

A DÖNTÉSTÁMOGATÁS TÉRINFORMATIKAI ESZKÖZEI

Készítette: Bogdán Olivér
Témavezető: Dr. habil Márkus Béla

Nyugat-Magyarországi Egyetem, SOPRON

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	3
2. A döntéstámogatás térinformatikai eszközei.....	3
2.1 A térinformációs rendszerek alkalmazásának lehetőségei.....	4
A kérdés jellege.....	4
2.2 A térinformációs rendszerek alkalmazási szintjei.....	4
2.3 Raszter-Vektor.....	5
2.4 Térbeli elemzések.....	5
2.5 Szoftverek kiválasztása.....	7
3. Döntési alapfogalmak, a döntés folyamata.....	7
4. A döntések osztályozása térinformatikai szempontból.....	10
4.1 Döntési hibák és bizonytalanságok.....	10
4.1.1 a hibák és bizonytalanságok kifejezése.....	11
4.1.2 Fuzzy esetek.....	11
4.2 Döntési alapesetek.....	12
4.2.1 Egy céllal és egy kritériummal rendelkező döntési problémák.....	12
4.2.2 Egy céllal és több kritériummal rendelkező döntési problémák.....	12
4.2.3 Több céllal és több kritériummal rendelkező döntési problémák.....	14
5. Példák a nagyvilágból.....	15
6. Összefoglalás, Jövőkép.....	17
Irodalomjegyzék.....	19

1. Bevezetés

Elcsépett kifejezés mondani, de így igaz, hogy a felgyorsult információs világ forgatagában élünk, ahol mindennap a lényeges és lényegtelen adatok hatalmas mennyiségét kapjuk. Elég, ha a napi postában megjelenő hirdetésszerű közleményekre vagy a TV-csatornák bővülő számára gondolunk. Ezzel ellentétben a feldolgozásukra jutó idő folyamatosan csökken, így nagy a túlterheltség a stressz. A döntéshozóknak, egy döntési szituációban mégis a nagy mennyiségű lényeges és lényegtelen adatból, lehetőségből kell kiválasztani a számukra fontosat, előállítani információkat, és ezek ismeretében kell határozniuk. Ez csak úgy lehetséges, ha az adatokat előzetesen előkészítik, feldolgozzák, elemzik, az eredményeket összefoglalják. A számítógépes adatfeldolgozás előnye itt kerül előtérbe. A kapott adatok összegezhethők, integrálhatók. A számítógépes alkalmazások egy speciális esete a térinformatika. A térinformatika további előnye, hogy az adatokat vizuális formában tálalja elénk, - ezáltal a felfogási, értelmezési idő csökken és jobban meg is marad, mintha csak puszta számsorokat, táblázatokat olvasnánk - így segítve a döntéshozást.

A dolgozatban célokom bemutatni a döntés folyamatát, alapeseteit, az ezeket segítő térinformatikai eszközöket, valamint hazai és külföldi példákon keresztül az alkalmazásukat, végül egy jövőképben meghatározni a fő fejlődési tendenciákat.

Természetesen ez a témakör igen tág területet ölel fel, és az időkorlátok miatt nem lehetséges a teljesség igényére törekedni, ezért a doktori témámhoz kapcsolódóan a döntéstámogató környezetvédelemi információs rendszereket mutatom be.

2. A döntéstámogatás térinformatikai eszközei

A *földrajzi információs rendszer* (Geographical Information System - GIS) hardver, szoftver és módszerek olyan rendszere, mely segíti a komplex tervezési és irányítási feladatok megoldására szolgáló térbeli adatok gyűjtését, kezelését, feldolgozását, elemzését, a modellezést és megjelenítést, ezáltal egységes rendszerbe integrálja a térbeli és leíró információkat (Core Curriculum:1994). Előnye ott jelenik meg, ha nagy számú adatot kell feldolgozni, és az adatok bemutatásánál jelentős szerepe van a térbeli, földrajzi elhelyezkedésnek. Egyes források szerint (REMETEY et al. 1993) megkülönböztetnek földrajzi információs (térvéleményezés, megjelenítés) és térinformációs (minden szakterületre összefoglalóan) rendszereket, viszont gyakoribb ezek szinonim használata, ezért ebben a dolgozatban magam is ezt követem.

2.1 A térinformációs rendszerek alkalmazásának lehetőségei

A térinformációs rendszerek alkalmazásánál két alapvető funkció határozható meg (Detrekői – Szabó, 1995):

- Térbeli analízis elvégzése,
- Vizuális információk kezelése.

A térbeli analízis a helyhez kapcsolódó kérdések megválaszolását teszi lehetővé. Maquire (1991) szerint az alapvető kérdések:

<i>A kérdés jellege</i>	A kérdés
Helyre vonatkozó	Mi található azon a helyen? (Mekkora a szennyező anyag kibocsátás?)
Körülményekre vonatkozó	Hol van az a ...? (Van-e a pontforrás 300 m-es körzetében lakóház?)
Trendre vonatkozó	Mi változott meg? (Hogyan változott a kibocsátás az elmúlt 3 évben?)
Útvonalra vonatkozó	Melyik a legkedvezőbb út? (Mi a legrövidebb menekülési út havária esetén?)
Jelenségre vonatkozó	Mi a jelenség...? (Milyen hatása lehet a kibocsátott szennyezésnek?)
Modellezéssel kapcsolatos	Mi történik ha...? (Melyik területeket érinti?)

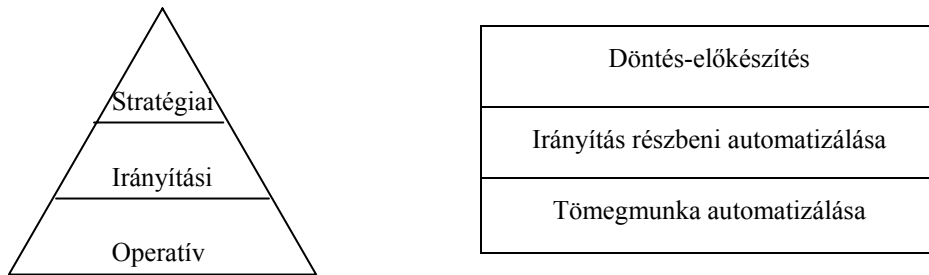
A vizuális információk kezelése során lehetőségünk van a térinformatika alkalmazásával a 2 dimenziós ábrázolás (térképi) helyett a 3D-s megközelítésre, a színeket, vonalak vastagságát, textúrát dinamikusan változtathatjuk, és a térbeli kapcsolatokat sokféleképpen elemezhetjük

2.2 A térinformációs rendszerek alkalmazási szintjei

A térinformációs rendszerek felhasználása általában a következő feladatokra irányul (Detrekői – Szabó, 1995):

- a rutin és tömegmunka automatizálása,
- az irányítás részbeni automatizálása,
- a tervezés, fejlesztés segítése,
- a döntés-előkészítés támogatása.

Ezek a feladatok a különböző szervezetek hierarchiájában a következő döntési szintekhez tartoznak:



1. ábra Döntési szintek és feladatok

2.3 Raszter – vektor modellek

A térinformatikai rendszerek alapvető különbözősége a valós világra alkalmazott adatmodellben nyilvánul meg, mely szerint *raszteres* és *vektoros* rendszerekről beszélhetünk (Füle 1996).

A raszteres modell a vizsgált területet azonos méretű alapelemekre, cellákra bontja, melyben minden cella önálló értékű. A cellákat meghatározott sorrendben, általában a bal felső sarokból kiindulva, sorról sorra kezeli, ezáltal a megadott terület minden pontjára ad információt (fedvényszemlélet). Fő alkalmazási területe a légi és műholdfelvételek feldolgozása.

A vektoros modell a valós világot pontokkal, vonalakkal és poligonokkal, mint alapelemekkel írja le. A vonalak, poligonok vonalszakaszokból épülnek fel. E modellben az alapelemeknek nem kell szükségképpen a vizsgált területet teljesen kitölteni (objektumszemlélet), csak a feldolgozandó objektumokat töltjük be a rendszerbe. Pontszerű objektumok lehetnek például kutak, források, vonalszer objektumok a vízfolyások, törésvonalak, poligonok például települések, területek. E rendszerekben a fedvény szemlélet is érvényesíthető a terület poligonokkal való hiánytalan kitöltésével (pl. levegő szennyezettség értékek megadása egy területen).

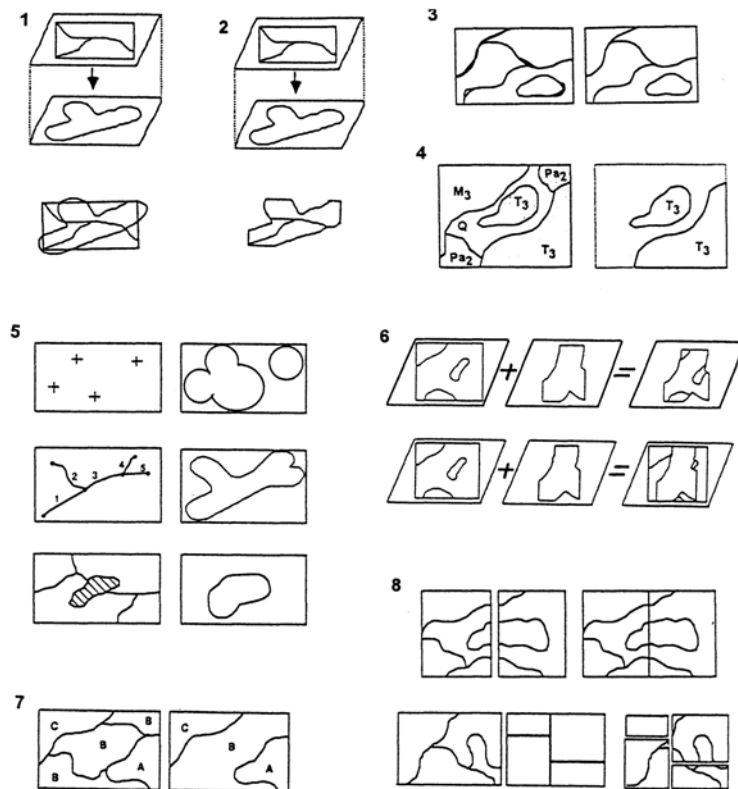
2.4 Térbeli elemzések

A helyzeti és táblázatos adatok kombinálásával tudjuk, a térinformatikai adatbázisunkat létrehozni, amellyel képesek vagyunk az eredmények gyors ellenőrzésére, lekérdezésére, megjelenítésére, elemzések elvégzésére. Az adatokat gyorsan és kényelmesen lehet kezelni, táblázatként kilistázni, térképeket megjeleníteni.

A térinformatikai rendszerek azonban az előzőekben ismertetett műveleteknél bonyolultabb elemzések, döntések megoldására is képesek. Lehetőségünk van a különböző tematikájú és akár eltérő méretarányú térképeket rétegenként, szendvicshez hasonlóan egymásra vetíteni, és komplexen vizsgálni. Egy adott helyre vonatkozóan az összes rétegről lekérdezhajtuk a kért információt. E műveleteket összefoglalóan *átlapolásnak* (overlay) nevezzük.

Az átlapolási műveletek lehetősége a GIS-rendszerekbe beépített. A különféle rendszerek más-más matematikai és számítástechnikai műveleteket alkalmaznak megvalósításukra.

A legfontosabb átlapolási műveletek (2. ábra): 1. únió; 2. közös rész képzése; 3. poligonszilánkok eltávolítása; 4. kiválasztás, új rétegbe sorolás; 5. puffer létrehozása; 6. kivágás; 7. határok feloldása; 8. szelvények összekapcsolása, részekre vágása.



2. ábra átlapolási műveletek

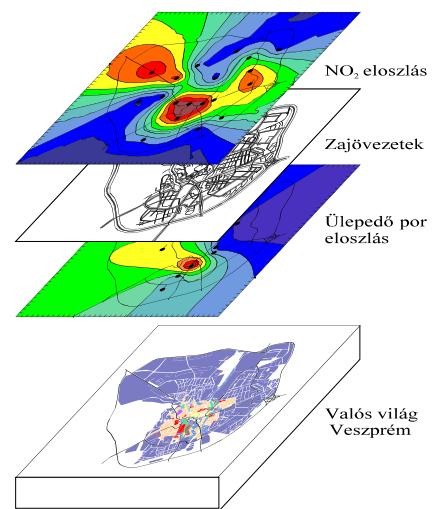
A térinformatikai adatbázisunk felépítéséhez, és a döntéshozatal előkészítéséhez szükségünk van a már előbb említett szendvics-szerű átlapolásra, az ún. tematikus fedvények létrehozására.

Az átlapolt, eredményül kapott fedvény már alkalmas arra, hogy a döntéshozó kritériumai alapján bemutassa a lehetséges megoldásokat.

A grafika-, vagy földrajz-központú adatmodellek függetlenül az implementáció milyenségétől (georelációs, relációs, objektum orientált) az adatmodellek különféleképpen szemléltetik a valós világ jelenségeit.

Vannak modellek melyekben a főszereplők az egyszerű vagy összetett grafikus objektumok (pontok, vonalak, területek és a belőlük létrehozott halmazok), más modellek először az entitások jelentését vizsgálják (terep, növényzet, épületek, utak, stb.) és csak másodlagosan, hogy milyen grafikus alakzattal reprezentálhatók.

A GIS korai fejlődési szakaszában szinte kizárólag grafika-központú modelleket találunk. Ez a jelenség egyrészt a grafika újdonságával magyarázható a hagyományos alfanumerikus



3. ábra a tematikus térképek átlapolása

adatbázisokhoz viszonyítva, másrészt azzal a gyakorlati ténnyel, hogy a néhány grafikus objektumot egyszerűbbnek látszott definiálni (és ez még ma is igaz), mint a földrajzi objektumok kiterjedt halmazát. A grafika-központú modellek a földrajzi objektumok szerinti rendezést a réteg struktúra segítségével próbálták megoldani

2.5 Szoftverek kiválasztása

A feladat jellege meghatározza az alkalmazni kívánt adatmodellt és szoftvert, melynek szempontjai: a feldolgozandó bemeneti adatok tulajdonságai, a megfelelő felbontás és pontosság, az elemzési lehetőségek, számítási sebességek, memóriaigény, tárolás. A környezetvédelmi információkat leginkább térképekről, koncentrációmérésekből szerezhetjük, pont-, vonal- és poligon alapelemként ábrázoltan, tehát a vektoros modellű rendszerek használata e területen talán gyakoribb. Ugyanakkor légi és műholdfelvételek, domborzati adatok feldolgozásához a raszteres rendszereket alkalmazzák inkább. A modernebb szoftverek már lehetőséget biztosítanak a raszter-vektor átmenet megvalósítására is. A következőben felsorolásra kerül néhány vektoros és raszteres rendszer a teljesség igénye nélkül.

- raszter - alapú:
 - GRASS - U.S. Army Corp of Engineers
 - IDRISI - Clark University
 - ERDAS – Erdas

- vektor -alapú:
 - MOSS - U.S. Bureau of Land Management
 - SAGIS - National Park Service
 - ODYSSEY - a Harvard Lab fejlesztette, a Washingtoni Egyetem Földrajzi Tanszéke (Department of Geography, University of Washington) terjeszti
 - ROOTS - Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis, Harvard University
 - ARC/VIEW - ESRI
 - OSU MAP - Ohio State University

- objektum alapú:
 - SICAD – Siemens
 - Smallworld - IBM

3. Döntési alapfogalmak, a döntés folyamata

A döntéstámogató rendszerek logikai alapja, hogy *döntési alternatívák* között kell választania a döntéshozónak. A térinformatikai modellezési eszköz hatékonyan képes támogatni az egyes döntési alternatívák eredményeit. A társadalmi, ökonómiai döntések legtöbbször térbeli természetű, amely ráadásul szoros kapcsolatban van mind a természeti, mind a társadalmi környezettel. A térinformatika a közeljövőben egyre fontosabb szerepet játszik ezen döntési módszerek kidolgozásában és alkalmazási feltételeinek meghatározásában.

Különösen fontos terület az egyes erőforrások-allokációjához (szétosztásához) kapcsolódó döntések (FAO, 1976) problémája. A térinformatikai döntéshozatali rendszerekkel kapcsolatban Eastman (1993) publikált eredményeket. A döntéshozatali rendszerek elméleti leírásával számos szakirodalom foglalkozik. A széles körben használt döntéshozatali terminológiát Rosenthal (1985) határozta meg. Az általa használt nevezéktant az alábbiakban tekintjük át vázlatosan.

Döntés: Valamilyen alternatíva közti választást jelent, ez az alternatíva jelenthet egyfajta cselekvési sorozatot, döntési feltételrendszert stb.

Döntési kritérium: Ez a döntés mérésének és értékelésének az alapja. Ez a kritérium két típust foglal magába: a döntési tényezőket (faktor) és a döntési korlátokat (kényszer).

Döntési tényezők: A döntési tényezők olyan döntési kritériumok, amelyek fokozzák vagy csökkentik egy speciális döntési alternatíva hatását. Ezeket a döntési tényezőket a szakirodalomban döntési változóként (Fiering, 1986) vagy strukturális változóként (Ignisio, 1985) ismerik.

Döntési korlátok: A döntési korlátok határfeltételként szolgálnak az egyes alternatívák figyelembevételkor. A legtöbb esetben a döntési korlátok a logikai (Boolean) térképek esetében "0" értékkel kódolják, míg a döntési korlát alá nem eső területeket "1"-es értékkel. Mivel a döntési korlátok a teljes döntési folyamatot befolyásolják, így gyakran ezt döntési céloknak is szokták hívni.

Döntési szabályok: Azt a folyamatot nevezzük döntési szabályoknak, amelyben az egyes döntési kritériumokat kombináljuk annak érdekében, hogy a döntési célt elérjük. Ez a döntési cél lehet egy egyszerű döntési küszöbnek a felállítása az egyszerű döntési kritérium esetében, ilyen például, ha figyelembe kell venni az utak 1 km-es védőtávolságát. Lehet összetett döntési cél, ahol számos döntési tényezőt és korlátot kell egyszerre értékelni, illetve több célú összetett döntési rendszer, ahol számos tényezőt és több döntési célt kell valamilyen összehasonlító rendszerben kiértékelni és a döntési alternatívát megtalálni.

Általában két döntési szabályt alkalmaznak; az egyik a funkciós döntés, ahol matematikai eljárásokkal hasonlítják össze a döntési alternatívákat, leggyakrabban maximalizálást vagy minimalizálást használva, általános eljárás itt az osztályozás.

A másik döntési szabály a heurisztikus választás, ahol valamilyen döntési funkciót követnek, általánosan használt a válogatási eljárás alkalmazása. Ez utóbbi a térinformatikai döntéstámogató rendszerekben általánosan elterjedten használt.

A döntés tárgya: A döntési szabályok szerkezetét a döntés tárgya határozza meg. A döntés tárgya mintegy perspektívát ad a döntési szabályoknak, amelyben általánosan megfogalmazzák a döntési célokat. Ezek a döntési célok mintegy irányítúként vezérlik a döntési szabályok struktúráját.

Értékelés: Az alkalmazott döntési szabályok aktuális folyamatát hívjuk értékelésnek.

Több tényezős értékelés: Egy speciális döntési cél érdekében értékelünk több döntési feltételt, ezt az eljárást gyakran modellezésnek is hívják. A leggyakrabban két eljárást használnak: a súlyozott lineáris kombináció, illetve egyéni eltérések elemzése (Voogd, 1983; Carver, 1991). A súlyozott lineáris kombináció a térinformatikai alkalmazásokban viszonylag elterjedtebb, mint az utóbb említett eljárás.

Több célú értékelés: A legtöbb döntéshozatali eljárás során egy döntési célt, egy döntési tárgyat kell kielégíteni a döntés meghozatalakor, azonban számtalanszor előfordulhat, hogy több döntési célnak egyszerre kell megfeleltetni a döntési eljárást (Carver, 1991). Ezek a döntési célok lehetnek egymást kiegészítő döntési célok, de ellenkező értelmű, egymással konfliktusban lévő döntési célok is. A kiegészítő döntési célok esetében

egy hierarchikus rendszerben oldják meg a feladatot, ahol az egyes döntési tényezőkhöz döntési súlyokat rendelnek és az így súlyozott döntési tényezőknek a kombinációi segítségével érik el a döntési célt. Az egymással konfliktusban lévő döntési célok esetében egyfajta rangsort alakítanak ki, ez alapján létrejön egy prioritási, fontossági sorrend melynek révén egy kompromisszumos megoldási sorozattal érik el a döntési célok kielégítését (Rosental, 1985).

Bizonytalanság és kockázat: A döntéshozatali folyamatban több hibaforrással kell számolnunk, leggyakrabban azonban két fő típust szoktak vizsgálni: az egyik az adatbázis, a másik a döntéshozatali szabályokból származó bizonytalanság. Az adatbázis bizonytalansági tényezőknél az elsődleges forrás a mérési hiba, például egy terepszintnek a magassági értéke függhet a mérőműszer pontosságától, a mérési eljárástól, az ábrázolás pontosságától, a számítógépes adatátvitel pontosságától és az operátor hibájától. Ezek együttesen egyfajta hibaterjedési folyamatban okoznak egy együttes hibát az adatbázisban. A témával kapcsolatban Detrekői (1991, 1993, 1994) végzett jelentős kutatásokat. Nem minden bizonytalanság kapcsolódik azonban a mérési hibához. Zadeh (1965) az ilyen típusú bizonytalanságok kezelésére a Fuzzy eljárást alkalmazta, amelyben lehetséges a bizonytalansági értékek kezelése. Ez a megközelítés jóval közelebb áll az emberi gondolkodáshoz, mint a már ismert Boolean logikai rétegek kialakítása, amelyeket a szakirodalomban kemény döntéshozatali feltételeknek is hívnak.

A döntéshozatali bizonytalanság: Attól függően, hogy a döntéshozatali folyamatban milyen kritériumokat válogatunk ki, és ezeket milyen súllyal kezeljük és hogyan kombináljuk, az egész döntéshozatali folyamatot szintén terheli egyfajta hiba. Ezt a típusú hibát Alonso (1968) specifikációs hibának hívta. Stoms (1987) részletesen foglalkozik az ún. puha döntési bizonytalanságokkal, amelyeket a Bayes valószínűségi elmélet, illetve a Fuzzy elmélet ír le.

Kockázat: Kockázat alatt annak a valószínűségét értjük, hogy az általunk hozott döntés feltehetően rossz. A kockázat növekszik egyrészt a bizonytalanság eredményeként, másrészt pedig a különböző bizonytalanságok kombinációja révén, például az adatbázis vagy a döntési szabályokból származó bizonytalanságok esetén. Szintén növeli a kockázatot, ha a döntést már eleve valamilyen statisztikai valószínűségi elmélet alapján végeztük, például a Bayes elmélet szerint. A térinformatika döntéstámogatási rendszere három fő területet fog át általában. Ezek nem fontossági sorrendben:

A több tényezős értékelési eljárás, ahol leginkább a súlyozott lineáris kombinációt alkalmazzák.

A következő a több célú föld allokációs eljárás, ahol elsősorban valamilyen kompromisszumos megoldást keresnek a döntési cél elérése érdekében.

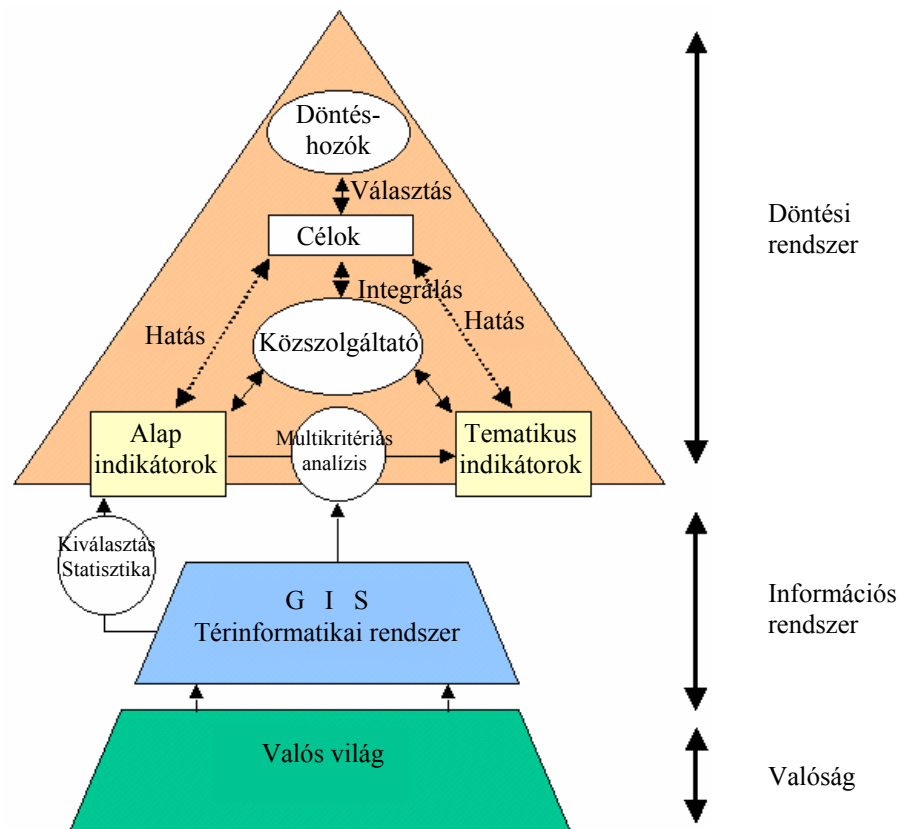
A harmadik csoport a döntési bizonytalanságok és kockázatok kezelése térinformatikai eljárásokkal.

A döntés folyamatát és térinformatikával történő integrációját a következő 4. ábra szemlélteti:

4. A döntések osztályozása térinformatikai szempontból

4.1 Döntési hibák és bizonytalanságok

A döntések során mindig kell kisebb-nagyobb bizonytalansággal számolnunk. Ilyen például a digitális térképek helyezeti bizonytalansága, ami különféle forrásokból származhat. Ez lehet a digitalizálás hibája, a felmérés hibája, az érzékelés hibája, a földrajzi adatok eltérése/illeszkedése a geoidhoz, a térkép projekció tökéletlensége stb. A legtöbb ilyen bizonytalanság a mérőberendezés pontatlanságából és annak ferdeségéből adódik. A legtöbb bizonytalanságot ki lehet hibaként fejteni, de nem mindegyiket. Például földhasználat esetén nem mindig lehet egyes területekről eldönteni, hogy milyen területhasználati kategóriába tartozik. Ezek az esetek a Fuzzy leírásoknál kerülnek előtérbe.



4. ábra térinformatikával támogatott döntési folyamat

A döntési folyamatok során természetesen nem lehet ezeket a hibákat kiküszöbölni, vagy csak igen magas költség és idő ráfordítás árán, de mindenképpen tisztában kell velük lenni, a hibákat kezelni kell és hatásukat figyelembe venni (Márkus 1997).

4.1.1 A hibák és bizonytalanságok kifejezése

Szabályos hiba:

A nem kumulatív szisztematikus hibákat állandó ferdeségként lehet kifejezni, néha eltolásként (offset) utalunk rá.

Kumulatív hibákat, azok összeadódásának arányával jellemezzük. Ezt általában gyarapodásnak (gain) szokás nevezni. Kumulatív hibára példa: egy távolság mérés esetén a hiba aránya 1/3000 vagy 1:3000 ami azt jelenti, hogy 3 km-es térképről történő mérés esetén az eltérés a valóságtól 1 m.

Véletlen hiba:

Szintén származhat mérési hibából, de előtérbe kerülnek a tulajdonságok adataiból származó hibák, amelyek minőségi illetve mennyiségi hibák lehetnek.

Minőségi adatok esetén a mérési hiba általában valószínűségként fejezhető ki, azaz a vizsgált osztály milyen valószínűséggel lesz hibás. Például terület használat esetén a 85 %-os pontosság (a hiba 0.15), azt jelenti, hogy a térképen föld használati osztályok 85 %-a megfelel a valóságnak.

Mennyiségi adatok mérési hibájának normál kifejezése azt mutatja be hogy a mérés milyen arányban fog eltérni a valóságtól. Ennek bemutatására az RMS hibát használják (root-mean-square error, forrás- közép-négyzetes hiba) a hazai jelölése: σ (Csabina Z., Detrekői Á., Márkus B., 1998).

$$\sigma = RMS = \sqrt{\frac{\sum(x_i - t)^2}{n}} \quad \text{ahol } x: \text{ a mérés, } t: \text{ a valóság, } n: \text{ ismétlési szám}$$

Az esetek 68 %-ban $\pm 1 \sigma$ a valóságtól, 95 %-ban $\pm 2 \sigma$, és 99.7 %-ban $\pm 3 \sigma$ en belül van a hiba.

4.1.2 Fuzzy esetek

Ahogy az előzőekben említettem, nem minden bizonytalanság fejezhető ki hibaként. Ilyen például a földrajzi kategóriákba sorolt adatok bizonytalansága (pl. földhasználat). A Fuzzy esetekben egy osztályozást hajtunk végre ott ahol az egyes határok, különböző kategóriák között nem élesen elhatárolhatók.

A hagyományos térinformatikai rendszerek esetében az adatbázist a vizsgálat előtt korrektnek és a hibahatáron belül megfelelőnek fogadjuk el. Kemény döntéshozatali feltételrendszeren belül ún. Boolean algebra segítségével logikai réteket hozunk létre, és logikai műveleteket hajtunk végre az adatbázisban. Ugyan akkor a legtöbb adatbázis nem tudja visszaadni a döntéshozatali folyamatban az adatbázis térbeli bizonytalanságát, nem tudja kezelni a valószínűségi értékeket. A fuzzyfikáció elméleti alapjait Zadeh (1965) dolgozta ki a térbeli elemzések esetében. A fuzzy térbeli elemzés lehetővé teszi, hogy a Boolean algebrában megismert két állapotú döntéshozatallal szemben, azaz bináris alapokon nyugvó "igen" vagy "nem" illetve alkalmas a terület, vagy nem alkalmas a terület illetve "elfogadjuk-e az alkalmazás szempontjából vagy nem fogadjuk el az alkalmazás szempontjából" helyett az emberi gondolkodásnak és az emberi nyelvnek sokkal inkább megfelelő kategóriákat, mint az alacsony, közepes, magas teszi lehetővé egy folyamatos függvény megfeleltetés révén, ahol a függvény típusának megfelelően bármelyik pont különböző valószínűségi szinten, de alkalmas az adott válasz állapotának kifejezésére.

4.2 Döntési alapesetek

A döntési rendszerek variációját a következő ábra mutatja be:

	Egy döntési kritérium	Több döntési kritérium
Egy cél		
Több cél		

5. ábra döntési variációk

Az emberi gondolkodás alapjában véve egy céllal számol, ahol igaz általában több kritérium vesz figyelembe. Egyes dolgokat kizár (korlát/kényszer) más dolgokat alapvetőnek tart. (tényező/faktor). Mindazonáltal a komplex döntési helyzetekben, mint például a környezetvédelemben, soha nem szabad csak egy céllal számolni.

Az 5. ábra alapján a következő döntési eseteket ismertetem:

- egy cél / egy döntési kritérium
- egy cél / több döntési kritérium
- több cél / több döntési kritérium

A több céllal, de egy döntési kritériummal rendelkező rendszerek bemutatásától eltekintek, mert az egy valószínűleg megoldhatatlan kombinációt jelent.

4.2.1 Egy céllal és egy kritériummal rendelkező döntési problémák

Ebben az alapesetben egy bizonyos célt akarunk elérni, amit kizárólag egy kritérium befolyásol. Ez lehet tényező, vagy kényszer. Például: Olyan helyen szeretnék lakni, ahol a levegő porszennyezettsége $x \text{ g/m}^3$ alatt van (tényező), vagy ott lehet építkezést kezdeni ahol nincs tájvédelmi körzet (korlát).

Ez a legegyszerűbb döntési eset. A kritériumok által lehatárolt területen bármely rész a rendelkezésünkre áll (korlát), és mivel nincs további kritérium tetszőleges rész kiválasztható. A tényezők bemutatása után (pl. egy izovonalas levegő szennyezettségi koncentrációs térkép) a döntés végrehajtható.

4.2.2 Egy céllal és több kritériummal rendelkező döntési problémák

Általában a természetben előforduló esetek nem ilyen egyszerűk, ennél összetettebbek. Előtérbe kerülnek a döntési tényezők és korlátok.

A korlátok esetén Boolean algebraival kifejezve készíthetünk ún. kényszer/korlát térképeket, ahol a 0 a kizárt területeket, az 1 a feltételnek megfelelő területeket mutatja.

A tényezők azok a kritériumok, amik folyamatosak a valós világban, ezáltal a döntési helyzetben is e szerint érvényesülnek. (pl.: a levegőszennyezettség koncentráció változása)

A döntési folyamat során választhatunk konzervatív, lineáris kombinációjú, illetve sorrenddel súlyozott átlagú döntési rendszereket.

Konzervatív esetben Boolean határfeltételekre alapozott döntéshozatali eljárásban a kompenzációs lehetőségre nincs lehetőség, azaz az egyes döntési rétegek azonos súllyal estek latba a végső döntés meghozatalánál és minden döntési réteg ún. kemény döntési feltételek mellett született.

A többtényezős döntésvértékelési eljárások közül egy másik, széles körben használt módszer a súlyozott lineáris kombinációs eljárás (weighted linear combination - WLC). A következő lépés elmozdulás abba az irányba, hogy a döntéshozónak lehetősége legyen az egyes rétegek prioritásait figyelembe venni azaz egy döntési folyamatban az összes réteg már ne azonos súllyal essen latba, és ezt a döntési súlyt számszerűen is hozzárendelhesse a döntéshozó az egyes döntési tényezőkhöz. Ennek eredményeképpen a végső eredményréteg az előző döntéshozatali folyamattal, tehát a Boolean algebra alapján végzett döntéshozatali folyamattal összehasonlítva elmozdulást jelent a logikai "ÉS" ("AND - minimum") irányából a logikai "VAGY" ("OR - maximum") művelet felé. Ezzel elkerülve az abszolút konzervatív döntéshozatali megoldást és vállalva egyfajta kompromisszumot, melynek ára a döntéshozatali kockázat növekedése. A döntési súlyok meghatározására több eljárást használtak, azonban általában a Saaty (1977) által leírt analitikus hierarchikus folyamat (AHP) terjedt el, amelynek térinformatikai alkalmazását először Rao et al. (1991) írta le. Az eljárás során egy 9 pontos skálát használtak, ahol "9" értékkel jelölik a szélsőségesen jó, és "1/9" értékkel a szélsőségesen rossz, "7" értékkel a nagyon jó, "1/7" értékkel a nagyon rossz értéket, "5"-tel a jó értéket, "1/5"-el a rossz értéket, "3"-mal a közepesen jó értéket, "1/3"-dal a közepesen rossz értéket és "1"-gyel az egyenlően megfelelő értékeket. Ezen a skálán az egyes döntési tényezőknek a súlyát kellett meghatározni, általában valamilyen szakértői testületnek. Egy további megoldás, amikor egy összehasonlító mátrixot hozunk létre, ahol az "x" és "y" tengely,(a sorok és oszlopok) ugyanazok a döntési tényezők lesznek és a döntéshozóknak ezeket a döntési tényezőket párosával kell összehasonlítaniuk és kiosztani a döntési súlyokat úgy, hogy a döntési súlyok együttes összege nem haladhatja meg az 1,0-t.

A Boolean logikai rétegekre épített döntéshozatali rendszerben a normalizálás, azaz a döntéshozói tényezők azonos skálaértékre hozása két értéket jelentett: "0" vagy "1"-es diszkrét értéket. Ez a továbbiakban nem járható mert a döntési helyzetünket nagyon leszűkítenénk, valamint a tényező típusú kritériumoknál nem is járható. Normalizálásra azért van szükség, hogy a különböző skálájú rétegeket egymásra illeszthessük, és azokat kezelhessük. Ilyen esetekben érdemes a fuzzy osztályozást felhasználni.

A lineáris eljárás előnye, hogy relatív súlyokat tudunk a döntési tényezőkhöz hozzárendelni a döntési folyamatban. Ezeket a döntési súlyokat néha kompromisszumos súlyoknak is hívják, amely jelzi az adott döntési tényező relatív fontosságát a döntési folyamatban. Ezzel a döntéshozó ellenőrizheti, hogy a döntési kompromisszumok, illetve kompenzációk során az egyes döntési tényezők milyen mértékben vegyenek részt a döntési folyamatban. Ahol a döntési tényezőhöz a legnagyobb döntési súlyt rendeljük, ott ez a döntési folyamat során a legnagyobb kompenzációs képességgel rendelkezik a többi tényezőhöz viszonyítva a helyre vonatkozó döntési folyamatokban

A következő technika a többtényezős döntésvértékelési eljárások sorában a sorrenddel súlyozott átlag (Order Weighted Average - OWA). Ez a technika nagyon hasonló a lineáris eljáráshoz. Az adatelőkészítés során ugyanúgy kell alkalmazni az adatok normalizálását, a súlyok hozzárendelése is ugyanúgy történhet folyamatos értékskalák alapján, és használhatunk a döntéshozatal során Boolean döntési korlátokat is. Egy lényeges dologban viszont eltér, mivel egy további súlykészletet rendel a döntési faktorokhoz, ez a sorrendi súlykészlet. A sorrendi súlyok hozzárendelése a döntési faktorokhoz egy további fokozatot jelent a döntési kompromisszumok lehetőségének irányába, amely értelemszerűen együtt jár a

döntési kockázati szintek növekedésével. A Boolean gyakorlatok során megismert eljárásban kemény döntéshozatali feltételek mellett egy döntési tényező esetében választottuk ki az alkalmas és az alkalmatlan területeket. Ez egy logikai "ÉS" ("AND - minimum") műveletnek felel meg, amelynek eredményeként egy konzervatív, kockázatot nélkülöző és kompromisszumot elutasító döntési magatartást képviseltünk. Ennek megfelelően előfordult, hogy nem volt olyan eredmény értékünk, amely az összes döntési tényezőnek és korlátnak a kemény döntési határfeltételek mellett megfelelt volna. A WLC technika lehetővé tette, hogy egy, az alkalmasság szempontjából folyamatos döntési tényező felszint hozunk létre a Fuzzy algebra segítségével, majd ezeket a súlyozott döntési tényezőket kombinálva egy átlagoló technikát alkalmazzunk. Ez az átlagoló technika egyenlő távolságra van a logikai "ÉS", azaz a minimum és a logikai "VAGY", azaz a maximum műveletek között. A logikai "vagy" művelet ebben az esetben egy maximális kompromisszumkereső és ugyanakkor a legnagyobb kockázatot felvállaló magatartásnak felel meg. Az OWA, azaz a sorrenddel súlyozott átlag eljárás lehetővé teszi a döntéshozó számára, hogy ellenőrizze a döntéshozatal kompromisszum szintjét és ugyanakkor a vállalt kockázati szintet is. Ebben a döntési eljárásban a döntési súlyok (Order Weights) egyfajta prioritási sorrend alapján alakulnak ki, ezt a prioritási sorrendet a döntéshozó az alapján tudja meghatározni, hogy mely rétegeket kívánja leginkább bevonni a kompenzációs folyamatokba. Ezek a kompenzációs folyamatok azt jelentik, hogy ha eredetileg az egyes rétegek bevonásával nem találnánk megfelelő megoldást, akkor valamilyen kompromisszum alapján az egyes rétegek egymást kompenzálhatják. A legalacsonyabb alkalmassági sorrend kapja az első sorrendi súlyt, majd a második az alkalmassági sorrendben a második sorrendi súlyt, és így tovább.

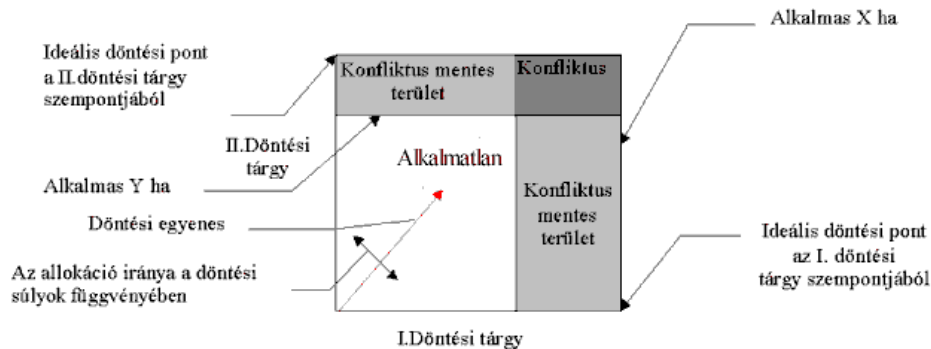
4.2.3 Több céllal és több kritériummal rendelkező döntési problémák

Az előzőekben olyan többcélú értékelési rendszert tanulmányoztunk, amelynek egy döntési tárgya volt. Nagyon gyakran olyan döntéshozatali problémával állnak szemben a döntés előkészítők, amikor több döntési célt kell kielégíteni, amelyek egymással konfliktusban vagy egymást kiegészítő viszonyban állnak. A normál szituációkban maximum 2 vagy 3 ilyen döntési célt kezelünk egyszerre. Az egymást kiegészítő döntési tárgyak esetében Carver (1991) egy hierarchikus többtényezős értékelési rendszert javasol, amely gyakorlatilag egyezik technikájában a már tárgyalt súlyozott lineáris kombinációs eljárásokkal, ahol döntési súlyok segítségével egy prioritási sorrendet állítunk fel a különböző döntési célok esetében, majd ezeket kombináljuk. Az egymással konfliktusban levő döntési tárgyak esetében a helyzet összetettebb, mivel a földallokáció során mindenképpen egymást kizáró feltételek, döntési tényezők és korlátok vannak. Itt egy lehetséges megoldás a döntés tárgyának prioritása (Rosenthal, 1985).

A prioritáció mellett gyakran használt a különböző kompromisszumos megoldások keresése is. A kompromisszumos megoldások matematikai kivitelezését elsősorban a lineáris programozási eljárások jelentik (Diamond és Wright, 1988; Chambell et al., 1992). A létrehozott alkalmassági térképeket egy többdimenziós tér tengelyeként képzelhetjük el.

Az egyszerűsítés kedvéért két külön döntési tárgyat vizsgálunk meg. Az eredményrétegben minden egyes raszteres cellát a döntési térnek megfelelően szét kell osztanunk az alkalmassági szintnek megfelelően. Ha az egyik döntési tárgy érdekében "x" hektárt kell leválogatnunk és a másik döntési tárgy érdekében "y" hektárt, akkor a vizsgálati területen lesznek olyanok, amelyek az egyik döntési tárgy szempontjából megfelelőek, lesznek olyanok, amelyek a másik döntési tárgy szempontjából megfelelőek, és lesznek olyan cellák, amelyek mindkét döntési cél szempontjából megfelelőek, ill. olyanok, amelyek egyik döntési tárgy szempontjából sem megfelelő. A döntési megoldást egy folyamatos iterációs eljárással

hajthatjuk végre, ahol a két döntési tárgyat az "x" és "y" tengelyként tételezhetjük fel (6. ábra). Természetesen, mint említettük, ahány döntési tárgy, annyi döntési tengelyt tételezhetünk fel a döntési térben; jelen esetben azonban kettőt vettünk alapul. A két döntési tárgy origójából egy döntési egyenest húzhatunk meg, amely ha 45°-os értéket vesz fel, akkor azonos súllyal sikerült megoldanunk a konfliktust.



6. ábra döntési variációk 2

A legtöbbször azonban a konfliktusok nem azonos súllyal esnek latba a két döntési tárgy között. A két döntési tárgy maximum értéke adja az egyes döntési tárgyak szempontjából optimális döntési pontot. A döntési egyenes legnagyobb értéke pedig a konfliktus legnagyobb értékét adja meg kettéválasztva a konfliktusmentes területeket, az egyes döntéshozatali tárgyaknak megfelelően.

Természetesen itt is első lépésben normalizálni kell a döntési feltételeket egy többletényező döntéshozatali értékelési rendszerben, mint azt már az előzőekben bemutattuk.

5. Példák a nagyvilágból

A Core Curriculum szerint a térinformatikai tevékenységek főbb csoportjai az alábbiak:

1. "Érett", hosszabb idő óta kifejlesztett technológiák, amelyek a térinformatikával kölcsönkapcsolatban vannak

- földmérés és mérnöki tevékenység
- térképészet
- távérzékelés

2. Menedzsment és döntés előkészítés

- erőforrás nyilvántartás és menedzsment
- várostervezés (Városi Információs Rendszerek)
- földhivatali nyilvántartás az adózás és tulajdon ellenőrzése érdekében
- közműnyilvántartás
- marketing és kiskereskedelmi tervezés
- járművek útvonala és menetrendje (forgalomszervezés)

3. Tudományos és kutatási tevékenység egyetemeken és állami kutató-intézetekben, laboratóriumokban

A következő hazai és külföldi példák témámból adódóan a 2. csoportba tartoznak, és a döntés előkészítő-, támogató alkalmazásokat reprezentálják. Ezenkívül természetesen sok más példát is fel lehetne hozni, azonban a disszertációm elkészítéséhez ezeket tartom fontosnak.

A **DRASTIC** módszert (ALLER et al., 1987), amely világ egyik legismertebb sérülékenységet értékelő rendszere, az Egyesült Államok Környezetvédelmi Hivatala (EPA) fejlesztette ki 1987-ben. A felszín alatti víztartók, vízbázisok sérülékenységét fejezi ki. A módszer hét tényezőt vizsgál, amelyek a víztükör felszín alatti mélysége, beszivárgás a víztartóba, a víztartó anyaga, a talaj anyaga, a lejtésviszonyok, a telítetlen zóna hatása, a víztartó vízvezető képessége, amelyek angol kifejezéseiből adódott mozaikszó a DRASTIC.

A Veszprémi Egyetemen Füle László készített kandidátusi értekezést (Füle, 1997), amely a felszín alatti víztartók sérülékenységi vizsgálatát nagy méretarányú térinformatikai adatbázison alapuló rendszerré fejlesztette, és a balatonfüzfői teszterületen a külföldi módszerek alkalmazhatóságát bemutatta.

A karsztforrások vízgyűjtőire kidolgozott EPIK módszer (Dörflinger & al. 1999) mindössze négy tényezővel dolgozik. Ezek: az epikarszt, fedő rétegek, beszivárgási viszonyok, és a karsztos repedéshálózat fejlettsége. Hazai alkalmazását Német N. (2000) mutatta be.

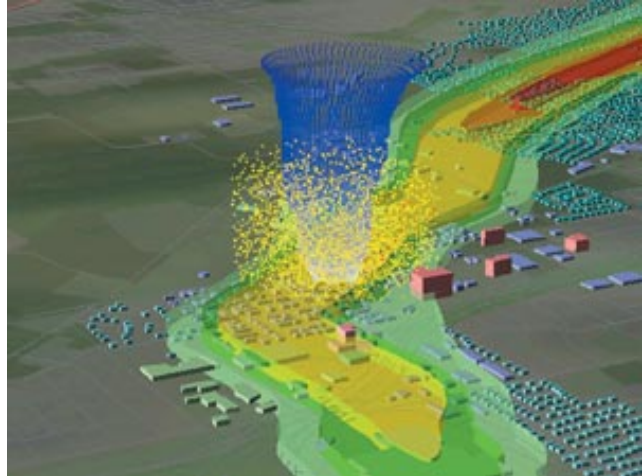
Városi stratégiai térképek:

Az MTA Földrajztudományi Kutató Intézetben kidolgozott stratégiai térképek (Tózsá I.) Budapest VIII. kerületét, Józsefvárost mutatják be. A tanulmány a különböző városi szennyező anyagok eloszlását, összhatását dolgozza fel. További kutatások folytak a Teréz-, és az Erzsébetváros talajvizeinek felméréséről, valamint a Ferencvárosi területeken a forgalom és zajhatásairól. Legfontosabb számomra a különböző tényezők értékelése, döntési mátrixban való elhelyezése volt. Az előző forrásokat felhasználva dolgoztam ki, diplomamunka keretében az **IMPACT** városi környezet minősítő rendszert, beleértve a szennyező komponenseket, azok értékelési rendszerét, és döntési súlyát. Az IMPACT - mint hatás, hatások összessége - egy mozaikszó, a különböző szennyező anyagok, környezeti hatások angol megfelelőjéből adódott. A rendszer lényege a soktényezős térképszintézis volt.

A **FŐKIR** azaz a Fővárosi Környezeti Információs Rendszer 1999-óta segíti a Főpolgármesteri Hivatal környezetvédelmi dolgozóit. A rendszer kiterjed a védett természeti értékekre, az ipar, és lakosság által kibocsátott levegő-, zajemisszióra a kialakult imisszióra, Hulladékokra, talajszennyezésre stb. Segítséget nyújtanak a működéshez a folyamatos monitoring berendezések (71 ponton NO_x és SO₂ mérések).

A külföldi példák egyik jeles képviselője Kurt Fedra által kidolgozott ECOSIM Városi Környezetvédelmi Menedzsment Információs Rendszer integrálja a monitoring, megfigyelő rendszereket és a szimulációs modelleket egy városi területen a környezetvédelmi döntéshozás elősegítésének érdekében. A projekt Internet által összekapcsolt kliens-server felépítésű, amibe beletartozik a városokban elhelyezett monitoring berendezések, adatfeltöltő állomások és a modellező részek. A vizsgált szennyezők: a közlekedés és ipar okozta levegőszennyezés beleértve a fotokémiai szmogot, a parti, felszíni és felszín alatti vizek minőségét.

Ezekon kívül csak említés szinten sok más alkalmazás közül: A texasi Dallas- Fort Worth Hurrikán figyelő, előrejelző rendszer, a tragikus 2002 szeptember 11-i New York-i terrortámadás után összeállított, közmű, adatszolgáltató rendszer, a floridai Nemzeti Parkok állomány nyilvántartó és gazdálkodó rendszere, de említhetnénk az egyre jelentősebbé váló GPS-en alapuló on-line útvonal kereső, valamint a telekommunikációs rendszereket is.



7. ábra tornádó útmodellező rendszer

6. Összefoglalás, Jövőkép

Környezetünk védelmével és a növekvő ipari termeléssel kapcsolatban, számos esetben merül fel annak igénye, hogy az ipari tevékenységek környezetvédelmi szempontból is befolyásolhatók legyenek. Ennek érdekében olyan, a környezet védelmét előtérben tartó rendszereket hoznak létre a vállalatok, hogy döntéseiket minél részletesebb alapadatokra támaszkodva, a környezeti és társadalmi igényeknek megfelelően, az emberi érdekek figyelembe vételével tudják meghozni. A térbeli szemléletesség és a gyors adatfeldolgozás érdekében ún. térinformatikai rendszereket használnak, amelyek a korszerű információtechnológia új eredményeit használják fel. A GIS segítségével a helyzeti és leíró adatok azonos rendszerben szemlélhetők, beleértve az alapadatokat vagy a különféle modellekből származó eredményeket.

Dolgozatomban megkíséreltem bemutatni a jelenleg használt térinformatikai rendszerek lehetőségeit, végigvezetni a döntési folyamatok lehetőségeit, és hazai, külföldi példákon keresztül bizonyítani alkalmazhatóságukat.

Az információs technika, számítógépes infrastruktúra fejlődése lehetővé teszi, hogy az eddig élesen elkülönülő raster-vektor alapú szoftverek helyett ún. hibrid szoftvereket használjunk megfelelő gyorsasággal (digitális ortofotóra vetített vektoros területlehatárolások).

Egyre jobban előtérbe kerül a „lágy” döntési rendszerek alkalmazása (fuzzy) a „kemény” rendszerek helyett. Ez bár kis mértékben növeli a döntés kockázatát, mégis lehetőséget nyújt a finomhangolásra, a több szempontból nem a kizárólagos, hanem az optimális döntés meghozatalára.

További fejlődést jelent az adatátviteli sebességek emelkedése, az internet, intranet hálózatok növekedése, ami elősegíti az on-line, azonnali rendszerek fejlődését. Ez lehetővé teszi az azonnali adatgyűjtést, az ezt követő szimulációt, csökkenti a válaszadási, reagálási időt, és nagy mértékben hozzájárul az operatív döntéshez.

Irodalomjegyzék

1. ARC/INFO Command references.- Environmental Systems Research Institute, Inc., Redlands, CA USA, 1991.
2. ARC/INFO Maps 1991 - ESRI, USA, 1992.
3. Batty, M., Densham, P. J.: Decision Support, GIS, and Urban Planning, 1996
http://www.geog.ucl.ac.uk/~pdensham/SDSS/s_t_paper.html
4. Bogdán O.: Veszprém környezeti állapotának felmérése térinformatikai módszerekkel, diplomadolgozat Veszprémi Egyetem, 1997
5. Csabina, Z. - Detrekői, Á. - Márkus B.: Térinformatikai menedzsment, DLG jegyzet, SE FFFK, 1998.
6. Detrekői Á., Szabó Gy.: Bevezetés a térinformatikába. - Nemzeti tankönyvkiadó, Bp., 1995.
7. Doerfliger, N., Jeannin, P.-Y., Zwahlen, F.: Water vulnerability assessment in karst environments: a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method), Environmental Geology, 1999
8. Environmental Systems Research Institute. INC: ARC 6,0 Command References I,II,1988
9. Eastman, J. R., Kyem, P., Toledano, J., Jin, W.: UNITAR Exploration in GIS Technology, GIS and Decision Making,1993
10. Fedra, K.: ECOSIM An Urban Environmental Management Information System, Telematics, <http://www.rec.org/REC/Programs/Telematics/DETERMINE/AirSession/Kfedra.html>
11. Füle L.: A DRASTIC sérülékenységi értékelés alkalmazhatósága a magyarországi víztartó rendszerek védelmében - Földtani Kutatás, 1997.
12. Füle L.: A földrajzi információs rendszerek alkalmazási példái a földtudományok területén, Földtani közlöny 126/2-3, 287-312
13. Füle L.: Víztartók térinformatikai adatbázison alapuló sérülékenységi vizsgálata Balatonfüzfő térségében – Kandidátusi értekezés,1997.
14. Gaál Z.: A döntéshozatal alapjai, Veszprémi Egyetem, jegyzet, 1989
15. Hussy, C.: Information and Decision Support Systems for Management of Integrated Urban Civil Engineering – <http://ecolu-info.unige.ch/recherche/COST/>
16. Kertész Á.: A térinformatika és alkalmazásai, Holnap kiadó, 1997
17. Kollányi L., Prajczar T.: Térinformatika a gyakorlatban. - Bp., 1995.
18. Kovács B., Szabó I.,: A szennyezőanyagok terjedése. - "Ipar a környezetért" Alapítvány, Bp.,1995.
19. Környezetvédelmi Lexikon - Akadémiai Kiadó, Bp., 1993.
20. Magyar I.: Térinformatika környezeti menedzsereknek. - Kézirat, VE Környezetmérnöki és Kémiai Technológia Tanszék, Veszprém, 1995.
21. Márkus B. (szerk.):Térinformatikai alapismeretek. NCGIA Core Curriculum. - Erdészeti és Faipari Egyetem Földmérési és Földrendezési Kar, Székesfehérvár, 1994.

22. Márkus B.: Decision support and error handling in GIS environment, Multi critéria decision making in GIS, Sopron, 1997, <http://geoinfo.cslm.hu/staff/markus/habil/h15.html>
23. Nagy Á., Révész T., Szabados M. I.: Fővárosi Környezetvédelmi Információs Rendszer, Térinformatika, 2002/1
24. Németh N.: Egy bükki karsztos vízbázis EPIK módszerrel végzett sérülékenységi térképezésének tapasztalatai, Földtani kutatás 38. Évfolyam 1 szám
25. Rey, U., Jürgens, G., Weller, A.: Üzemi környezeti információs rendszerek, Umwelt Bd, 1998
26. Sárközy F.: A GIS adatmodell harmadik évtizede, Geomatikai közlemények IV, 2001
27. Szabados M. I.: Légszennyezés, levegőminőség a fővárosban, Térinformatika, 2002/3
28. Szűcs I., Kováts A., Serédi Á., Eröss M.: Ipari környezetvédelem - Miskolc 1993
29. Tamás J.: Térinformatika I-II, Debreceni Egyetem Mezőgazdaságtudományi kar, jegyzet, 2000
30. Tózsza I.: A környezetvédelem hídfőállásai - Műhely, MTA Földrajztudományi Kutató Intézet, Bp., 1991.
31. Tózsza I.: A térinformatika alkalmazása a természeti és humán erőforrás gazdálkodásban, Aula kiadó Bp, 2001
32. Tózsza I.: Egészségügyi környezetinformációs rendszer Budapesten - Földrajzi Értesítő XLIII. évf, 3-4. füzet, pp 351-363., 1994.
33. Tózsza I.: Városföldrajzi térinformációs rendszer alkalmazása ferencvárosi teszterületen - Földrajzi Értesítő XLV. évf, 1-2. füzet, pp 55-72., 1996.
34. Understanding GIS. The ARC/INFO Method. - Environmental Systems Research Institute, Inc. - Redlands, CA USA, 1990.
35. Yoon, J.: Watershed-Scale Nonpoint Source Pollution, AWRA symposium on GIS and water resources, 1996