esetén az áramkép és a hatóterületek számottevően megváltoznának.

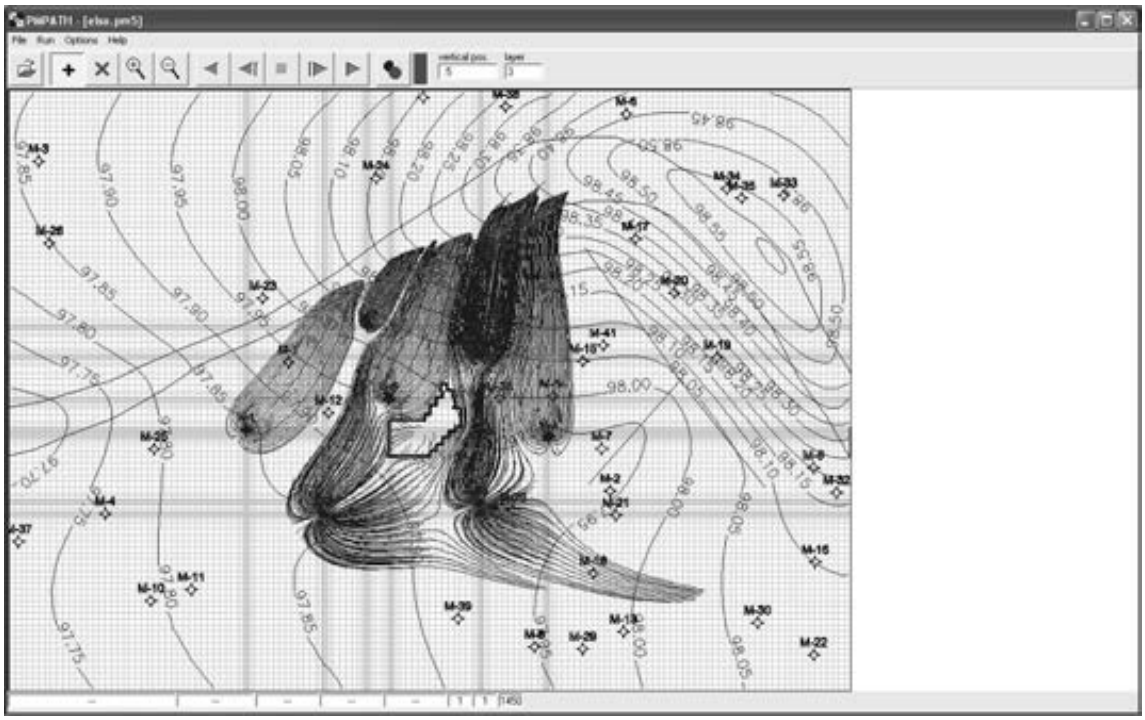


151. ábra
A GHB peremek megadása



152. ábra
A GHB cellákkal kiegészített modellel számított áramvonalak és a potenciálfelület

Bővítsük egy további elemmel a modellt. A modellezett terület középső a termelőkutakkal körbezárt részén a kavics feküjéig mélyített résfalas határolás készül. A résfal nyomvonalát a ***RESFAL.DXF*** állomány tartalmazza. A résfal vastagsága 20 cm, az elérendő szivárgási tényező $5 \cdot 10^{-8}$ m/s, azaz 0,0043 m/d. A résfal *k/m* átszivárgási tényezője 0,0043 m/d /0,2 m = 0,0216 d^{-1}.
A résfalat a ***Horizontal Flow Barrier*** csomaggal illeszthetjük a modellbe. A ***HFB*** csomag jellegzetessége, hogy minden cellának egy oldalához lehet mindösszesen a vízszintes szivárgást csökkentő elemet rendelni, ennek megfelelően a sarokpontoknál a két illeszkedő vonalat két cellához kell hozzárendelni.
A cellák résfallal határolt oldalát a ***Barrier Direction (1-4)*** mezőbe kell beírni, ahol az oldalak sorszámozását a dialógusablakban látható rajz szemlélteti. A fal vízzáróságát a ***(Hydraulic conductivity / Thickness) of the Barrier*** mezőbe kell beírni, ami esetünkben 0,0216 d^{-1}.
A résfalat – tekintettel arra, hogy a kavics feküjébe van bekötve – mindhárom rétegbe át kell másolni, célszerűen a rétegmásoló gomb benyomását követően a Page Down billentyű kétszeri megnyomásával.
Ezután futtassuk újra a modellt a **Modell → MODFLOW → Run** paranccsal. A kapott eredményeket a 153. ábra szemlélteti.



153. ábra
A résfallal kiegészített modellben kialakuló depresszióstér és az áramvonalak

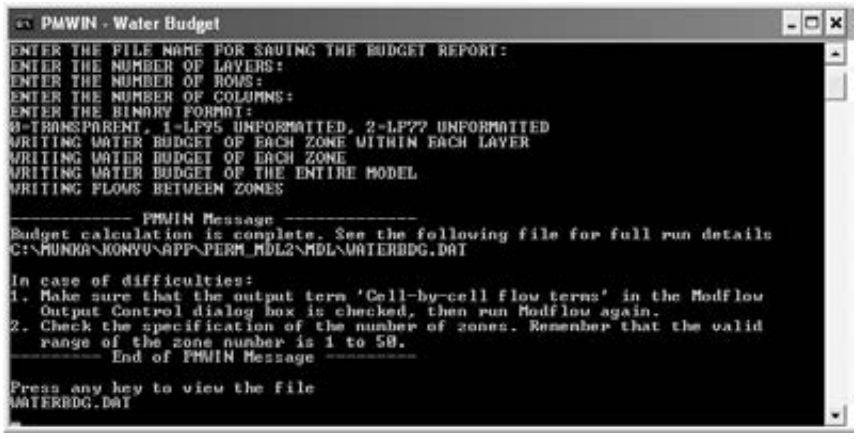
17.3. Vízmérleg meghatározása (a Water Budget program használata)

A feladat legyen a felépített modellben a drén permanens hozamának a meghatározása, majd a teljes rendszer, illetve a folyótól délre található területrész homokos vízadója vízmérlegének a kiszámítása. A vízmérleg elemeinek meghatározására a ***Water***

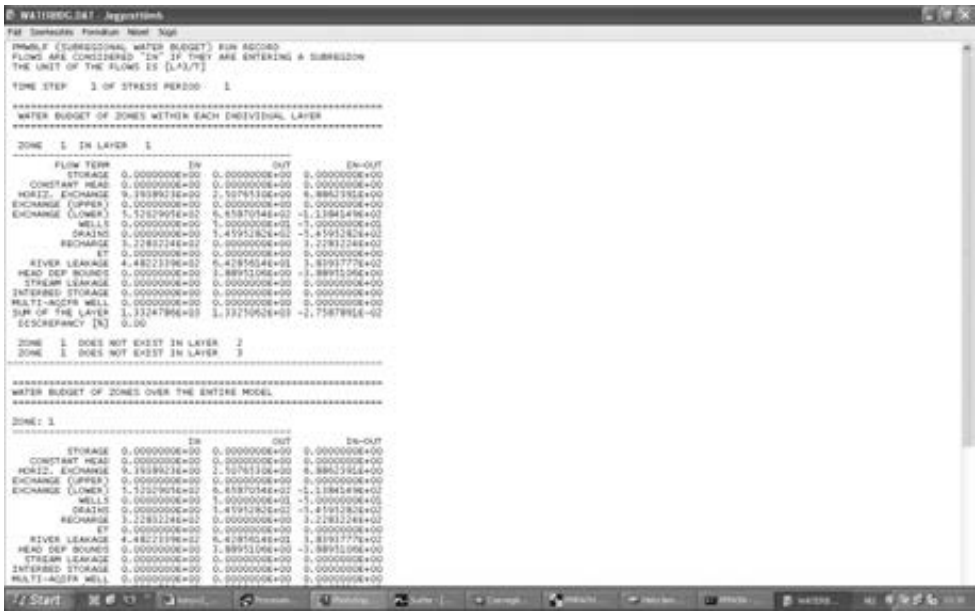
Budget program szolgál, aminek bemutatásával az első kötet egyik jelentős mulasztását is pótoljuk egyben.

A program a **Tools → Water Budget…** paranccsal indul el, és egy dialógusablakot jelenít meg (154. ábra). Az ablakban előbb definiálni kell a ***Time*** mezőben, hogy melyik periódus, melyik időlépcsőjének vízforgalmát (lásd 8.1.1.3. fejezet) a szeretnénk vizsgálni. Esetünkben a permanens modell miatt 1 periódus van 1 időlépcsővel (***Stress Period:1*** és ***Time Step:1***). A ***Zones*** gombbal részterületeket definiálhatunk a területen, ahol a számítás külön-külön is megtörténik. Nyomjuk meg hát a ***Zones*** gombot, és a megjelenő ***Grid Editor*** ablakba hívjuk be a **Value → Zones → Load** paranccsal a ***VIZFOLDTAN.ZON*** állományt. Váltsunk zóna üzemmódba: **Options → Input Method → Zones**, majd a folyótól délre eső területrészt nevezzük el 1. zónának (***Subregion Number: 1***) és rendeljünk hozzá a jobb egérgombbal 1 értéket nem elfelejtve a mezők „>>" gombbal való feltöltését sem! Ezután lépjünk ki az ablakból a **File → Leave Editor** paranccsal, majd mentsük el az információkat. Ezzel a lépéssel visszajutunk a 154. ábra szerinti ablakhoz, ahol a számítás elindításához nyomjuk meg az **OK** gombot (155. ábra). Ha úgy vesszük észre, hogy semmi sem történt, akkor megint megtréfált bennünket a Windows. Ekkor a program által a modell aktuális könyvtárában előállított ***PMWBL.BAT*** nevű állományt keressük meg, és futtassuk (klikk kétszer!), amire ténylegesen megtörténik a számítás. A számítás eredményeit a ***WATERBDG.DAT*** állomány tartalmazza (156. ábra)

154. ábra
A vízforgalom számító program dialógusablaka



155. ábra
A Water Budget számító rutinja egy DOS ablakban fut le



156. ábra
A számítás eredményeit a ***WATERBDG.DAT*** nevű szövegfájl tartalmazza

A számítás eredményei a következők:

```
PMWBLF (SUBREGIONAL WATER BUDGET) RUN RECORD
 FLOWS ARE CONSIDERED "IN" IF THEY ARE ENTERING A SUBREGION
 THE UNIT OF THE FLOWS IS [L^3/T]

 TIME STEP    1 OF STRESS PERIOD    1                                  ⇦ Az időlépcső száma

 ================================================================
  WATER BUDGET OF ZONES WITHIN EACH INDIVIDUAL LAYER                  ⇦ Az egyes zónák
 ================================================================    vízmérlegei rétegenként

  ZONE    1  IN LAYER    1                                           ⇦ 1. zóna 1. réteg
 ------------------------------------------
        FLOW TERM              IN              OUT          IN-OUT
          STORAGE  0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
    CONSTANT HEAD  0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
  HORIZ. EXCHANGE  9.3938923E+00  2.5076530E+00  6.8862391E+00
 EXCHANGE (UPPER)  0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
 EXCHANGE (LOWER)  5.5202905E+02  6.6587054E+02 -1.1384149E+02
            WELLS  0.0000000E+00  5.0000000E+01 -5.0000000E+01
           DRAINS  0.0000000E+00  5.4595282E+02 -5.4595282E+02
         RECHARGE  3.2283224E+02  0.0000000E+00  3.2283224E+02
               ET  0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
    RIVER LEAKAGE  4.4822339E+02  6.4285614E+01  3.8393777E+02
  HEAD DEP BOUNDS  0.0000000E+00  3.8895106E+00 -3.8895106E+00
    STREAM LEAKAGE  0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
 INTERBED STORAGE  0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
 MULTI-AQIFR WELL  0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
 SUM OF THE LAYER  1.3324786E+03  1.3325062E+03 -2.7587891E-02
  DISCREPANCY [%]  0.00

  ZONE    1  DOES NOT EXIST IN LAYER    2                             ⇦ 1. zóna 2. réteg
  ZONE    1  DOES NOT EXIST IN LAYER    3                             ⇦ 1. zóna 3. réteg
-----------------------------------------------------------------
```

```
============================================================
WATER BUDGET OF ZONES OVER THE ENTIRE MODEL                  ⇦ Az egyes zónák
============================================================ vízmérlege a teljes modellben

ZONE: 1
-------------------------------------------
                            IN             OUT          IN-OUT
          STORAGE  0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
    CONSTANT HEAD  0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
  HORIZ. EXCHANGE  9.3938923E+00  2.5076530E+00  6.8862391E+00
EXCHANGE (UPPER)   0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
EXCHANGE (LOWER)   5.5202905E+02  6.6587054E+02 -1.1384149E+02
            WELLS  0.0000000E+00  5.0000000E+01 -5.0000000E+01
           DRAINS  0.0000000E+00  5.4595282E+02 -5.4595282E+02
         RECHARGE  3.2283224E+02  0.0000000E+00  3.2283224E+02
               ET  0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
    RIVER LEAKAGE  4.4822339E+02  6.4285614E+01  3.8393777E+02
  HEAD DEP BOUNDS  0.0000000E+00  3.8895106E+00 -3.8895106E+00
   STREAM LEAKAGE  0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
 INTERBED STORAGE  0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
 MULTI-AQIFR WELL  0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
 SUM OF ZONE(  1)  1.3324786E+03  1.3325061E+03 -2.7465820E-02
  DISCREPANCY [%]  0.00


============================================================
WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:                      ⇦ A teljes modell vízmérlege
============================================================

        FLOW TERM             IN             OUT          IN-OUT
          STORAGE  0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
    CONSTANT HEAD  0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
            WELLS  0.0000000E+00  2.2000000E+02 -2.2000000E+02
           DRAINS  0.0000000E+00  5.4595282E+02 -5.4595282E+02
         RECHARGE  4.8117084E+02  0.0000000E+00  4.8117084E+02
               ET  0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
    RIVER LEAKAGE  8.4704047E+02  1.0925388E+02  7.3778656E+02
  HEAD DEP BOUNDS  3.1785870E-01  4.5344470E+02 -4.5312683E+02
   STREAM LEAKAGE  0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
 INTERBED STORAGE  0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
 MULTI-AQIFR WELL  0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
------------------------------------------------------------
              SUM  1.3285292E+03  1.3286514E+03 -1.2219238E-01
  DISCREPANCY [%] -0.01
```

Az eredmény állomány táblázatokat tartalmaz, melyben a befolyó (***IN***) a kifolyó (***OUT***) vízmennyiségeket és azok eredőjét (***IN-OUT***) láthatjuk. A vízmérleget objektum csoportonként kapjuk meg a modell hosszúság (L) és idő dimenziója (T) alapján számított L^3/T dimenzióban. Az egyes objektumok gyakorlatilag megfelelnek a MODFLOW csomagjainak: Tárolódás a rétegen belül (***Interbed storage***) az IBS csomag használata esetén, az állandó nyomású peremek által szolgáltatott hozamok (***Constant Head***), a kutak (***Wells***), szivárgók (***Drains***), folyók (***River Leakage***), GHB cellák (***Head Dep Bounds***). A több rétegre szűrőzött kutakat csak a MODFLOW-2000 kezeli, ezek hozamát a ***Multi-Aquifr Well*** sor tartalmazza, míg az evapotranszspirációs csomagét az ***ET***, a maradó beszivárgását a ***Recharge***. A teljes

tárolt vízmennyiséget az időlépcső alatt a ***Storage*** sor adja meg, ami permanens számítás esetén értelemszerűen zérus.
Esetünkben a szivárgó közel 546 m^3/d hozamot szolgáltat, és a folyótól délre eső homokréteg vízmérlege a következő tényezőkből áll:
A szivárgó 546 m^3/d, a kutak 50 m^3/d hozammal termelnek. A csapadék a területre 322 m^3/d, a folyó 384 m^3/d hozamot juttat. A függőleges vízforgalommal 113 m^3/d, a peremeken 4 m^3/d víz távozik. A folyó alatt a homokrétegben vízszintes irányban mindösszesen 7 m^3/d víz mozog, ennek köszönhető, hogy az áramvonalak nem futnak át a folyó túlpartjára.

17.4. Az első modell továbbfejlesztése nem permanens állapotú modellé (\app\nemperm könyvtár)

A vizsgált probléma legyen a következő: Az előbbiekben felépített modellben a kutak hozama időben állandó volt. A kérdés, hogy hogyan változik a depressziós tér, ha három egymást követő hónapban egyes kutak termelését megváltoztatják.

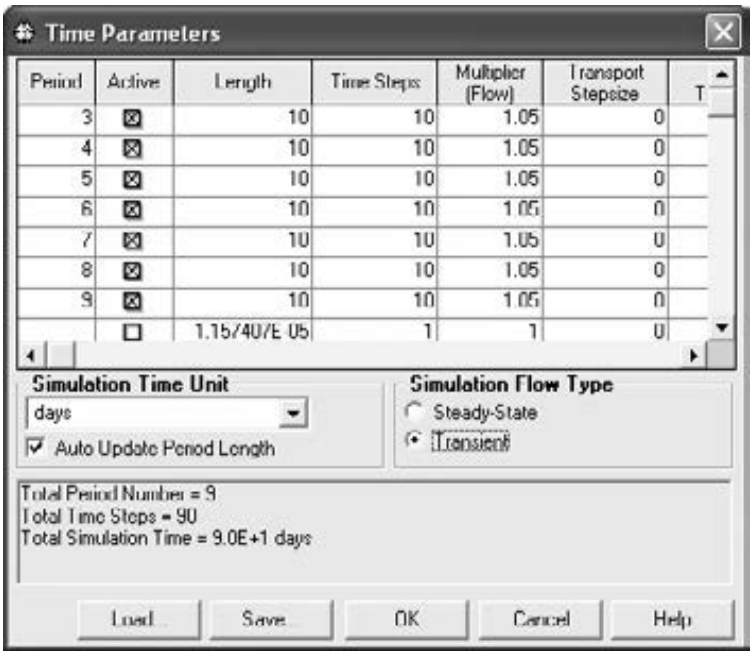
Mivel 3x1 hónap vizsgálatáról van szó, ezért elvileg 3 db egymást követő 1 hónapos periódusból fel lehet építeni a rendszert, mert a nem permanens rendszerekben az időbeli változásokat állandó tulajdonságú folyamatok sorozataként kell definiálni. Most mégis azt javasoljuk, hogy egy később készítendő animáció miatt összesen 9x10 napos rendszert vizsgáljunk. Ennek megfelelően 9 db periódusra bontjuk a folyamatot, ahol minden 3. eltelt periódust követően lesznek változások az adatrendszerben.

Először is az előbb készített modell-adatrendszert másoljuk át az \app\nemperm könyvtárba. Ezt követően a modell átalakítását az új könyvtárban végezzük el, hogy a korábbi modell megmaradjon az eredeti formájában.

A nem permanens modellhez a következő változtatásokat kell tenni:

– az időbeliséget definiálni kell a **Parameters → Time** menüben,
– a kezdeti feltételeket ellenőrizni kell,
– az időben változtatható tulajdonságokat meg kell adni,
– újra kell futtatni a modellt.

Először tehát nyissuk meg a modellt az újonnan készített \app\nemperm könyvtárból a **File → Open** paranccsal. Ezután menjünk a **Parameters → Time** menübe, ahol a 157. ábra szerinti paramétereket adjuk meg. Ezzel definiálunk 9 db 10 nap hosszú (***Length***) periódust, melyeket 10-10 db időlépcsőre (***Time Steps***) osztottunk. Az egyes időlépcsők a periódus elején – követve a gyorsabb potenciál-változásokat – rövidebbek, mint a periódus végén. Ezt a valamennyi periódus során alkalmazott 1,05 időszorzóval (***Multiplier (Flow)***) valósítottuk meg. Természetesen a modell típusát is nem permanensre változtattuk (***Simulation Flow Type: Transient***).



157. ábra

Az időparaméterek beállítása a nem permanens modellhez

Ezt követően szükséges néhány további vízföldtani paraméter a fajlagos tárolási tényező (***Specific Storage***) és a fajlagos hozam (***Specific Yield***) megadása. Ezek a paraméterek azok, melyek a szivárgás egyenletének jobb oldali tagjában a potenciálváltozások időbeliségét írják le. Mivel a permanens modellezésnél az egyenlet jobb oldala zérus, ezért a képletben szorzótényezőként szereplő paraméterekre sem volt akkor szükség. Nem permanens modell esetén azonban ezeket a tényezőket meg kell adni. Ismét tételezzük fel eltérő viselkedésűnek a vízadókat a folyó két partján, ennek megfelelően a 17.4. táblázat szerinti értékeket vettük fel.

17.4. táblázat

A nem permanens modell vízföldtani paraméterei					
Réteg	**Szivárgási tényező [m/d]**		**Szabad hézag-térfogat [-]**	**Fajlagos tárolási tényező [1/m]**	**Fajlagos hozam [-]**
	horizontális	**vertikális**			
A folyótól északra eső területeken					
1. homok	0,8	0,4	0,11	0,0003	0,10
2. iszap	0,02	0,01	0,07	0,0005	0,06
3. homokos kavics	15	5	0,22	0,00007	0,20
A folyótól délre eső területeken					
1. homok	2,5	0,8	0,13	0,0002	0,11
2. iszap	0,02	0,01	0,07	0,0005	0,06
3. homokos kavics	25	8	0,25	0,00005	0,22

Az értékek beállításához nyissuk meg előbb a **Parameters → Specific Storage** menüvel a fajlagos tárolási tényezőket tartalmazó mátrixot. Az első és a harmadik modellrétegbe hívjuk be a ***VIZFOLDTAN.ZON*** zónahatárokat, majd a zónákhoz rendeljük hozzá a táblázatban közölt értékeket. Töltsük fel a zónák területére eső cellákat a „>>" gombbal! A második rétegben az állandó nagyságú értékeket a **Value → Reset Matrix** paranccsal adjuk meg! Lépjünk ki a ***Grid Editor*** ablakból a **File → Leave Editor** paranccsal!

Ismételjük meg a felsoroltakat a **Parameters → Specific Yield** menüpontnál is, definiálva a fajlagos hozam értékeket!

Ezután adjuk meg az időben változó paramétereket. A MODFLOW valamennyi csomagjánál van lehetőség az időben változó, de periódusonként állandó tulajdonságok megadására. Ennek megfelelően a ***Grid Editor*** ablak alsó sávjában a nem permanens modellezés során a rendszer kiírja az aktuálisan szerkesztett periódus számát. Értelemszerűen minden periódushoz tartozhat egy-egy tulajdonságmátrix, azonban, ha a tulajdonság két egymást követő időlépcsőben nem változik, akkor azt nem szükséges többször megadni.

Esetünkben a szivárgó, a beszivárgás, a résfal és a GHB peremek tulajdonságai ne változzanak, de változzanak a kutak hozamai a 17.5. táblázat szerint. A táblázatban a 0-30 napos hozamok az első három periódushoz, a 30-60 naposak a 4-6. periódusokhoz, a 60-90 naposak a 7-9. periódusokhoz tartoznak.

17.5. táblázat

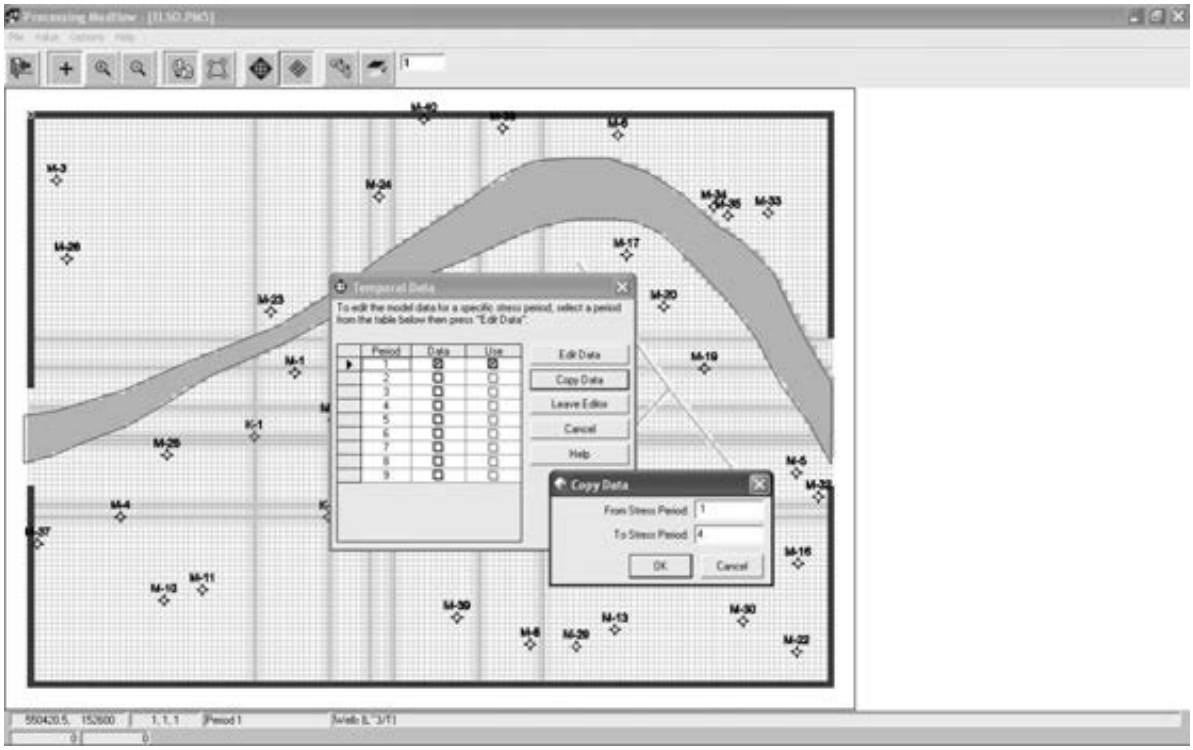
A vízkivételek adatai								
EOV Y	**EOV X**	**Kút neve**	**Q_{homok}[m^3/d]**			**Q_{kavics}[m^3/d]**		
			0-30 nap	**30-60 nap**	**60-90 nap**	**0-30 nap**	**30-60 nap**	**60-90 nap**
550984.67	151087.78	K-1	0	15	0	30	25	35
551304.94	150738.39	K-2	20	15	10	20	15	20
551953.80	150781.83	K-3	15	15	15	20	15	35
552244.96	151054.50	K-4	0	15	0	30	25	40
551579.46	151216.72	K-5	0	15	0	30	25	40
551957.96	151395.57	K-6	15	15	15	20	15	20
551492.11	151520.51	K-7	0	15	0	20	15	25

Használjuk a **Models → MODFLOW → Well** parancsot! A megjelenő ablakban válasszuk az **Edit** gombot, mert szerkeszteni szeretnénk az adatokat. (Amennyiben a csomag kikapcsolása volna a célunk, akkor a **Deactivate** gombot használnánk.)

Ekkor megnyílik az 1. periódushoz tartozó kúthozam-mátrix. Mivel az első harminc napban a hozamok megfelelnek a korábban modellezett helyzetnek, ezért ezen nem kell változtatnunk.

Adjuk ki a **File → Leave Editor** parancsot! Ekkor a rendszer nem lép ki azonnal, hanem lehetőséget ad a periódusok közötti váltásra, továbbá egyes adat-mátrixok

periódusok közötti másolására is. Tegyük most ezt. Az első periódus adatait másoljuk át a 4. periódusba a **Copy Data** gomb megnyomásával és a megfelelő periódusok definiálásával (***From Stress Period: 1, To Stress Period: 4,*** 158. ábra)



158. ábra
A kúthozam adatok másolása az időlépcsők között

Ezután jelöljük ki a táblázatban a 4. periódust és nyomjuk meg az **Edit Data** gombot, ezzel szerkeszthetővé és módosíthatóvá válik a 4. periódushoz tartozó kúthozam adatrendszer. Adjuk meg a 17.5. táblázat szerinti értékeket az 1. és 3. modellrétegben!

Majd ismét adjuk ki a **File → Leave Editor** parancsot! Másoljuk át a 4. periódus adatait a 7. periódusba a **Copy Data** gomb megnyomásával és a megfelelő periódusok definiálásával (***From Stress Period: 4, To Stress Period: 7***). Jelöljük ki a táblázatban a 7. periódust, és nyomjuk meg az **Edit Data** gombot, majd módosítsuk a 7. periódushoz tartozó kúthozam adatrendszert a 17.5. táblázat szerint.

Adjuk ki utoljára is a **File → Leave Editor** parancsot, majd a **Leave Editor** gombbal az adatok mentése után lépjünk ki a főmenübe!

Bizonyos esetekben célszerű lehet még a kezdeti feltételek megváltoztatása. Amennyiben a kutak tartósan üzemeltek és ezt követően indítjuk a számítást, akkor a permanens modellel számított kezdeti nyomásszinteket érdemes a modellbe importálni. Esetünkben ezt nem tesszük, mert az első három periódusban a permanens helyzetnek megfelelő termelést szimulálunk, azaz azt tételezzük fel, hogy a 0. napon indul a rendszer. Amennyiben nem ez lenne a helyzet a számított permanens állapotú potenciálértékek importálásához a **Parameters → Initial Hydraulic Heads** menüben adjuk ki a **Value → Result Extractor** parancsot. A MODFLOW lapon a megfelelő

réteget (***Layer***) kiválasztva a **Read**, **Apply** és a **Close** gombok megnyomásával az aktuális rétegbe hívhatók a permanens állapotú modell számítási eredményei, feltéve, hogy az utolsó számítás a permanens modellhez tartozott, azaz azóta nem adtuk ki a **Models → MODFLOW → Run** parancsot!

Ezután futtassuk a nem permanens modellt (**Models → MODFLOW → Run**)!

A modell gyorsan, de sokáig fut, tekintettel arra, hogy a 9 periódus összesen 90 időlépcsőjét kell kiszámolnia.

A számítási eredmények bemutatásához készítsünk az időben változó depressziós térről egy animációt!

Nyissuk ki a **Tools → Presentation** ablakot! Ekkor egy hagyományosnak tűnő ***Grid Editor*** ablak nyílik meg. A számítási eredmények ismeretében úgy gondoljuk, hogy az üzemi vízszintek 95 és 100 mBf szint között változnak, amiket 5 cm gyakorisággal rajzoltassunk ki. Állítsuk be az **Options → Environment** parancs ***Contours*** lapján a megjelenítést, legyenek az izovonalak láthatók (***Visible*** mező).

Ezután adjuk ki a **File → Animation** parancsot. Az animáció parancs képfájlok százait gyártja, ezért azokat kötelező külön könyvtárba menteni. Ennek megfelelően készítsünk egy ***ANIM*** nevű alkönyvtárat és legyen az állományok neve ***ANIMACIO***. A gép ezek után elkészíti a képeket az egyes számított állapotokból és elnevezi őket ***ANIMACIO.1***, ***ANIMACIO.2***, …, ***ANIMACIO.90*** névre abban az esetben, ha az animációs parancsnál a ***Frames*** mezőben a ***Create New Frames*** mezőt bejelöltük.

Amennyiben később az elkészített animációt csak lejátszani akarjuk, akkor a ***Create New Frames*** mező kijelölését meg kell szüntetni, és máris lejátszhatjuk a korábbi animációt.

17.5. A modell transzportmodellé bővítése: egy csőtörés következtében bekövetkező szennyeződés szimulációja (\app\transzp könyvtár)

A transzportmodellt a permanens állapotú, első modell kiegészítéseképpen építjük fel, ezért másoljuk az összes állományt át az ***\APP\PERM_MDL*** könyvtárból egy újonnan létrehozott ***\APP\TRANSZP*** könyvtárba.

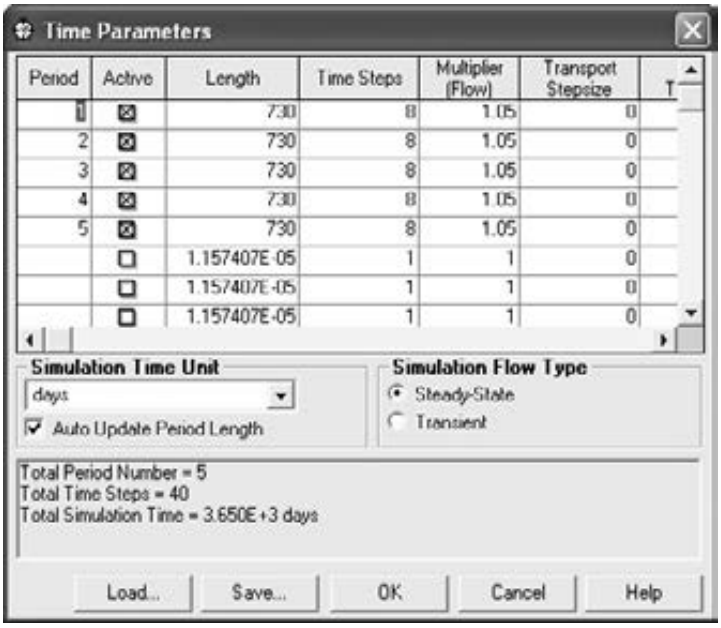
Tételezzük fel, hogy a területen létezik egy telephely, melynek körvonalát a ***TELEPHELY.BLN*** állomány tartalmazza. A telephelyen csőtörés következik be, aminek következtében a kavicsos összletbe szennyezőanyag jut, melynek terjedését kívánjuk a modellszámításokkal vizsgálni.

Először állítsuk be a transzportmodell peremfeltételeit a **Grid → Boundary Condition → ICBUND (MT3D/MT3DMS)** menüpont alatt. A négy cella területén feltételezett szennyezőforrás a területen belül helyezkedik el, és a területen más szennyezőforrás nem található. A csőtörés következtében elemenként 1 m^3/d, 200 mg/l cink-koncentrációjú víz terheli a réteget. Mivel a háttérkoncentráció zérusnak tekinthető, ezért feltételezzük, hogy a modellezett területen kívülről szennyezőanyag nem érkezik a vizsgált területre. Feltételezhetjük, hogy valamennyi elemben a koncentráció szabadon, megkötések nélkül változhat. Ezt a transzport szempontjából

aktívnak tekintett cellákkal valósíthatjuk meg, azaz valamennyi cella ***ICBUND*** értékét válasszuk 1-re. Mivel ez az alapértelmezett beállítás, ezért egyszerűen a **Grid → Boundary Condition → ICBUND (MT3D/MT3DMS)** parancs végrehajtása után lépjünk ki a **File → Leave Editor** paranccsal, elmentve a beállításokat.

Illesszük a „csőtörést" a hidrodinamikai modellbe! A telephely területére eső 4 db cellához, a 3. modellrétegben injektálókutanként +1 m^3/d hozamot rendelve a csőtörés hatására a kavicsrétegbe szivárgó szennyeződést szimulálhatjuk. Alkalmazzuk a **Models → MODFLOW → Wells** parancsot és a 3. réteg megfelelő elemeihez rendeljünk +1 értéket!

A **Parameters → Time** menüben adjuk meg a probléma időbeliségét: szimuláljunk egy összesen 10 éves időszakot, 5 db periódus segítségével. Az egyenként 2 éves periódusokat osszuk 8 időlépcsőre 1,05 szorzótényező felhasználásával (159. ábra).



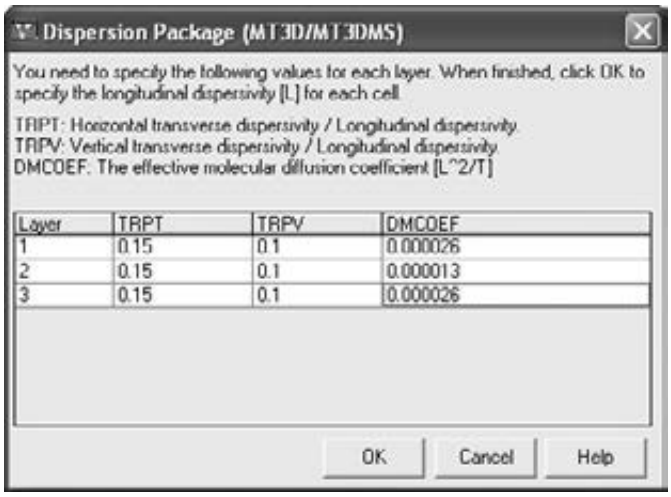
159. ábra
A transzportszámítás igényeihez alakított időbeosztás

Ezután ellenőrizzük le, hogy a **Models → MODFLOW → Output Control** menüben az ***Interface file to MT3D*** jelölőnégyzet ki volt-e választva. Ha igen, akkor az ***MT3D.FLO*** állomány már a MODFLOW korábbi futtatásaikor is készült, ha nem, akkor be kell jelölni a mezőt. Mivel esetünkben a hidrodinamikai adatrendszer megváltozott, ezért mindenképpen szükséges a MODFLOW újrafuttatása **(Models → MODFLOW → Run)**.

Ezután adjuk meg a számítás kezdeti feltételeit (**Models → MT3D → Initial Concentrations**). Mivel a szennyezést a csőtörés okozza, a kezdeti koncentráció legyen mindenhol zérus. Mivel az alapértelmezett kezdeti koncentráció zérus, ezért lépjünk ki egyszerűen a ***Grid Editor***ból (**File → Leave Editor** parancs), és mentsük az alapértelmezett értékeket.

Ezután állítsuk be az advektív transzport-csomag jellemzőit (**Models → MT3D → Advection**). Válasszuk a HMOC megoldást (***Solution Scheme: Hybrid MOC/MMOC (HMOC)***) a hibrid algoritmussal (***Particle Tracking Algorithm: Hybrid 1st Order Euler and 4th Order Runge-Kutta***). A beállításokat, amíg nem szükséges, ne változtassuk meg…

A szennyezőanyag szóródását definiáljuk a **Models → MT3D → Dispersion** menüben. A cink effektív diffúzióállandója a vízadóban $2.6 \cdot 10^{-5}$ m^2/d, a köztes iszapos összletben $1.3 \cdot 10^{-5}$ m^2/d. A longitudinális diszperzivitás legyen a homokrétegben 15 m, az iszapban 5 m, a kavicsban 50 m. A horizontális transzverzális diszperzivitás a longitudinális 15%-a, a vertikális pedig 10%-a legyen (160. ábra).



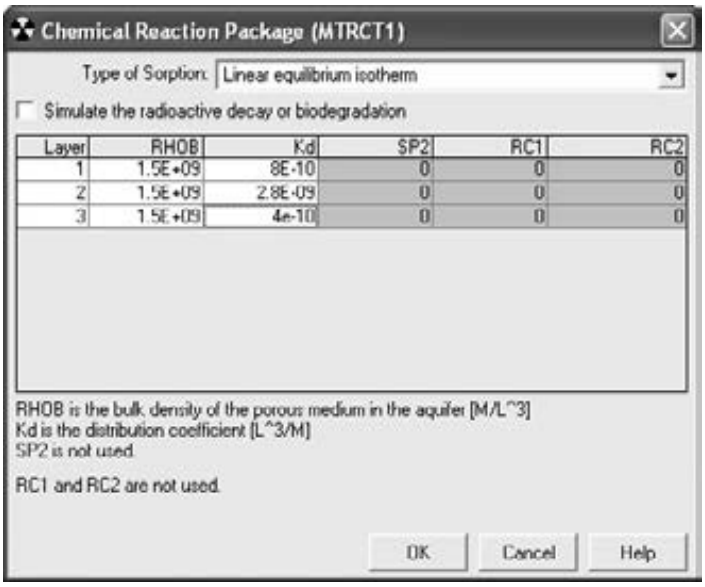
160. ábra
A szennyezőanyag diszperziójának beállításai

Ezután adjuk meg a szorpció és a bomlás paramétereit (**Models → MT3D → Chemical Reaction → Layer-by-Layer**). A szorpciót kövessük lineáris adszorpcióval, a bomlás szimulációjától most tekintsünk el (161. ábra). A homokban R=5, az iszapban R=15, a kavicsos rétegben R=3 késleltetést tételezzünk fel, ami alapján számítottuk (13.19. egyenlet) a K_d megoszlási együttható értékét.

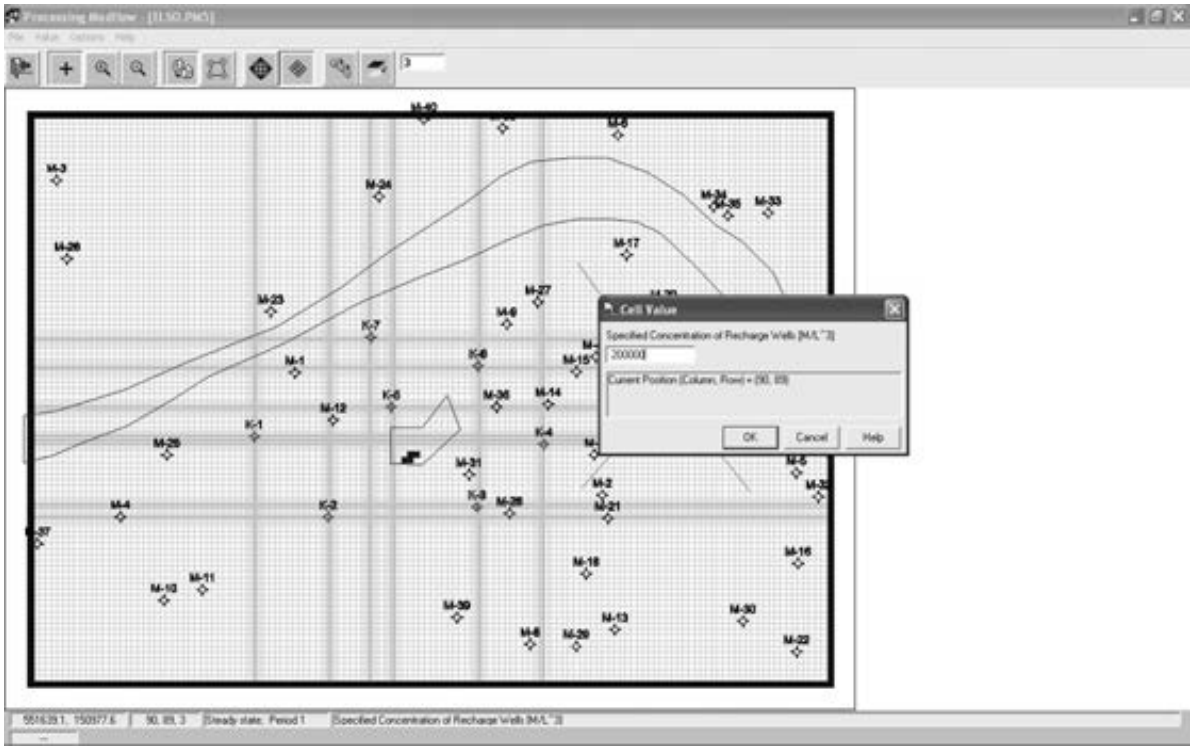
Végül adjuk meg a szennyeződés forrását (**Models → MT3D → Sink/Source Concentration → Wells**). A ***TELEPHELY.DXF*** állomány tartalmazza a telephely határait, amit az **Options → Maps** paranccsal jelenítsünk meg, majd a korábban injektáló kútként megadott cellákhoz rendeljünk 200 mg/l értéket. Mivel a térfogategység m^3, ezért 200 000 mg/m^3 értéket kell az érintett cellákba beírni (162. ábra).

Ezután indítsuk el az MT3D modell futtatását! A **Models → MT3D → Run** parancsot hajtsuk végre, és ha nem indul el a futás, hanem hibaüzenetet kapnánk, akkor a modell könyvtárban található ***MT3D.BAT*** állományt futtassuk le, és a következő alkalomtól jelöljük be a ***Generate Input Files Only Don't Start MT3D*** mezőt!

A modell egy DOS ablakban futni kezd… Sajnos a futás közepesen gyors, több percet is igénybe vehet, mert a rendszerben a kutaknál található kis méretű cellák miatt a stabilitási kritérium következtében csak kis, 1-2 napos időlépcsővel halad az iteráció.



161. ábra
A szorpció és a bomlás beállításai

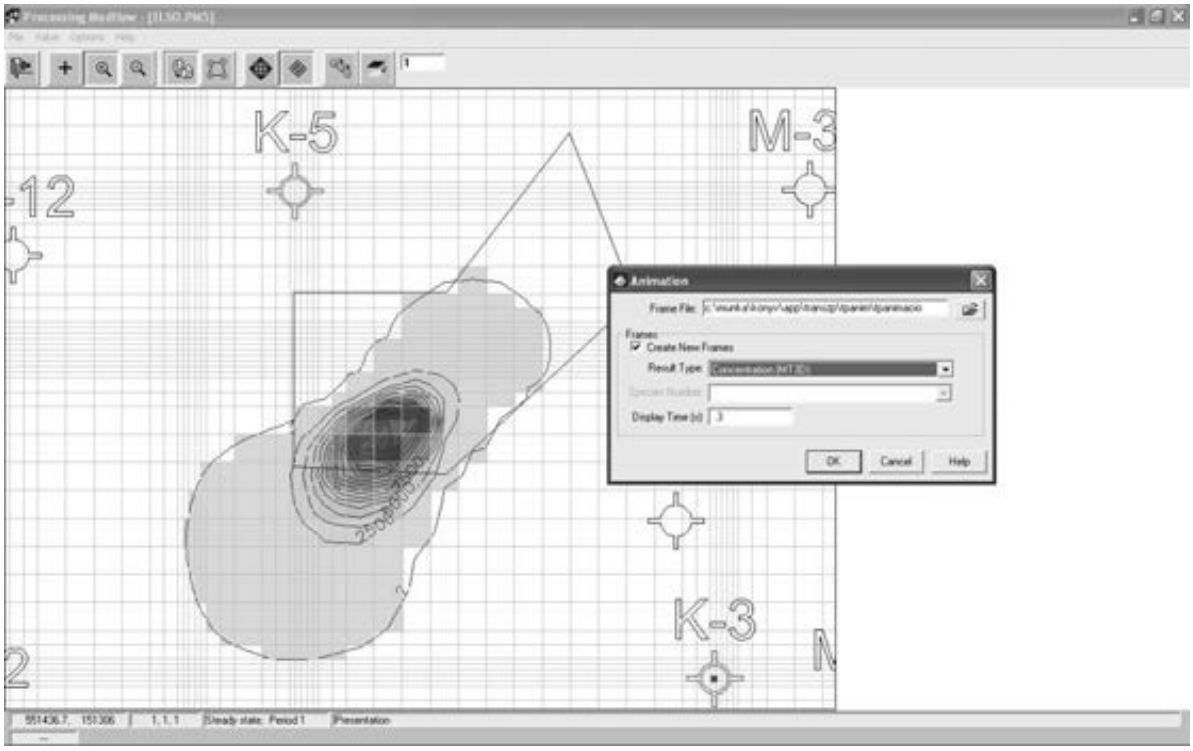


162. ábra
A koncentrációértékek megadása

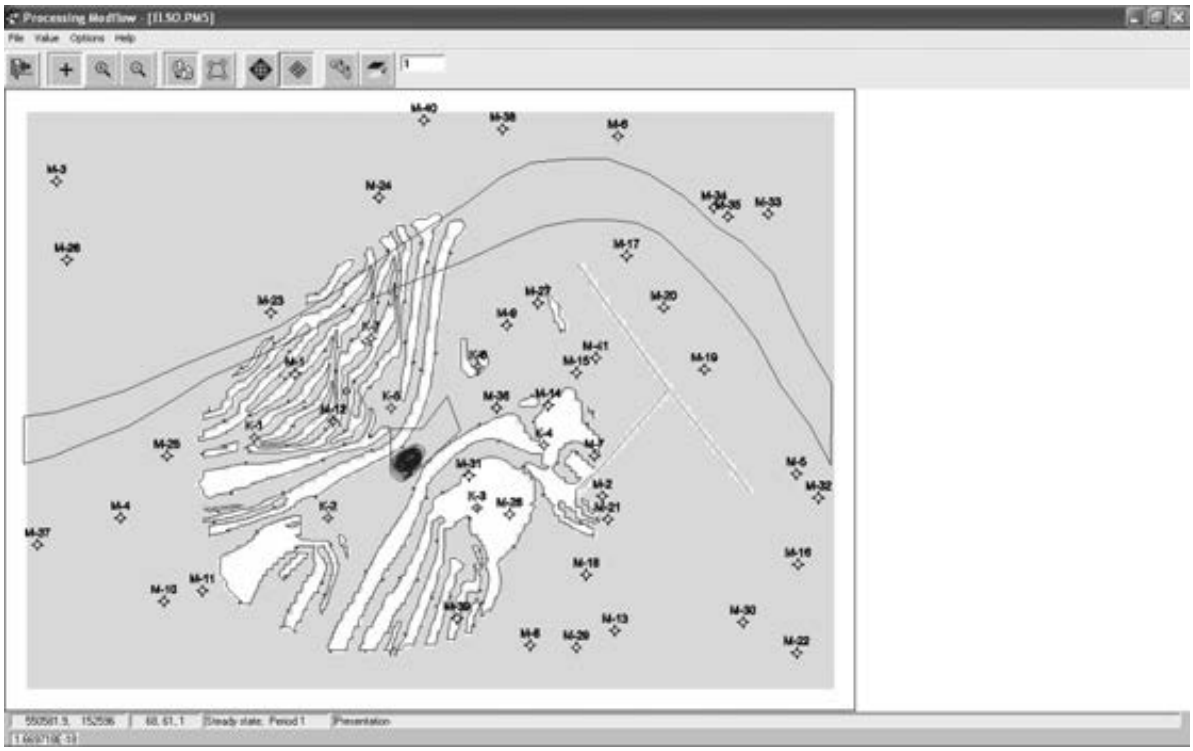
A kapott eredményeket (pl. koncentrációk a 3. rétegben) jelenítsük meg ismét animációval az *\APP\TRANSZP\TPANIM* könyvtárba ***TPANIMACIO*** néven. A módszer legyen teljesen hasonló a 17.4. fejezetben bemutatottakhoz. A **Tools** → **Presentation** menüben készítsük el a 10 éves időhöz tartozó feltételezhetően legnagyobb koncentrációk eloszlásának izovonalas térképét. Ehhez hívjuk be a 3650 nap-

hoz tartozó, 3. modellrétegbeli koncentráció-értékeket a ***Result Extractor*** MT3D lapjának segítségével.

Majd rajzoljuk meg az izovonalakat! Célszerű az izovonalakat nem 0-nál kezdeni, mert a modell a korábban leírtak miatt mindig terhelt numerikus hibákkal, ezért kis 0.1 - 0.2 mg/l nagyságrendű „negatív koncentrációk” a területen sok helyen előfordulhatnak (163. ábra). (Amennyiben a hibákat akarjuk szemléltetni, nyugodtan rajzoljuk ki a zérus izovonalat és az alálövés-fölélövéses típusú hibák (164. ábra) nagyszerűen ki fognak rajzolódni!) Ha a térkép készen van, akkor az animáció paranccsal hozzuk létre a korábban leírt könyvtárba az első modellrétegben a ***TPANIMACIO*** nevű frame-eket, és nézzük is meg egyúttal az animációt. Ezután gyártsuk le az iszaprétegbeli koncentrációk animációját ***TPANIM_2***, a kavicsra számított koncentrációk animációját ***TPANIM_3*** néven. Az animáció parancs mindig az aktuális rétegre vonatkozó térképeket készíti el, ezért az állományok gyártása közben a **Page Down** gombbal mindig váltsunk réteget! A három állomány közötti különbség jól látható.



163. ábra
A koncentráció-térkép beállítása és az animációs parancsok



164. ábra
Az alálövés-fölélövés jellegű hibák megjelenítése

17.6. 1D oszlopmodell transzportszámításokhoz (\app\clm könyvtár)

Gyakori feladat, hogy arra vagyunk kíváncsiak, egy adott összletben a szennyezőanyag a forrásától adott észlelési pontba mekkora koncentrációval jut el, és ez a szennyezési csóva hogyan halad át ismert észlelési pontokon. Ez tipikusan egydimenziós probléma (OGATA és BANKS, 1961, OGATA, 1970), attól függetlenül, hogy horizontális vagy vertikális szivárgást vizsgálunk. Ha a hidrodinamikai viszonyokat ismertnek tekintjük, a feladat alkalmas a közeg diszperzivitásának vagy akár a szennyezőanyag lebomlásának, megkötődésének érzékenység vizsgálatára is.

Legyen a feladat a következő: 5 m vastag nyomás alatti homokos összlet 1 m-es mélységébe 10 mg/m^3 szennyezőanyag jut egy földalatti tartály sérülése következtében. A vízadó összlet vertikális szivárgási tényezője legyen 1 m/d; a hidraulikus gradiens 0,03 m/m; a szabad hézagtérfogat 0,25.

Vizsgáljuk meg – permanens áramlási viszonyok esetén – 100 nap alatt hogyan változik a koncentráció az áramlás irányában a szennyezőforrástól 2 és 3 méterre, illetve az áramlással ellentétes irányban, ha a longitudinális diszperzivitást 1 m-nek, illetve 3 m-nek választjuk.

Második esetként vizsgáljuk meg, ugyanebben a földtani környezetben, a vízadó réteg felszínére ömlő szennyezés hogyan halad keresztül a telített közegen.

Bár a feladat oszlop modellre vonatkozik, célszerűbb vízszintes réteg modellel dolgoznunk, mert a horizontális szivárgási paraméterek direkt módon meghatározhatók, míg a függőlegesek (pl. szivárgási tényező) csak közvetetten, az adott vízszintes pa-

raméterhez viszonyítva. Ebben az esetben csak arra kell vigyázni, hogy ugyanaz a potenciál teret „definiáljunk” horizontálisan, mint amit az oszlop modellben előírtunk.
Indulásként – az első modellhez hasonlóan – hozzunk létre egy alkönyvtárat (***APP*****CLM**) ahová az új modellt ***COLUM.PM5*** mentjük. Ezt követően ki kell alakítanunk a modell geometriáját, meg kell adnunk a paramétereket, majd meghatároznunk az induló értékeket.

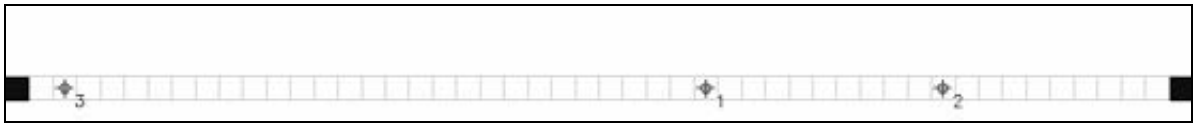
A feladat alapján modellünk egy rétegű, 50 oszlopot és 1 sort tartalmaz, melyek egyaránt 0,1 m szélesek. (Kevesebb oszloppal is megoldalható a feladat, de 50 oszlop esetében kevésbé vagyunk korlátozva a „figyelőkutak” elhelyezésében.).

Legyen a vízadó réteg telített (**File → Layer Properties**: ***confined***), továbbá az első és az utolsó cella állandó nyomású (**Grid → Boundary Conditions → IBOUND (MODFLOW):** -1). Adjuk meg a rétegek tetejének és aljának a magasságát a **Grid → Aquifer Top:**0,1 és a **Grid → Aquifer Bottom:**0 paranccsal. A szimuláció időegysége legyen nap (**Parameters → Time:** ***day***). Aktiváljuk az első peridódust, melynek hossza legyen 100 nap (***Length***), az időlépcsők száma 10 (***Time Steps***) és a szorzótényező 1,05 (***Multiplier (Flow)***).

A modell típusa – feltételeknek megfeleően – permanens (***Simulation Flow Type: Steady-State***). Az induló vízszint (**Initial Hydraulic Heads**) az egész rétegben legyen 1 m, a modell „nyugati” végében lévő cellában 1,15 m (mert 0,15/5 = 0,03). Helyezzünk el 3 db figyelőkutat (**Boreholes and Observations → Boreholes)** a 17.6. táblázat szerinti koordinátákkal, így modellünk a 165. ábra szerinti elrendezésű.

17.6. táblázat

A 3 db figyelőkút koordinátái		
No.	**X (easting)**	**Y (northing)**
1	2,95	0,05
2	3,95	0,05
3	0,25	0,05



165. ábra
Oszlop modell geometriája a figyelőkutakkal

Meg kell még adnunk a szivárgási tényező (**Horizontal Hydraulic Conductivity**: 1 m/d) és az effektív porozitás (**Effective Porosity**: 0,25) értékét. Ezzel a MODFLOW modell futtatásához mindent előkészítettünk.

Mivel transzport számítást is akarunk végezni, amihez az MT3D/MS programoknak szükségük van az MT3D.FLO interfész állomány kiíratására, ezért ezt aktiválni kell

a **Models → MODFLOW → Output Control...** paranccsal (a 11.2. fejezetben leírtak szerint). Ezt követően futtathatjuk a MODFLOW-t (**Models → MODFLOW → Run**)!

Ha a hidrodinamikai modellünk sikeresen lefutott, beállíthatjuk a transzportmodell peremfeltételét (**Grid → Boundary Condition → ICBUND (MT3D/MT3DMS)**. Mivel egyik cellánk sem fix koncentrációjú, valamennyi cella ***ICBUND*** értékét válasszuk 1-re.

Ezután adjuk meg a kezdeti koncentrációt (**Models → MT3D → Initial Concentrations**). Mivel a szennyezés az első m-ben történt ezért a 10. cellába írjunk 10 mg/m^3 értéket.

Ezután kapcsoljuk be az advektív transzport-csomagot (**Models → MT3D → Advection**), és fogadjuk el az alapbeállításokat.

Elérkeztünk az első célfeladatunkhoz, meg kell adnunk a szennyezőanyag szóródásának mértékét (**Models → MT3D → Dispersion)**. (A diszperzivitásról az 5.1. fejezetben részletes leírás található.) A horizontális és transzverzális diszperzivitást hagyjuk változatlanul 0,1 értékűnek, míg a longitudinális diszperzivitás legyen 1 m.

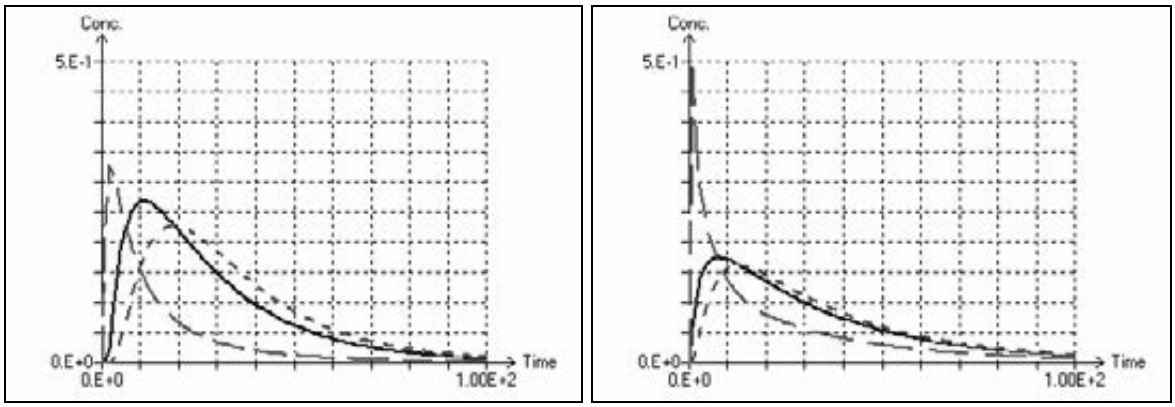
Végül meg kell határoznunk, milyen gyakorisággal írassuk ki a transzport paramétereket (**Output control (MT3D/MT3DMS) → *Output Times*).** Jelen esetben az ***Output Frequency, NPRS*** = 101 legyen, így az induló 0. napot követően mind a 100 naphoz tartozó koncentráció értéket kiírja a program (lásd 14.6. fejezet).

Ezután indítsuk el az MT3D modell futtatását! (**Models → MT3D → Run**)**.** Ha a futás eredményes volt, nézzük meg a koncentráció változásának görbéjét mindhárom figyelőkútban!

Erre a **Tools → Graphs → Concentration → Time → MT3D** ablakok megnyitása után van lehetőségünk. A megjelenő ablakban lehetőségünk van a grafikon léptékének szerkesztésére, az adatok (***.DAT***) fájlként, vagy a grafikon képfájlként (***.BMP***) való mentésére. Mentsük el a kapott eredményeket!

Ezután változtassuk meg a longitudinális diszperzivitás értékét 3 m-re (**Models → MT3D → Dispersion)** és az MT3D programot futtassuk le újra (**Models → MT3D → Run**). Ismét megrajzolva a grafikont, a két eset különbségei jól kirajzolódnak (166. ábra).

Összehasonlítva az eredményeket megfigyelhető, hogy áramlási irányban ugyanabban a kútban, nagyobb diszperzivitás esetén hamarabb éri el a szennyezés centruma a kutat, de kisebb koncentrációval, és a görbe is laposabb. Az áramlással ellentétes irányban fekvő kutat – nagyobb diszperzivitás esetén – ugyancsak hamarabb éri el a szennyezés centruma ám az értéke magasabb!



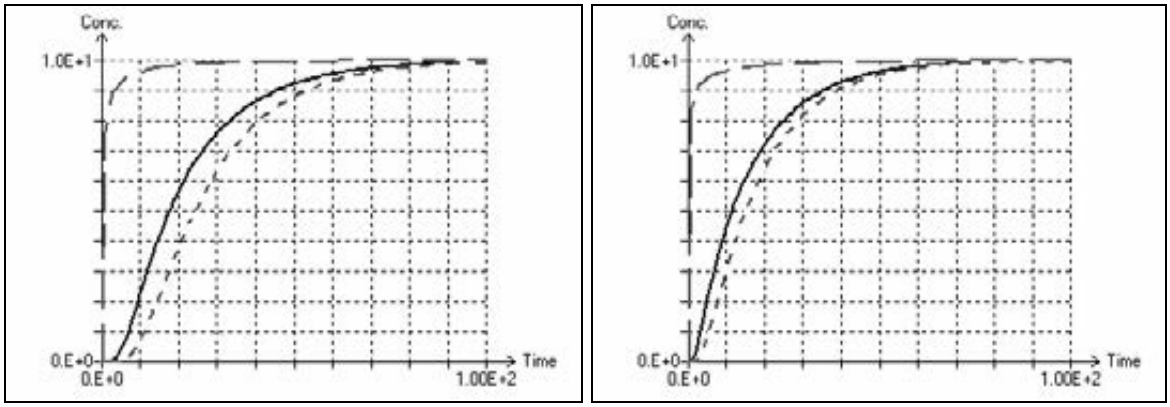
166. ábra

Koncentráció értékek (mg/m^3) a 3 db figyelőkútban 1 m (bal oldali ábra) ill. 3 m (jobb oldali ábra) longitudinális diszperzivitás esetén (folytonos vonal: áramlási irányban 2 m-re; apró szaggatott vonal: 3 m-re lévő figyelőkútban; hosszú szaggatott az áramlással ellentétes irányban a szennyezéstől 0,7 m-re lévő kútban)

A második feladat megoldásához hozzunk létre egy új alkönyvtárat (***APP*****CLM2**), és másoljuk bele a ***CLM*** könyvtár tartalmát.

Először az első cellát kell állandó koncentrációjú elemmé alakítani (**Grid → Boundary Condition → ICBUND (MT3D/MT3DMS** :-1), majd a kezdeti 10 mg/m^3 koncentráció értéket írjuk be az első cellába, miután a 10. cellából töröltük ezt az értéket (**Models → MT3D → Initial Concentrations**).

Állítsuk a longitudinális diszperzivitás értékét – az előbbi esethez hasonlóan – előbb 1, majd 3 m-re (**Models → MT3D → Dispersion)**, majd ezt követően mindkét esetben futtassuk az **MTD3** programot (**Models → MT3D → Run**) a koncentrációk számítása érdekében. A koncentrációk időbeni lefutását a 167. ábra mutatja.



167. ábra

Koncentráció értékek utánpótlódó szennyezés esetén (mg/m^3) a 3 db figyelőkútban, ha a longitudinális diszperzivitás 1 m (bal oldali ábra) ill. 3 m (jobb oldali ábra); (hosszú szaggatott vonal: szennyezéstől 0,7 m-re, folytonos vonal: 3 m-re; apró szaggatott vonal: 4 m-re lévő figyelőkútban)

Az előző esethez hasonlóan, nagyobb diszperzivitás esetén gyorsabban nőnek a koncentrációk a figyelőkutakban (jobb oldali ábra), de az utánpótlódás miatt a csúcskoncentráció értéke megegyezik a kisebb diszperzivitású összleteben elhelyezett figyelőkutakéval (bal oldali ábra). Azt is megállapíthatjuk: minél nagyobb a diszperzivitás, annál hasonlóbb a koncentráció idősora a szennyezéstől különböző távolságban elhelyezett figyelőkutakban.

Érdemes kipróbálni – eltérő diszperzivitású közegben – hogyan változnak a koncentrációk, ha a szennyeződés megkötődését és lebomlását is lehetővé tesszük (**Models → MT3D → Chemical Reaction** csomag)!!

17.7. 2D vertikális síkmodell használata hidrodinamikai számításokhoz: gát alatti szivárgás számítása (\app\2Dgat könyvtár)

Egy egyréteges horizontális síkmodell kedvező esetben alkalmazható lehet vertikális szelvénymodellként is. Ennek feltétele, hogy a potenciálokat a szelvény határai mentén ismerjük. Mivel a szivárgást meghatározzák a potenciál-különbségek, ezért valójában a modellezés szempontjából mindegy, hogy a réteg „fekszik" vagy függőlegesen áll, ha a peremfeltételek meghatározzák a hidrodinamikai folyamatokat a rendszeren belül.

Hasonló ez a helyzet ahhoz, mint amikor egy zárt tükrű vízadóban a szivárgás sebessége – ha minden egyéb paraméter (pl. a hézagtérfogat és szabad hézagtérfogat) állandó - független attól, hogy a réteg 20, 50 vagy 200 m-rel van a föld felszíne alatt, vagy hogy milyen a réteg dőlése. A szivárgást kizárólag a nyomásszintek eloszlása miatt kialakuló hidraulikus gradiens határozza meg, függetlenül a vízadó dőlésétől vagy mélységétől.

Építsünk hát a szelvénymenti szivárgás vizsgálatára egy horizontális síkmodellt! A vizsgált szelvény legyen 50 m mély és 400 m hosszú, a vastagsága legyen 10 m. Ehhez készítsünk egy rácshálót, melynek 50 sora 1 m széles, 160 db oszlopa 2,5 m vastag (50x400 m), továbbá 1 rétegből áll (**Grid → Mesh Size**). Hogy jobban látható legyen a modell az **Options → Environment** paranccsal állítsuk át a képernyő határoló koordinátáit: ***X1***=-5, ***Y1***=-5, ***X2***=405 és ***Y2***=65, így egy 5-15 m széles keret marad a háló körül.

Állítsuk be a szelvény vastagságát a **Reset → Matrix** paranccsal 10 m-re (**Grid → Top of Layer: 0 és Grid → Bottom of Layer :-10)**

A vízadó típusát állítsuk át zárt tükrűvé: (**Grid → Layer Type, *Type: 0, Confined***).

A peremfeltételekkel képezzük le a problémát. Legyen a terület középső részén egy agyagmagos gát, melynek talpa a terepszint alatt 5 m-re van, szélessége 25 m, koronaszélessége 8 m magasban 12,5 m. A gátat tekintsük inaktívnak a szivárgás szempontjából!

A gát felvízi oldalán legyen a vízoszlop nyomása a terepszint felett 5 m, míg a mentett oldalon a vízszint éppen a terepszint magasságában legyen. A modell oldalsó

határán korlátlan oldalról történő utánpótlódás van. Ebben a helyzetben határozzuk meg a rendszerben az áramlási viszonyokat.

Legyen a gát területe inaktív zóna, majd gondolkodjunk egy kicsit: a gát felvízi oldalán a felszínen mindenhol 5 m a nyomásszint, az alvízi oldalon pedig épp a terepszinttel megegyező, azaz 0. Mivel az utánpótlódás korlátlan, ezért a modell szélein (ami a fektetett helyzetben a bal és a jobb oldal) a nyomásszint szintén állandó, mert így biztosítható az, hogy a szivárgás iránya a határon oldalirányú legyen, azaz a szivárgási sebességvektornak ne legyen „vertikális" komponense. A modell alját tekintsük vízzárónak, ezért ott nincs szükség peremfeltételekre! A gondolatmenet alapján a modell „északi, keleti és nyugati" oldalain állandó nyomásszintű határokat kell felvenni, a „déli" oldalon nincs szükség peremfeltételekre.

A modell legyen permanens állapotú, és használjuk a nap értéket az idő dimenziójaként (**Parameters → Time**).

A területen a 15 m vastag homok alatt egy 2 m vastag iszapos homokréteg található, ami alatt 50 m mélységig homokok települnek.

A rétegek vízföldtani jellemzőit a 17.7. táblázat tartalmazza. határoljuk le a három képződményt zónákkal és a zónákhoz rendeljük hozzá a horizontális szivárgási tényező értékeket.

Itt azonban rögtön egy újabb problémával szembesülünk, hiszen a modellben x és y irányú, de a valóságban vízszintes és függőleges szivárgási tényezők megadására nincs lehetőségünk. A MODFLOW-96 és azt megelőző verziók ugyanis cellánként nem tudnak irányfüggő anizotrópiát, illetve irányfüggő szivárgási tényezőket alkalmazni. Megjegyezzük, hogy a MODFLOW-2000 verzióban már van lehetőség mind a három térbeli irány szerinti szivárgási tényezők megadására. Ebben az esetben érjük be annyival, hogy a modellezett 1. modellrétegben a rétegtípus megadásánál pl. 0,5 értékű anizotrópiát is be lehet állítani (**Grid → Layer Type,** ***Anisotropy factor:0,5***).

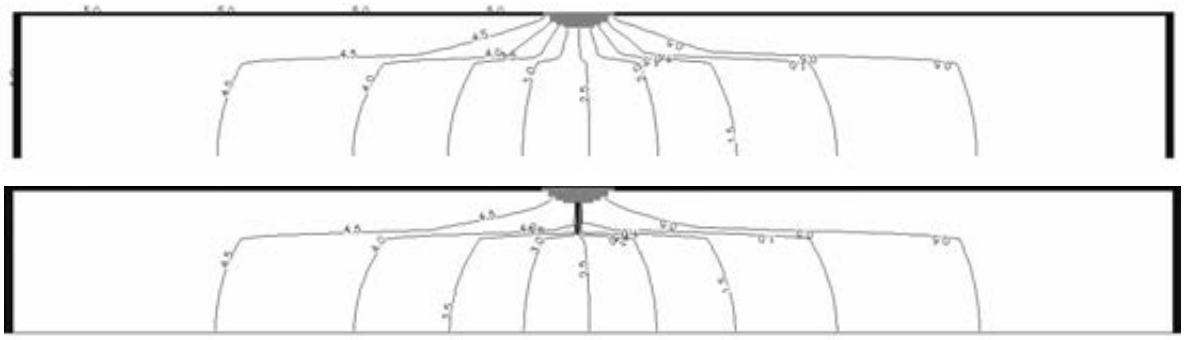
17.7. táblázat

A gát alatti szivárgásnál alkalmazott paraméterek			
Képződmény	**Horizontális szivárgási tényező [m/d]**	**Vertikális szivárgási tényező [m/d]**	**Szabad hézagtérfogat [-]**
Homok	1	0,5	0,12
Iszapos homok	0,1	0,05	0,08
Homok	3	1,5	0,13

Futtassuk le a számítást, és jelenítsük meg az eredményeket!

Most szimuláljuk azt a helyzetet is, amikor a gát alatt az iszaprétegig egy függőleges határolást (rés- vagy függönyfalat), vagy jet grouting technológiával készített betonfalat építenek. Legyen ez egy függönyfal, aminek vastagsága 5 cm, szivárgási tényezője 10^{-11} m/s. Ebben az esetben a k/m átszivárgási tényező $5 \cdot 10^{-9}$ m/s, azaz

0,000432 m/d. Készítsük el a függönyfalat HFB elemekkel a 17.2. fejezetben bemutatottak szerint, majd ismét végezzük el a számítást, és ábrázoljuk az eredményeket!



168. ábra
A gát alatti szivárgás számítási eredményei függönyfallal és anélkül

17.8. A Tóth-féle megoldás szimulációja (\app\2Dtoth könyvtár)

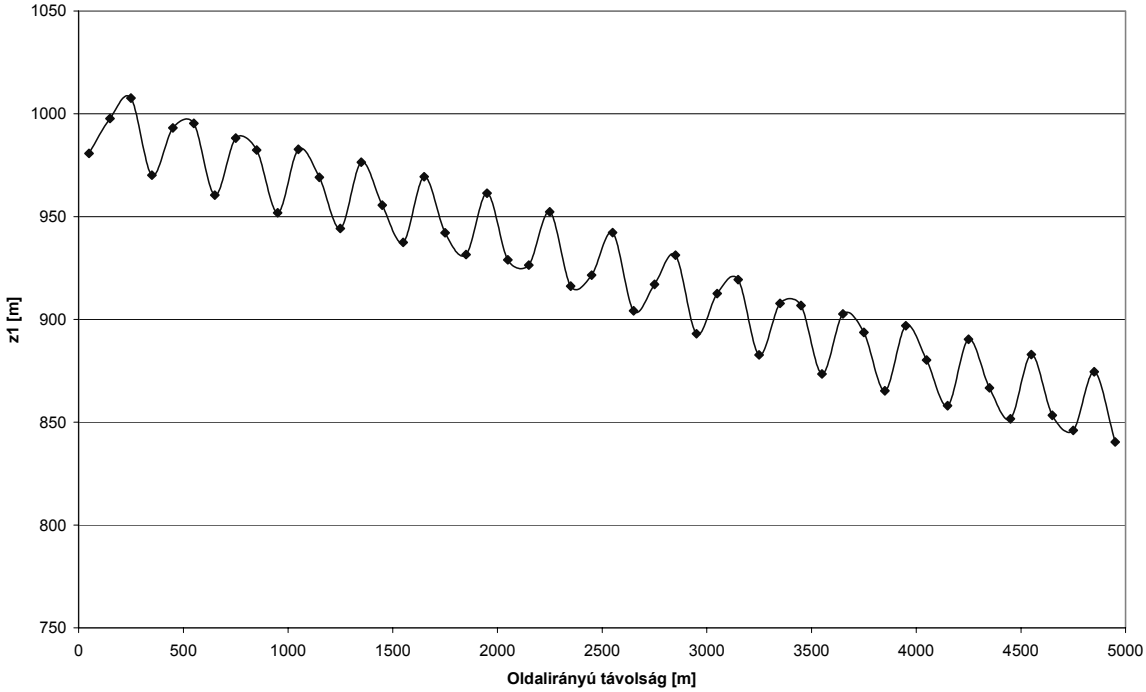
A 4.2.1. fejezetben bemutattuk a Tóth-féle megoldást (TÓTH, 1963). A 17.7. fejezetben bemutatott módszer alkalmas a megoldás bemutatására, illetve az egyes szerzők által fészkes vagy egymásba ágyazott áramlási rendszereknek nevezett jelenség szimulációjára.

Legyen a félmedence 5000 m széles és 1000 m mély, amit 100 db 50 m széles oszloppal és 100 db 10 m-es sorral állítsunk elő. A vízadó legyen zárttükrű és most a jobb láthatóság érdekében ne alkalmazzunk anizotrópiát. Legyen a teljes térrész homogén: k= 0,5 m/d, n_0=0,08.

A terület felső részén jelöljünk ki egy háromszög alakú inaktív térrészt. Esetünkben a medence bal oldalán legyen a teljes rétegvastagság 1000 m, a jobb oldalon 850 m.

Az inaktív zóna mellett a modell felső részén 1 sor szélesen definiáljunk állandó nyomású cellákat.

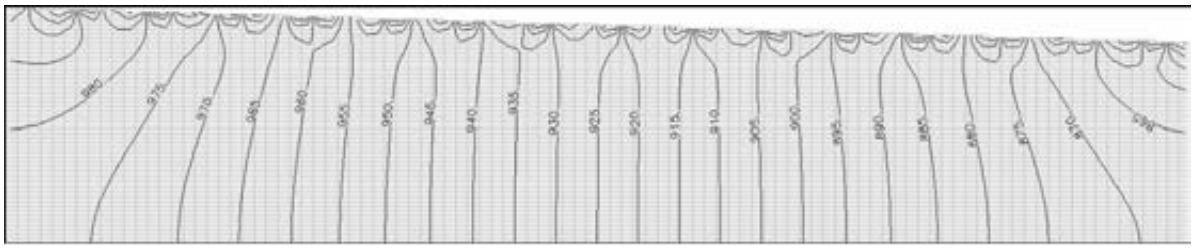
Ezután határozzuk meg a potenciál értékét a 4.47. egyenlet segítségével, legyen a képletben szereplő z_0=850, a=20, b=1000, $tg\ \alpha$=150/1000. Az általunk számított értékeket a ***FELMEDENCE.XLS*** állomány tartalmazza. Mivel a horizontális felbontás kicsi, ezért a számított értékek nem pontosan adják vissza az I. kötet 14. ábrája szerinti hullámvonalat.



169. ábra
A számított potenciál-eloszlás a medencében

A számított értékek alapján gyártottunk egy ***PM_TOTH.DAT*** nevű állományt, amiből a ***Field Interpolator***ral meghatároztuk a kezdeti feltételeket.

Ezután a számítást elvégezve megkaptuk a megoldásnak megfelelő áramrendszer ekvipotenciális vonalainak képét (170. ábra).



170. ábra
A Tóth-féle egységmedence szimulációja

18. Utószó

Hát ennyi fért a jegyzetbe…

Gondolom, akik végigolvasták a két kötetet, látják, hogy rengeteg dologgal foglalkoztunk, és valószínűleg ennél is több maradt ki belőle. Célunk mindvégig az volt, hogy olyan problémákat tárgyaljunk és oldjunk meg elsősorban, ami a modellezés mindennapi gyakorlatát segíti. Kerültük, vagy helyesebben kerülni szándékoztunk minden olyat, ami a témához nem, vagy csak alig kapcsolódik, mindent, ami bonyolult levezetés, és mindent, amiről magunk is úgy gondoljuk, hogy a gyakorlatban szükségtelen.

A példákat megkíséreltük úgy összeválogatni, hogy azokkal a modellezés legtöbb lehetőségét bemutassuk, és arra is törekedtünk, hogy minden apró, sokszor pofonegyszerű, de mégis sok időt és fáradtságot megspóroló ötletet megosszunk az olvasókkal.

Akármennyire is törekedtünk arra, hogy mindent leírjunk, a modellezés soha sem lehet meg az egyéni ötletek, saját megfontolások, és persze tévedések nélkül. Ahhoz, hogy valaki alkotó módon tudja használni a hidrodinamikai és transzportmodelleket, kell egy kis tehetség, de sok szorgalom szerencse és kitartás is…

Nem kell félni felrúgni a hagyományokat, a járatlan út különösen szép lehet, persze veszélyes is, de bátraké a szerencse!

19. Felhasznált irodalom

Aboufirassi, M. – Marino, M.A. (1984): Cokriging of Aquifer Transmissivities from Field Measurements of Transmissivity and Specific Capacity, Mathematical Geology, 16(1), pp.19-35.

Akima, H. (1978a): A Method of Bivariate Interpolation and Smooth Surface Fitting for Irregularly Distributed Data Points, ACM Transactions on Mathematical Software (4), 148-159.

Akima, H. (1978b): Algorithm 526: Bivariate Interpolation and Smooth Surface Fitting for Irregularly Distributed Data Points, ACM Transactions on Mathematical Software (4), 160-164.

Andersson, M.P. - Woessner, W.W. (1992): Applied Groundwater Modeling, Simulation of Flow and Advective Transport, Academic Press, San Diego

Barone, F.S. - Rowe, R.K. - Quigley, R.M. (1990): Laboratory Determination of Chloride Diffusion Coefficient in Intact Shale, Canadian Geotechnical J., Vol.27, pp. 175-184.

Bartl, U. - Czurda, K.U. (1991): Migration and Retention Phenomena of Radionuclides in Clay Barrier Systems, Applied Clay Science, 6 (1991) pp.195-214.

Bear, J. – Verruijt, A. (1987): Modelling Groundwater Flow and Pollution, D. Reidel Publ.Co., pp. 153-158., pp.225-284.

Beims, U. (1983): Planung, Durchführung und Auswertung von Gütepumpversuchen, Zeitschrift für Angewandte Geologie, 29(10), pp. 482-490.

Bíró T., Tamás J., Thyll Sz. (1998): Risk Assessment of Nitrate Pollution in Lower Watershed of the Berettyó River. In: Filep, Gy. (ed.) Soil Water Environment Relationships. Wageningen - Debrecen. pp. 239-247.

Bouwer, H. (1978): Groundwater Hydrology, McGraw-Hill, 480 p.

Bruch, J.C. - Street, R.L. (1967): Two-Dimensional Dispersion, J. Sanitary Engineering Division American Society of Civil Engineers., 93(SA6):pp. 17-39.

Burkhardt, G. - Eggloffstein Th.(1995): Stand der Entwicklung von Deponieabdichtungssystemen in der Bundesrepublik Deutschland, Das Multibarrierensysteme in der Deponiebautechnik, AGK Schriftenreiche 44, pp.6-1÷6-59

Busch, K.F. – Luckner, L (1973): Geohidraulik, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig

Chiang, W.-H., Kinzelbach W. (1993) Processing Modflow (PM), Pre- and Postprocessors for the Simulation of Flow and Contaminants Transport in Groundwater System with MODFLOW, MODPATH and MT3D. kézirat

Chiang, W.-H., Kinzelbach W. (1994): PMPATH for Windows. User's manual. Scientific Software Group. Washington, DC.

Chiang, W.-H., Kinzelbach W. (1998): PMPATH 98. An Advective Transport Model for Processing Modflow and Modflow, kézirat

Chiang, W-H. – Kinzelbach, W.(1999): Processing Modflow: A Simulation System for Modelling Groundwater Flow and Pollution, v5.0, User's manual, kézirat

Chiang, W-H. – Kinzelbach, W.(2001): 3D-Groundwater Modeling with PMWIN, A Simulation System for Modeling Groundwater Flow and Pollution, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, ISBN 3-540-67744-5, SPIN 10774334

Clauser C.(2003): Numerical Simulation of Reactive Flow in Hot Aquifers, Springer Verlag, p. 332, ISBN 3-540-43868-8

Czinkota I. - Földényi R. - Lengyel Zs. - Marton A. (2002): Adsorption of propisochlor of soils and components equation for multi-step isotherms Chemosphere 48, pp. 725-731

Czurda, KA.- Böhler, U.- Wagner, J-F. (1989): Clay basins as especially suitable areas for hasardous waste repositoires, Proc. of Int. Symp. On Intermontane Basins: Geology ans Resources, Thaiföld, pp.146-160.

Czurda, KA.- Wagner, J-F. (1988): Verlagerung und Festlegung von Schwermetallen in tonigen Barrieregesteinen, Tone in der Umwelttechnik, AGK Schriftenreiche 4, pp.225-247.

Czurda, KA.- Wagner, J-F. (1991): Migration and Retention Phenomena of Radionuclides in Clay Barrier Systems, Applied Clay Science, 6 (1991), pp-195-214.

Davis, S.N. – DeWiest, R.J.M. (1966): Hydrogeology, J. Wiley and Sons, New York.

De Marsily, G. (1986): Quantitative Hydrogeology, Academic Press, New York

Delhomme, J. P. (1976): Spatial Variability and Uncertainty in Groundwater Flow Parameters: A Geostatistical Approach Water Resources Research, 15(2), pp. 269-280.

DGEG-GDA-Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V. (1993): Empfehlungen des Arbeitkreises Geotechnik der Deponien und Altlasten, GDA, Ernst & Sohn, Berlin

Discroll, F.G. (1986): Groundwater and Wells, Johnson Division, St. Paul, Minnesota

Domenico, P.A. (1972): Concepts and Models in Groundwater Hydrology, McGraw-Hill, NewYork

Dragun, J. (1988): The Soil Chemistry of Hazardous Materials, Hazardous Materials Research Institute, Silver Springs, USA

Eggloffstein, Th. - Burkhardt, G. - Mainka, A.(1996): Geotechnische Aspekte bei der Standortsuche und Standorterkundung für Abfalldeponien, MBS Seminar, AGK Schriftenreiche 44, 1996,4-1 - 4-63.

ENGEO BT. (1999): A siroki talajvízbázis környezetének vízföldtani viszonyai, munkaközi anyag, kézirat

Fetter, C.W. (1988): Applied Hydrology, Merill, Carmel, California

Filep Gy. – Kovács B. – Lakatos J. – Madarász T. – Szabó I. (2002): Szennyezett területek kármentesítése, Szerk: Szabó I., egyetemi tankönyv, Miskolci Egyetemi Kiadó pp. 483.

Földényi R. - Czinkota I. - Ertli T. (2004): Presentation of multi-step isotherms formed at the adsorption of herbicides, Progress in Colloid and Polymer Science, 125: pp.117–120.

Freeze, R.A. – Cherry, J.A. (1979): Groundwater, Prentice-Hall, Englewood Cliffs

Fried, I. (1979): Foundations of Soil Mechanics, Academic Press, New York

Frind, E.O. (1982): The Principal Direction Technique: A New Approach to Groundwater Contaminant Transport Modelling, Proc. of 4th Intl. Conf. on Finite Elements in Water Resources, Hannover, Springer Verlag, pp. 13/25-13/42

Geiger J. – Mucsi L. (2005): A szekvenciális sztochasztikus szimuláció előnyei a talajvízszint kisléptékű heterogenitásának térképezésében. Hidrológiai Közlöny Vol 85. No.2. pp. 37-47.

Geiger J. (2006): A szekvenciális Gaussi szimuláció övzátonytestek kisléptékű heterogenitásának modellezésében. Földtani Közlöny (in press)

Golden Software Inc. (1997): Surfer User's Guide, Contouring and 3D Surface Mapping for Scientists and Engineers, Version 6, Golden, Colorado

Golden Software Inc. (1999): Surfer User's Guide, Contouring and 3D Surface Mapping for Scientists and Engineers, Version 7, Golden, Colorado

Golden Software Inc. (2002): Surfer User's Guide, Contouring and 3D Surface Mapping for Scientists and Engineers, Version 8, Golden, Colorado

Halász B. - Szőke S. (1997): ARV – Rétegzett hidrogeológiai rendszerekre telepített vízbázisok védőidomának méretezése, Programleírás, 2.0 verzió, Kézirat

Harbaugh, A.W. – McDonald M. G. (1996a): User's Documentation for MODFLOW-96, an Update to the U.S. Geological Survey Modular Finite-difference Ground-water Flow Model, USGS Open-File Report 96-485.

Harbaugh, A.W. – McDonald M. G. (1996b): Programmer's Documentation for MODFLOW-96, an Update to the U.S. Geological Survey Modular Finite-difference Ground-water Flow Model, USGS Open-File Report 96-486.

Hudak, P.F. (1994): Principles of Hydrogeology, CRC Press LCC

Istok, J. (1989): Groundwater Modeling by the Finite Element Method, American Geophysical Union, Water Resources Monograph Vol.13.

Juhász J. (1987): Hidrogeológia, Akadémiai Kiadó, p. 971.

Keckler, D. (1999): Surfer for Windows User's Guide, Version 7, Golden Software Co. Colorado, US.

Kézdi Á (1972): Talajmechanika I-II., Tankönyvkiadó, Budapest

Kinzelbach, W. (1986): Groundwater Modelling (An Introduction with Sample Programs in BASIC), Elsevier, p.331.

Kitainidis, P (1997): Introduction to Geostatistics – Applications in Hydrogeology, Cambridge University Press, New York, 249 p. ISBN 0-521-58747-6

Kohler, E.E. - Heimerl, H. (1995): Untersuchungen zur Bewertung der Gleichwertigkeit von -eponieabdichtungsmaterialien, Sanierung von Altlasten (Hrsg. Jessberger), pp. 127-135.

Konda L. - Czinkota I. - Füleky Gy. - Morovján Gy.(2002): Modeling of Single-Step and Multistep Adsorption Isotherms of Organic Pesticides on Soil, Agricultural and Food Chemistry, 50. pp. 7326-7331

Konikow, L.F. – Bredehoeft, J.D. (1978): Computer Model of Two-Dimensional Solute Transport and Dispersion in Groundwater Techniques of Water-Resources Investigations of the US Geological Survey, Chapter C2, US Government Printing Office, Washington

Konikow, L. F. – Goode D. J. – Homberger G. Z. (1996): A Threee-dimensional Method-of-characteristics Solute-transport Model. U. S. Geological Survey. Water Resources Investigations report 96-4267.

Kovács B. (1998): Szennyezőanyag-terjedési számítások környezetvédelmi alkalmazásai, kézirat, PhD értekezés

Kovács B. (2004): Hidrodinamikai és transzportmodellezés Processing MODFLOW környezetben I., egyetemi tankönyv Miskolci Egyetem – Szegedi Tudományegyetem – GÁMA-GEO, p. 160., ISBN 963 661 637 X

Kovács, B., Tamás, J., Kerbolt, T. (2004): A large-scale investigation for active and passive protection of vulnerable aquifers against contamination of communal and industrial origin in the Gyöngyös-Atkár Area, Hungary. In: Proc. Aagaard, P. (ed.) Saturated and Unsaturated Zone - Integration of process knowledge into effective models. EU-COST action 629. Rome. pp. 37-43.

Kovács, E., Tamás, J. (2002): A Surfer 7.0 alkalmazási lehetőségei a talajszennyezettség modellezésében. In: Proc. Herdon, M. (szerk.) Agrárinformatika 2002. Debreceni Egyetem. pp. 1350-1355.

König, CH. (1993): Numerische Modellierung von Grundwasserströmungs- und Stofftransportvorgängen am Niederrhein, Mitteilungen Inst. für Bodenmechanik und Grundbau, (Hrsg.: Semprich, S.), TU Graz, Mitteilungsheft 10, pp. 178_192.

Kremper R. (1998): A diszperziós koefficiens számítására alkalmas módszerek összehasonlítása, PhD doktori értekezés, Kézirat, DATE, Debrecen

Lai, T.M. - Mortland, M.M. (1962): Self Diffusion of Exchangeable Cations in Bentonite, Clay and clay minerals, Vol.9. pp. 227-247.

Lapidus, L- Pinder, G.F. (1982): Numerical Solutions of Partial Differential Equations in Science and Engineering, John Wiley & Sons, New York

Lege, T. - Kolditz, O. - Zielke, W. (1996): Strömungs- und Transportmodellierung, Springer Verlag, Berlin

Linsley – Franczini (1979): Water-Resources Engineering, McGraw-Hill Book Co.

Mabey, W. - Mill, T (1978): Critical Review of Hydrolysis of Organic Compounds in Water under Environmental Conditions, Jour. Phys. Chem. Ref. data 17, No 2: pp. 383-415.

Major P. (1981a): Talajvízháztartási paraméterek meghatározása és térképi ábrázolása, VITUKI témabeszámoló, Témaszám: 7782/1/68, 23p.

Major P. (1981b): A Hernád melletti kavicsmezőben tárolt talajvíz függőleges vízforgalmának vizsgálata, Szakvélemény, Kézirat

McDonald, M.G. – Harbaugh, A.W. (1988): MODFLOW, A Modular Three-Dimensional Finite Difference Groundwater Flow Model US Geological Survey Water Resources Inv. Bk.6, Chap. A1., Washington D.C., Open-file report 83-875

Morris, D.A. - Johnson, A.I. (1967): Summary of Hydrologic and Physical Properties of Rock and Soil Materials as Analysed by the Hydrologic Laboratory of the US Geological Survey, 1948-1960, USGS Water Supply Paper 1839-D

Müller-Kirchenbauer, H. - Rogner, J. - Friedrich, W. (1997): Einfluß der Versuchsrandbedingungen auf die Ergebnisse von Dichtmassenuntersuchungen, Bautechnik 68, pp. 421-424.

Nachtnebel, H.P - Bárdossy, A. (1990): Network Geometry and Spatial Uncertainty in Groundwater Solute Transport Modelling, Proc. of ModelCARE '90: Calibration and Reliability in Groundwater Modelling, IAHS Publ. No. 195, pp. 529-539.

Ogata, A. (1970): Theory of Dispersion in Granular Medium, US Geological Survey Professional Paper, 411-I.,US. Government Printing Office, Washington

Ogata, A. – Banks, R.B. (1961): A Solution of Differential Equation of Longitudinal Dispersion in Porous Media, US Geological Survey Professional Paper, 411-A., US. Government Printing Office, Washington

Pannatier, Y. (1996): Variowin, Software for spatial data analysis in 2D, Springer. ISBN 0-387-94679-9.

Peck, V. – Gorelick, S. – De Marsily, G. – Forster, S. – Kovalevsky, V. (1988): Consequences of Spatial Variability in Aquifer Properties and Data Limitations for Groundwater Modelling Practice, IAHS Publication, No. 175, pp. 25-30., 37., 54-55, 78-113.

Perkins, T.K. – Johnston, D.C. (1963): Review of Diffusion and Dispersion in Porous Media, Society of Petroleum Engineering J., Vol.3. pp. 70-84.

Pongrácz A.(1981): A szennyezőanyagok terjedése talajvízben, Vízügyi Közlemények, 1981/4. pp. 612-618.

Pritchett, J.W. – Garg, S.K. (1980): Determination of Effective Well Block Radii for Numerical Reservoir Simulations, Water Resources Research 16(4), pp. 665-674.

Raghunath, H.M. (1982): Groundwater, Wiley Eastern Ltd., John Wiley & Sons.

Rákóczi L. (1997): A folyómeder kolmatálódásra hajlamos részének lehatárolása a mederanyag elemzése alapján, Vízügyi Közlemények, 1997/3.

Renka, R. J. (1984a): Interpolation of the data on the surface of a sphere. ACM Transactions on Mathematical Software (10), 417-436.

Renka, R. J. (1984b): Algorithm 624: Triangulation and interpolation at arbitrarily distributed points in the plane. ACM Transactions on Mathematical Software (10), 440-442.

Rifai et al. (1956) cit. van Genuchten, M. Th, – Wierenga, P.J. (1986): Solute Dispersion and Retardation Factors. In: Klute (ed.) Methods of Soil Analysis (Part I.)

Rózsa A (2000): Beszivárgás viszgálatok a Szentendrei Duna medrében, Hidrológiai Közlöny, 80. évf. 2.sz.

Rowe, R.K. - Caers, Ch.J. - Chan, C. (1993): Evaluation of a Compacted Till Liner Test Pad Constructed over a Granular Subliner Contigency Layer, Canadian Geotechnical J. (30) pp. 667-689

Shackelford, Ch. D. (1990): Transit Time Design of Earthen Barriers, Engineering Geology, 29. Pp.79-94.

Shackelford, Ch.D. - Daniel, D.E. (1991): Diffusion in saturated soil I., J. of Geotechnical Engineering, Vol. 117, pp. 467-506.

Shepard, D. (1968): A Two Dimensional Interpolation Function for Irregularly Spaced Data. Proceedings 23rd. ACM National Conference 517-524.

Steiner F. (1990): A geostatisztika alapjai, Tankönyvkiadó, Bp.

Szabó I. - Kovács B. (1992): A 2. sz. Regionális Hulladékégetőmű szuhogyi lerakója környezeti hatásának előzetes becslése számítógépes szimuláció segítségével, Szakvélemény, Kézirat

Szabó I. – Kovács B. (1995): Hulladékelhelyezés IV. A szennyezőanyagok terjedése; A modellezés elmélete és gyakorlata, Ipar a Környezetért Alapítvány, pp. 1-270

Szabó I. - Kovács B. - Czinkota I. - Takács S. (2001): Egy fúrási iszaptároló környezetében lévő cink eredetének vizsgálata, Szakvélemény, Kézirat

Szanyi J. - Marton L. (2002): A BIOGAL Gyógyszergyár Rt. területén található szennyező anyagok vízmű-kutakra vonatkozó becsült elérési idejének számítása. Szakértői jelentés, Kézirat, 9 p.

Szanyi J. (2004): The Influence of Lower-boundary Condition on the Groundwater Flow System. Acta Geologica Hungarica, vol.47, (1) pp: 93-104.

Székely F. (1986): Felszín alatti vizek konvektív kémiai tömegtranszportjának numerikus modellezése Hidrológiai Közlöny, 66.évf.4-5. pp.255-259.

Tamás J. – Kovács B. – Bíró T. (2002): Vízkészlet – Modellezés, egyetemi jegyzet, ISBN 963 472 657 7, Debreceni Egyetem, p. 200.

Tamás, J. (1999): Analysis of Uncertaintinity in the Design of Sampling Strategy. In: Analele Universitatii din Oradea, Fascicula Agricultura si Horticultura 5. 7-14.

Tamás, J., Kovács, E. (2002): Error Propagation from Sampling Strategy to Analysis – Phytoremediation of a Heavy Metal Polleted Site. In: Proc. Győri, Z. (ed.) Society for Environmental Geochemistry and Health 20th European Conference. Debrecen. pp. 1-5.

Tamás, J., Lénárt, Cs. (2002): Using Geoinformatics in Regional Environmental Modelling. In: Proc. Burger, H., Skala, W. (eds.) 8th Conference of the International Association for Mathematical Geology (IAMG). Berlin. pp. 495-501.

Tamás, J. (2000a): Térinformatika I. Kiadó: Debreceni Egyetem, Debrecen. pp. 1-250.

Tamás, J. (2000b): Térinformatika II. Kiadó: Debreceni Egyetem, Debrecen. pp. 250-399.

Tóth J (1963): A Theoretical Analysis of Groundwater Flowin Small Drainage Basins, J. of Geophysical Research, Vol 68., No. 16, pp. 4795-4812.

Ubbel K (1962): A felszín alatti vízkészlet, Hidrológiai Közlöny, 2. sz.

Ujfaludi L. (1985): Inhomogén szemszerkezetű talajok diszperziós tulajdonságainak vizsgálata, Vízügyi Közlemények, LXVII. évf. 1985/3., pp. 479-487.

Verruijt, A. (1970): Theory of Groundwater Flow, Gordon and Breach Science Publishers

Völgyesi I (1993): Mederkapcsolati hatásfok: a parti szűrésű víztermelés fontos paramétere, Hidrológiai Közlöny, 73. évf. 5.sz.

Wackernagel, H (1995):Multivariate Geostatistics, Springer Verlag

Wagner, J-F. (1992): Verlagerung und Festlegung von Schwermetallen in Tonigen Deponieabdichtungen. Ein Vergleich von Labor und Geländestudien, AGK Schriftenreiche 22.

Walton, W.C. (1970): Groundwater Resource Evaluation, McGraw-Hill, New York

Water Science and Technology Board of the National Research Council (1990): Ground Water Models, Scientific and Regulatory Applications, National Academy Press, Washington D.C., p.303.

Wienberg – Förstner (1994): Transport von Schadstoffen durch Mineralisch Dichtwände. In Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Müller-Kirchenbauer, Inst. für Grundbau und Bodenmechanik, Univ. Hannover.

Zheng, C. (1990): MT3D, A Modular Three-Dimensional Transport Model, S.S: Papadopulos & Associates, Inc. Rockville, Maryland

Zheng, C. (1992): MT3D, A Modular Three-Dimensional Transport Model for Simulation of Advection, Dispersion, and Chemical Reactions of Contaminants in Groundwater Systems, IGWMC, Delft

Zheng, C. (1996): MT3D Version DoD_1.5, a Modular Three-dimensional Transport Model, The Hydrogeology Group, University of Alabama.

Zheng, C. – Wang P. P. (1998): MT3DMS, A Modular Three-dimensional Multispecies Transport Model for Simulation of Advection, Dispersion and Chemical Reactions of Contaminants in Groundwater Systems. Documentation and user's guide. Departments of Geology and Mathematics, University of Alabama.

Tartalomjegyzék

10. Bevezető gondolatok 1
11. A transzportmodellezés Processing MODFLOW for Windows (PMWIN) környezetben (Kovács B.) 3
11.1. A transzportmodellezés helye a PMWIN rendszerben 4
11.2. A hidrodinamikai modell felkészítése a transzportszámításokra 5
11.3. A peremfeltételek megadása 9
11.4. Az MT3D program bemeneti adatainak megadása 9
11.4.1. A kiindulási koncentrációk megadása 9
11.4.2. Az advektív transzport jellemzőinek megadása 10
11.4.2.1. A megoldási módszerek 11
11.4.2.2. A számítási algoritmusok 12
11.4.2.3. Az advektív transzportcsomag egyéb paraméterei 12
11.4.3. A diszperzív transzportjellemzők megadása 14
11.4.4. A szorpció és a bomlás jellemzőinek megadása 15
11.4.5. A források és nyelők megadása 15
11.4.6. A kimeneti fájl beállításai (Output Control) 16
11.4.7. Az MT3D program futtatása 17
11.4.8. Teendők, ha valami nem sikerül... 18
11.5. Az MT3DMS program használatának specialitásai 20
12. Interpoláció, térképek szerkesztése, térképi műveletek Surfer for Windows™ programmal (Kovács B.) 23
12.1. A program működése, állományai 23
12.2. A program menü-rendszere 25
12.2.1. A File menü parancsai 25
12.2.2. Az Edit menü 29
12.2.3. A View (Nézet) menü 30
12.2.4. A Format (formázás) menü 31
12.2.5. A Data (adatműveletek) menü 32
12.2.6. A Draw (rajzolás) menü 34
12.2.7. Az Arrange (igazítás) menü 35
12.2.8. A Grid (rácshálóműveletek) menü 36
12.2.9. A Map (térképszerkesztés) menü 47
12.2.9.1. A térképszerkesztés ablak és objektumrendszere 48
12.2.9.2. A térképobjektumok főbb tulajdonságai: nézet, méretarány és térképhatárok 49
12.2.9.3. Az izovonalas térképek 50
12.2.9.4. Alaptérképek 53
12.2.9.5. Az adatpont-térképek 53
12.2.9.6. A színtérképek 56
12.2.9.7. Árnyékolt térszín-térképek 57
12.2.9.8. A vektortérképek 58
12.2.9.9. A dróthálós felületábrázolás 59

12.2.9.10. Kitöltött felületábrázolás....60
12.2.9.11. Léptékvonalzó rajzolása....61
12.2.9.12. Digitalizálás....61
12.2.9.13. A Trackball használata....63
12.2.9.14. A 3D objektumok igazítása....63
12.2.9.15. Térképek közös koordináta rendszerbe foglalása....63
12.2.10. A Window (ablak) menü....63
12.2.11. A Help menü....64
12.3. Interpolációs algoritmusok, diszkretizáció....64
12.3.1. A háromszögelésen alapuló módszerek....68
12.3.1.1. A lineáris interpoláció....68
12.3.1.2. A Renka-féle interpoláció....68
12.3.1.3. A kétváltozós Akima-féle interpoláció....69
12.3.2. Súlyozott átlagszámításon alapuló interpolációk....69
12.3.2.1. A távolság hatványával fordítottan arányos interpoláció, a Shepard módszer....70
12.3.2.2. A módosított Shepard-módszer....71
12.3.2.3. A természetes szomszéd módszer....71
12.3.2.4. A variogramok és a krigelés....72
12.3.3. A radiális bázisfüggvény módszer....77
12.3.4. Egyéb interpolációs és felületszerkesztő algoritmusok....77
12.3.4.1. A minimális görbület módszere....77
12.3.4.2. A legközelebbi pont módszere....78
12.3.4.3. A csúszó-átlagolás módszere....78
12.3.4.4. A polinomiális regresszió....78
12.3.5. Az interpoláció során elkövetett gyakori hibák....78
12.4. Surfer alkalmazások....82
12.4.1. Térfogatszámítás és alkalmazásai....82
12.4.1.1. Hulladéktérfogat meghatározása (\app\hull könyvtár)....82
12.4.1.2. A kitermelhető statikus vízkészlet meghatározása (\app\stat könyvtár)....85
12.4.1.3. Szennyezőanyag-mennyiség és egy területen mért átlagkoncentráció meghatározása (\app\szenny könyvtár)....87
12.4.1.4. Szennyezett terület nagyságának meghatározása (\app\szenny könyvtár)....90
12.4.2. Surfer DXF alaptérkép gyártása Processing MODFLOWban történő alkalmazáshoz (\app\dxfgyartas)....91
12.4.3. DXF és DWG állományok konvertálása Processing MODFLOWban történő alkalmazáshoz....95
12.4.3.1. Konvertálás Surferrel DXF-ről DXF-re....97
12.4.3.2. Konvertálás DWG Converter programmal AutoCAD DXF és DWG formátumokról a Processing MODFLOW által értelmezhető DXF-formátumba....97
12.4.4. DXF állományokban tárolt xyz koordináták kinyerése....98

HIDROGEOLÓGIA FÓRUM

Vannak kérdések a hidrogeológiában, amelyeket érdemes volna megvitatni. Például:

- Effektív (dinamikai? gravitációs?) porozitás nagysága, mérési lehetőségei.
- A felszín alatti víz kora.
- Agyagos fedőréteg védőképessége.
- Mi történt a Duna-Tisza közi hátság és a Szigetköz talajvizével?
- Felszín alatti páramozgás szerepe a talajvízháztartásban.
- Hol vannak eltemetett folyómedrek? Hol nincsenek? stb., stb., még sok minden.

Erre szolgál az alábbi honlap:

www.hidrogeol.atw.hu

Itt olvasni és látni lehet:

- kisebb-nagyobb tanulmányokat,
- reflexiókat a szaksajtóban megjelent furcsaságokról,
- beszámolókat a Hidrológiai Társaságnál, a Földtani Társulatnál és máshol elhangzott előadásokról,
- fényképeket szakmai eseményekről,
- vendégkönyvet (amibe írni lehet),
- egy FÓRUM rovatot, ahol mindenki hosszabban is kifejtheti véleményét,
- és mindig valamilyen szavazási lehetőséget szakmai kérdésekről.

Továbbá: bárki megjelentetheti Internetre szánt tanulmányát vagy szakmai önéletrajzát a „Who's Who ? Ki kicsoda a magyar hidrogeológiában?" rovatban.

A honlap – sokak közreműködésével – akár Internetes szakfolyóirattá is válhat.

Tájékoztatás: hidrogeol@atw.hu

Agruniver Holding

KÖRNYEZETVÉDELMI ÉS KUTATÁSFEJLESZTÉSI KFT.

A Környezetvédelmi Szolgáltatók és Gyártók Szövetségének rendes tagja

Környezetvédelmi állapotfelmérés, tényfeltárás

- Szennyező források felderítése, szennyezések környezeti hatásainak vizsgálata
- Tényfeltárás, szennyezések lehatárolása
- Hidrogeológiai vizsgálatok
- GIS alapú térinformatikai megjelenítés
- Egészségügyi és környezeti kockázatelemzés
- Hidrodinamikai és szennyezés terjedés modellezés
- Költséghaszon és költséghatékonyság elemzés
- Kármentesítési célállapot határérték (D) meghatározás
- Monitoring rendszerek tervezése, kialakítása és üzemeltetése

Hatástanulmány, környezetvédelmi felülvizsgálat, audit

- I. és II. fázisú audit termelő egységek (gyárak) esetében adásvétellel, privatizációval és felszámolással kapcsolatosan
- Teljes körű EBK (HSE) auditok és vállalati felülvizsgálatok készítése, revitalizációs stratégiák kidolgozása, nemzetközi, multinacionális cégek számára is.
- Részleges és teljes körű környezetvédelmi felülvizsgálatok elvégzése
- Előzetes és részletes környezeti hatástanulmányok készítése és az egységes környezethasználati engedélyezési eljárás lefolytatása (IPPC)

Remediáció

- Műszaki beavatkozások tervezése és kivitelezése, vízjogi engedélyek beszerzése vízi létesítmények létesítéséhez és üzemeltetéshez
- A legjobb elérhető technológia (BAT) meghatározása műszaki beavatkozásokhoz technikai és költséghaszon elemzésekkel
- Konzultáció és projekt irányítás
- Nemzeti és uniós pályázatok készítése
- Környezetvédelmi beruházások finanszírozási lehetőségeinek elemzése, irányítása
- Környezetvédelmi és hulladékgazdálkodási programok, tervek készítése települési önkormányzatok és régiók számára

Kármentesítések és barnamezős beruházások műszaki ellenőri feladatok ellátása

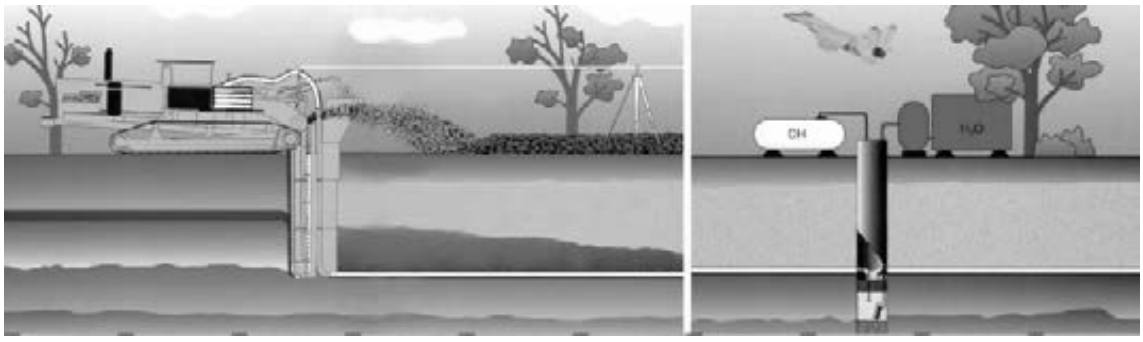
Illegális hulladéklerakók vizsgálata, felszámolása, kármentesítése, hulladéklerakók felülvizsgálata, rekultivációja

Környezetvédelmi kutatás és technológia fejlesztés, kivitelezés

Környezeti elemek

akkreditált mintavétele

Cím: 2100 Gödöllő, Ganz Ábrahám u. 2.
Postacím: 2100 Gödöllő, Pf. 56.
Telefon: 28/ 417-463, 28/512-080 Telefax: 28/ 415-964
E-mail: holding@agruniverholding.hu
Honlap: http://www.agruniverholding.hu, http://www.kszgysz.hu/agrunive.htm


DH

Békés Drén
KÖRNYEZETVÉDELMI, VÍZ- ÉS
MELIORÁCIÓS KFT.

BGT Hungaria Környezettechnológiai Kft.

1119 Budapest, Keveháza u. 1-3.
Tel.: 204-1961; 204-1962
Fax: 204-1988

BGT Hungaria Környezettechnológiai Kft. magas szintű környezetvédelmi és környezettechnológiai feladatok elvégzésére alakult 1992-ben.
BGT Hungaria Kft. az ALSTOM Power Environmental Consult GmbH. iroda hálózatának tagjaként a nemzetközi standardot képviseli a környezetvédelmi és környezet technológiai szolgáltatások területén.
Az iroda **ISO 9001:2000** minőségirányítási tanúsítással rendelkezik

SZOLGÁLTATÁSAINK KÖRE:

Környezeti auditálás

- ☐ ingatlanok tulajdonosváltozásához, illetve privatizációhoz kapcsolódó I. és II. fázisú auditáló vizsgálatok

Tényfeltárások, utóellenőrzések, állapotfelmérések

- ☐ Talaj- és talajvíz vizsgálatok
- ☐ Hidrogeológiai vizsgálatok
- ☐ Innovatív vizsgálati módszerek alkalmazása
- ☐ A vizsgálatokhoz kapcsolódó teljes körű szakértői támogatás

Mennyiségi kockázatfelmérés

- ☐ Tényfeltárásokhoz kapcsolódó egyszerű és részletes kockázatelemzés készítése
- ☐ Kockázati alapon kármentesítési célérték (D) meghatározása
- ☐ Humán és ökológiai kockázat meghatározása

Kármentesítés

- ☐ Kárelhárítási tervezés
- ☐ Mentesítő berendezések forgalmazása, bérbeadása
- ☐ Monitoring vizsgálatok

JOGOSULTSÁGAINK ÉS ENGEDÉLYEINK:

BGT Hungaria Kft. a NAT által NAT-1-1365/2004 számon akkreditált **mintavevő szervezet**

Vízügyi szakértői engedélyek

- ☐ Vízanalitika és vízminőség-védelem
- ☐ Vízfeltárás, kútfúrás
- ☐ Vízgépészet

Környezetvédelmi felülvizsgálat

- ☐ Talajvédelem
- ☐ Vízminőség-védelem
- ☐ Levegőtisztaság-védelem
- ☐ Zaj- és rezgésvédelem
- ☐ Hulladék

Vezető tervezői jogosultságok

- ☐ Hidrogeológia
- ☐ Környezetvédelem geotechnikai kérdései
- ☐ Geológia, mérnökgeológia
- ☐ Szennyvíztisztító telepek gépészete

BGT Hungaria.
Tapasztalt partner a környezetvédelmi problémák megoldására.

INTERGEO Budapest

BIOKÖR

SOIL

AKKREDITÁLT MINTAVÉTEL ÉS ANALITIKA
talaj, talajvíz, talajgáz, szennyvíz, hulladék
hidrogeológia, mikrobiológia, ökotoxikológia
KÖRNYEZETVÉDELMI FELÜLVIZSGÁLAT ÉS MONITORING
KÖRNYEZETI ÉS HUMÁN-EGÉSZSÉGÜGYI KOCKÁZATELEMZÉS
MENTESÍTÉSI TECHNOLÓGIÁK HIDROGEOLÓGIAI MODELLEZÉSE
MENTESÍTÉSI TECHNOLÓGIÁK KIVITELI TERVE
HULLADÉKMINŐSÍTÉS
KUTATÁS, FEJLESZTÉS

water

FIZIKAI/KÉMIAI/BIOLÓGIAI ELJÁRÁSOK
A SZENNYEZŐK SZÉLES SPEKTRUMÁNAK KEZELÉSÉRE
olaj, szénhidrogén, klórozott szénhidrogén, oldószerek
TALAJ ÉS TALAJVÍZ TISZTÍTÁSI TECHNOLÓGIÁK IN SITU ÉS EX SITU KIVITELEZÉSE
INNOVATÍV ELJÁRÁSOK TESZTELÉSE KIVITELEZÉSE
TALAJVÍZTISZTÍTÓ BERENDEZÉSEK TERVEZÉSE, KIVITELEZÉSE

INTERGEO@INTERGEO-BUDAPEST.HU
BIOKOR@BIOKOR.HU

1089 BUDAPEST
BLÁTHY OTTÓ U. 41

Tel:06-1-3039179 Fax:06-1-2990010

12.4.5. Térképi adatok átvitele a Processing MODFLOWba (\app\srf2pm5 könyvtár).....99
12.4.6. PMWin alapadatok és eredmények ábrázolása Surferben (\app\pm52srf könyvtár).....109
12.4.6.1. A rácsháló megjelenítése.....109
12.4.6.2. Paraméter-eloszlások és eredmény állományok mentése.....110
13. A modellparaméterek meghatározása (Kovács B.).....121
13.1. Internetes adatbázisok.....121
13.2. Általános vízföldtani paraméterek és megadásuk.....122
13.2.1. A szivárgási tényező és a transzmisszivitás.....122
13.2.2. A hézagtényező, a hézagtérfogat és a szabad hézagtérfogat.....123
13.2.3. A fajlagos tárolási tényező és a fajlagos hozam.....126
13.2.4. A források és nyelők megadása (kutak, galériák).....128
13.2.5. A felszíni vízfolyások paramétereinek megadása.....132
13.2.6. A függőleges vízforgalom (beszivárgás, párolgás) megadása.....132
13.2.7. A peremfeltételek meghatározása.....137
13.3. A transzport modell adatrendszerének kialakítása.....138
13.3.1. Az effektív diffúzió-állandó a hidrodinamikai diszperzió-állandó, diszperzivitás, diszperzió-állandó.....138
13.3.2. A szorpciós izotermák jellemzői, megoszlási együttható és a késleltetés.144
13.3.3. A bomlási együttható és a felezési idő.....146
13.3.4. A transzportmodellek peremfeltételinek megadása.....147
14. A modellek paraméter-érzékenysége (Kovács B. – Szanyi J.).....148
15. A numerikus hibák kiküszöbölése (Kovács B. – Szanyi J.).....152
16. Determinisztikus és sztochasztikus modellezés (Kovács B. – Szanyi J.).....159
17. Modellezési praktikum (példamodellek) (Kovács B. – Szanyi J.).....162
17.1. Az első modell (\app\perm_mdl).....162
17.2. Az első modell finomítása (\app\perm_mdl2 könyvtár).....174
17.3. Vízmérleg meghatározása (a Water Budget program használata).....177
17.4. Az első modell továbbfejlesztése nem permanens állapotú modellé (\app\nemperm könyvtár).....181
17.5. A modell transzportmodellé bővítése: egy csőtörés következtében bekövetkező szennyeződés szimulációja (\app\transzp könyvtár).....185
17.6. 1D oszlopmodell transzportszámításokhoz (\app\clm könyvtár).....190
17.7. 2D vertikális síkmodell használata hidrodinamikai számításokhoz: gát alatti szivárgás számítása (\app\2Dgat könyvtár).....194
17.8. A Tóth-féle megoldás szimulációja (\app\2Dtoth könyvtár).....196
18. Utószó.....198
19. Felhasznált irodalom.....199
Tartalomjegyzék.....207

GEOSERVICE KFT.
e-mail: geoservice@geoservice.axelero.net web: http://www.geoservice.axelero.net

Már elolvasta a könyvet? Már van modellező programja?
És még mindig nincs belevaló adata?

Próbálja ki a tényadatokon nyugvó modellezés izgalmas, semmihez nem hasonlítható, fantasztikus, új világát!

Térjen be MODELLELLÁTÓ Áruházunkba!

FÖLDSZINT Modellgeometria Osztály

- Régi és új földtani-geofizikai adatok begyűjtése, kritikai feldolgozása, homogenizálása.
- Új adatok felvételezése (régi kutakban nukleáris karotázzsal), földtani-geofizikai korrelációs szelvények szerkesztése, kívánság szerinti méret-és fazonigazítás. Az utóbbi intim helyeken is.
- Elemek és differenciák végszámra.
- Felszínközeli viszonyok feltárása fúrással, felszíni geofizikával (VESZ,HESZ, MT, termika, radiometria).
- Digitális eredményközlés, térinformatika.

I. EMELET: Szivásgáshidraulikai Osztály

Számítások új és archív adatokból, kiképzett kutak teljes körű hidraulikai-kémiai vizsgálata, rejtélyes jelenségek kibogozása.
Rozsdás lakatok levágása, nervózus kútgépészek szakszerű helyszíni ellátása.

II. EMELET Modellezés

Vízbázisvédelem, új kút létesítése, geotermikus erőmű, transzportmodellezés.

III.EMELET Tapasztalat Osztály

Elődünknek (Országos Földtani Kutató és Fúró Vállalat) köszönhetően 1955 óta a szakmában. Kínálatunkat folyamatosan bővítjük.

IV. EMELET Szervízrészleg

Instabil modellek aládúcolása, lemerülő vízbázisok utántöltése, gyenge peremek utólagos bekeményítése, tizedesvesszők pontosítása, stb. - mindez pótlólagos mérések révén.

ALAGSOR Számlázás

Mélyfagyasztott árak!

PARK, PARKOLÓ Eszközök, járművek

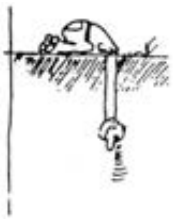
Teljes körű karotázs és kútvizsgálati eszközpark, digitális mérési, feldolgozási és adatszolgáltatási technikák.

3 napos visszavásárlási garancia, korlátlan idejű jótállás (a ”B” zónán belül)!

Világszínvonal ónos esőben is!

Nálunk a végeselem is Duracell!

Telephely: 3527 Miskolc, József A. u. 59. **Postacím:** 3501 Miskolc, Pf. 90. **Telefon/fax:** 46/355-045



Magyar Mérnöki Kamara
Geotechnikai Tagozata
1094 Budapest, Angyal u. 1-3.
Tel/Fax: +36-1-455-3696

A Magyar Mérnöki Kamara építő-, vízépítő-, geotechnikai és földtudományi mérnököket összefogó szakmai szervezete a Geotechnikai Tagozat.

A tagozat fontosabb feladatai és tevékenységei:

- ✓ a geotechnikai szakterületen dolgozó mérnökök szakmai minősítési rendjének kidolgozása és a rendszer folyamatos aktualizálása,
- ✓ a szakterületre vonatkozó szabványosítási munka elősegítése, Nemzeti Alkalmazási Dokumentumok készítése, új szabványok előkészítése,
- ✓ szakmai rendezvények szervezése (pl. Ráckevei geotechnikai konferencia, Széchy emlékülés, „Laza" szakmai fórum, előadóülések, vitafórumok stb.),
- ✓ a középfokú és felsőfokú geotechnikai szakmai oktatás támogatása, az egyetemi oktatási formák véleményezése és fejlesztési javaslatok készítése, fúrómester képzés szervezése,
- ✓ geotechnikai szakmai továbbképzések rendezésének elősegítése, az oktatási anyagok összeállítása és véleményezése,
- ✓ geotechnikai szolgáltatások tartalmi követelményrendszerének és a geotechnikai díjszabás kidolgozása,
- ✓ kiváló mérnökök elismerése (Széchy Károly emlékdíj és emlékplakett),
- ✓ szakmai érdekképviselet ellátása különböző szakmai és egyéb fórumokon,
- ✓ jogszabályok véleményezése, módosítási javaslatok kidolgozása.

További információk a kamara és a tagozat honlapján:
http://www.geot.ini.hu és
http://www.mmk.hu

PÓRUSVÍZ MÉRNÖKI IRODA
Vízgazdálkodási és Vízvédelmi Tervező és Szolgáltató
Betéti Társaság
1039 Budapest, Jendrassik György utca 4.
Tel./fax: (1) 380-62-85

A **PÓRUSVÍZ Mérnöki Iroda** felszín alatti vízgazdálkodási és vízvédelmi, valamint kúthidraulikai feladatokkal foglalkozó, tervező és szolgáltató betéti társaság.

A **PÓRUSVÍZ Mérnöki Iroda** tagjai a szakmai és üzleti tisztesség szellemében dolgoznak, a Magyar Mérnöki Kamara Etikai-fegyelmi Kódexében foglaltakat magukra nézve kötelezőnek ismerik el.

A **PÓRUSVÍZ Mérnöki Iroda** az alábbi **szakterületeken** vállal megbízást, végez munkát, illetve nyújt szolgáltatást:

- Vízkutatással, vízbeszerzéssel (parti szűrésű víz, talajvíz, rétegvíz, hasadékvíz, termálvíz, ásványvíz) kapcsolatos tervek, szakvélemények készítése;
- Kutak és egyéb vízbeszerző művek tervezése;
- A kútépítés során tervezői művezetés biztosítása, illetve műszaki ellenőri tevékenység ellátása;
- Kúthidraulikai feladatok megoldása, a kutak egymásra való hatásának meghatározása, a fúrt kutak állapotának, víztermelési hatékonyságának értékelése;
- Felszíni és felszín alatti vízháztartás vizsgálat, vízforgalom meghatározás, vízkészletbecslés;
- Vízbázisok sérülékenységének, veszélyeztetettségének vizsgálata szivárgáshidraulikai modellezéssel;
- Hidrogeológiai védőidom- és védőterület-rendszer meghatározása a felszín alatti vízkészletek mennyiségi, minőségi védelme érdekében;
- Felszín alatti vízvédelmi monitoring rendszer tervezése;
- Mederbeni in situ beszivárgás mérések elvégzése és azok kiértékelése a mederfenék szivárgáshidraulikai paramétereinek, és a parti szűrésű járulékos készletek meghatározása céljából;
- Földtani, vízföldtani, építéshidrológiai szakértés, szaktanácsadás;
- Bírósági peres ügyekben vízügyi műszaki szakértői vélemény készítése;
- Vízellátással kapcsolatos hatósági (elvi vízjogi, vízjogi létesítési, üzemeltetési, fennmaradási) engedélyezési tervek készítése és az engedélyeztetés lebonyolítása.

Várjuk szíves megrendelésüket.

REWOX

REWOX Hungária
Ipari és Környezetvédelmi Kft.

Magyar környezet - európai minőség

6713 **Szeged**, Pf: 154. *Tel.:* +36-62-464-444 *E-mail:* mail@rewox.hu *Honlap:* www.rewox.hu

TEVÉKENYSÉGÜNK:

- Víztisztaság védelem, vízfertőtlenítés, talajvíztisztítás (szénhidrogénekkel szennyezett), talajvíz analitika, víztisztítási technológiák tervezése, kivitelezése, egyedi vízellátási tervek- és vízminőségi kárelhárítással összefüggő üzemi tervek készítése, megvalósítása, **vízügyi szakértői tevékenység**.
- Ipari **szennyvízkezelési technológiák** tervezése, kivitelezése előregyártott műtárgyak és berendezések telepítése, beüzemelése, engedélyeztetése. Flotációs, derítőszeres technológiák, vegyszeres és biológiai szennyvízkezelési eljárások fejlesztése, alkalmazása, **ISO 9001 minőségirányítási rendszer**rel támogatva.
- Olajjal szennyezett **technológiai szennyvizeket, parkolói csapadékvizeket** kezelő technológiák tervezése, engedélyeztetése, kivitelezése.
- Szénhidrogénekkel cseppszennyezett homokot, lebegőanyagokat tartalmazó vizeket kezelő, OVF alkalmazási engedéllyel rendelkező, szabadalmaztatott **„REWOX olaj- és homokfogó"** berendezések gyártása, telepítése, beüzemelése parkolók, üzemanyagtöltő állomások, szervizek, logisztikai központok, olajlefejtő állomások, járműmosók, üzemek, gyárak területén.
- Szabadalmi védettséget élvező **vízvisszaforgató, újrahasznosító** rendszereink működnek üzemanyagtöltő állomásokon és különböző termelő vállalatoknál, ahol a víztakarékosság és vízminőségvédelem fontos szempont.
- Környezeti **állapotfelmérés**, szennyezés feltárása, lokalizálása, kárelhárítási mentesítési tervek fejlesztése, megvalósítása, szakértői dokumentációk készítése.
- Szénhidrogénekkel **szennyezett területek mentesítésének** tervezése, rekultivációja, helyszíni ártalmatlanítása. Olajszennyezett talajvizek tisztítása, **üzemanyagtöltő állomás hálózatok** és más ipari létesítmények telephelyén működő környezet védelmével kapcsolatos technológiák ellenőrzése, **karbantartása** szervizelése, **szénhidrogénszármazékokkal szennyezett tartályok tisztítás**.
- Környezetvédelmi Felügyelőség által engedélyezett tevékenységünk keretein belül szénhidrogénekkel szennyezett **veszélyes hulladék anyagok szállítása** (tartályautó, konténer, közút, vasút) begyűjtése, **kezelése**, flotációja, elhelyezése, ártalmatlanítása, hasznosítása.
- **Akkreditált mintavételezés, laboratóriumi vizsgálatok** elvégzése, környezeti szennyezések modellezése, prognosztizációja, ellenőrzése. Számítógépes veszélyes hulladék adminisztrációs rendszer működtetése, folyamatirányítás, **teljeskörű veszélyes hulladék adminisztráció**.
- Hazai működési körünknek megfelelően leányvállalataink (**REWOX-ECO-ROM, REWOX-ECO-YU, REWOX-ECO-SLOV**) sikeres tevékenységet fejtenek ki Romániában, Szerbia Montenegróban és Szlovákiában a környezetvédelem és vízgazdálkodás területén.

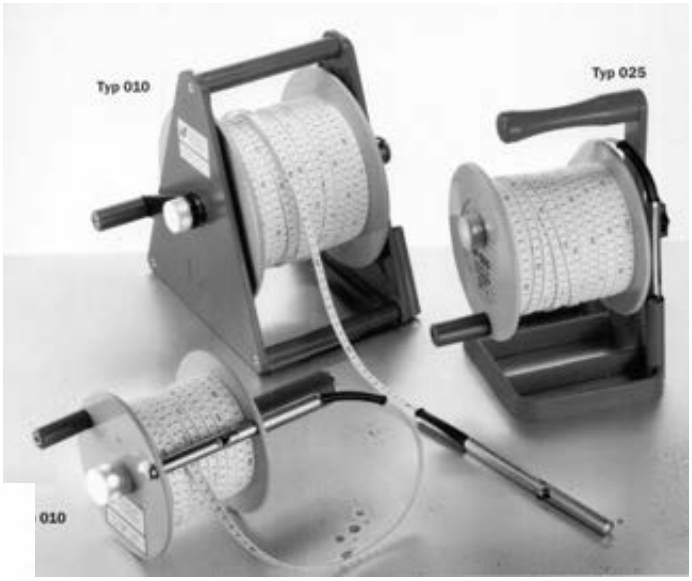
REFERENCIÁINK:

- MOL, OMV, SHELL, AGIP, JET üzemanyagtöltő állomások területén talaj- és talajvíz kármentesítés
- Letenye, Röszke, Nagylak, Ártánd közúti határátkelőhelyek szennyvíztisztító renszere
- MOL Rt. Algyői Bázistelep technológiai és csapadékvízkezelő rendszer
- MÁV, GySEV vasútállomások technológiai szennyvizeinek flotációs tisztítórendszerei
- Hajdú VOLÁN telephely technológiai szennyvizeinek flotációs-bioreaktoros tisztítórendszere
- AUCHAN, METRO, PRAKTIKER, CORA, TESCO, INTERSPAR, MEDIA-MARKT, LIDL áruházak parkolói csapadékvízkezelő rendszerei, teljeskörű veszélyes hulladék adminisztráció
- M5 koncessziós autópálya, Mérnökségi telep víztározó és szennyvízkezelő rendszer
- MOL, OMV, SHELL, AGIP, ESSO, JET üzemanyagtöltő állomások szennyvízkezelő rendszerének telepítése, karbantartása, veszélyes hulladék szállítás, teljeskörű veszélyes hulladék adminisztráció
- Penny Market - REWE raktárbázis, Alsónémedi vízellátó-, szennyvíztisztító rendszer
- Volvo, DAF, HUNGAROTRUCK budapesti telephely, olajos szennyvíz és csapadékvíz tisztítás
- Ferihegyi Repülőtér 2. Terminál olajos csapadékvíztisztító rendszer
- Budapest Airport Rt. Ferihegy gépjárműmosó korszerűsítés
- DUNAPACK Zabok szennyvízkezelő rendszer
- Kapos Volán technonógiai szennyvízkezelő rendszer
- MOL Rt. Komárom technológiai szennyvízkezelő rendszer és olajszint riasztó
- Mórahalom Város szennyvízkezelő rendszerének korszerűsítése

Válassza a HT-Hydrotechnik kíváló minőségű termékeit!

Innovatív megoldások – precíz német kivitelezés – elérhető ár!

Kézi vízszint és vízhőmérsékletmérők



Speciális kulccsal nyitható „vandálbiztos” kútsapkák.

Folyamatos vízszint-, nyomás-, hőmérséklet- és fajlagos vezetőképesség regisztrálók hagyományos kiképzésű és pozitív kutakhoz. Kiolvasás kézi kiolvasóval vagy laptoppal. GSM adatátviteli lehetőség!

Forgalmazza:
GÁMA-GEO Kft.
3519 Miskolc, Bencések útja 111.
3529 Miskolc, Ifjúság útja 12. fszt3.
☎/🖷: 46-431-857
http://www.gama-geo.hu

GÁMA-GEO Kft., 3529 Miskolc, Ifjúság útja 12. fszt.3.
e-mail: info@gama-geo.hu, FAX: 46-431-857

Megrendelés

Megrendelem a GÁMA-GEO Kft-től az alábbi termékeket. A kedvezményes árú könyveket csak szakirányú egyetemi hallgatók rendelhetnek. Ebben az esetben a megrendeléshez a hallgató diákigazolványának másolatát kérjük mellékelni, a számlát a hallgató nevére állítjuk ki. Egyéb személyek, cégek és intézmények részére kedvezményt nem tudunk adni. Az árak 5% ÁFÁ-t tartalmaznak. Postaköltség 400 Ft/megrendelés. Az adatállományokat a www.gama-geo.hu honlapról ingyenesen le lehet tölteni!

Megnevezés	db	Egységár	Összesen
Hidrodinamikai és transzportmodellezés I. (Processing MODFLOW környezetben)			
Kedvezményes árú könyv		1200 Ft/db	
Teljes árú könyv		2400 Ft/db	
Hidrodinamikai és transzportmodellezés II. (Processing MODFLOW és Surfer for Windows környezetben)			
Kedvezményes árú könyv		1300 Ft/db	
Teljes árú könyv		2600 Ft/db	
DVD lemez a példák adatállományaival		500 Ft/lemez	
Postaköltség		400 Ft/rendelés	
Összesen			

Számlázási cím:

Megrendelő neve: .....

Megrendelő címe: .....

Ügyintézőjük neve: .....

Telefonszám/e-mail:* .....

*A kitöltése nem kötelező. Csak abban az esetben hívjuk fel, ha a megrendeléssel vagy a postázással bármilyen probléma merülne fel. Az adatokat harmadik félnek ki nem adjuk és egyéb célra sem használjuk fel.

Postacím (amennyiben nem azonos a számlázási címmel):

Megrendelő neve: .....

Megrendelő címe: .....

Fizetési mód (a számlát a könyvvel együtt postázzuk vagy adjuk át):

- ☐ előre történő átutalással (Szükség esetén előlegszámlát biztosítunk, számlaszám: CIB 10700086-27451605-51100005, az utalásnál kérjük jelezni, hogy „Modellezés tankönyv" és az átutaló nevét.)
- ☐ „sárga" csekk (A megrendelő vállalja, hogy a könyv árát a mellékelt átutalási megbízás felhasználásával postai úton megtéríti. A könyv az ár megtérítéséig a GÁMA-GEO tulajdonát képezi. Elsősorban magánszemélyek részére!)
- ☐ készpénz (Készpénzes vásárlás a Szegedi Tudományegyetemen és a GÁMA-GEO Kft. miskolci irodájában lehetséges.)

Személyes átvétel Szegeden és Miskolcon előre egyeztetett időpontban és helyen történhet (ekkor postaköltséget nem számítunk fel).

Kelt: ....., 200 . .....

.....

aláírás