

Nyugat-Magyarországi Egyetem  
Roth Gyula Erdészeti és Vadgazdálkodási Tudományok Doktori Iskola  
Erdészeti Tudomány Program

**INFORMATIKA  
AZ ERDÉSZETI FELTÁRÓHÁLÓZATOK  
TERVEZÉSÉBEN ÉS NYILVÁNTARTÁSÁBAN**

Doktori (PhD) értekezés

Készítette:  
Markó Gergely

Témavezető:  
Dr. Péterfalvi József PhD  
egyetemi docens

Sopron, 2006.



**INFORMATIKA**  
**AZ ERDÉSZETI FELTÁRÓHÁLÓZATOK**  
**TERVEZÉSÉBEN ÉS NYILVÁNTARTÁSÁBAN**

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében

Nyugat-Magyarországi Egyetem  
Roth Gyula Erdészeti és Vadgazdálkodási Tudományok Doktori Iskola  
Erdészeti Tudomány Program

Készítette: Markó Gergely

Témavezető: Dr. Péterfalvi József PhD egyetemi docens

Elfogadásra javaslom (igen/nem)

.....  
aláírás

A jelölt a doktori szigorlaton 91,66%-ot ért el.  
Sopron, 2003. november 28.

*Dr. Márkus Béla*  
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen/nem)

Első bíráló ..... igen/nem

.....  
aláírás

Második bíráló ..... igen/nem

.....  
aláírás

Esetleg harmadik bíráló ..... igen/nem

.....  
aláírás

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján %-ot ért el.

Sopron,

.....  
a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése

Sopron,

.....  
az EDT elnöke



*Dr. Markó Lajos emlékének*



# Kivonat

## **Informatika az erdészeti feltáróhálózatok tervezésében és nyilvántartásában**

A dolgozat az erdőfeltárás aktuális tervezési feladatainak megoldására kifejlesztett hatékony eljárásokat ismerteti. A szerző az Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Tanszéken alkalmazott módszereket a geoinformatika eszköztárával fejlesztette tovább.

A jelentős értéket képviselő erdészeti feltáróhálózatok nyilvántartására a szerző az általa definiált *erdészeti ügyi információs rendszer (EUIR)* kialakítását és működtetését javasolja. Az EUIR egy olyan speciális geoinformációs rendszer, amely a feltáróhálózatot ábrázoló térképi és a feltáróhálózathoz kapcsolódó leíró adatok, valamint azok kezelésére kifejlesztett algoritmusok segítségével döntéstámogató funkciókat nyújt a feltáróhálózat fenntartásához és fejlesztéséhez, hatékonyabbá teszi a szállításszervezési munkákat, továbbá hozzájárul a magasabb szintű vevőkiszolgáláshoz.

Az Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Tanszék kutatói az Erdő- és Fahasznosítási Regionális Egyetemi Tudásközpont keretén belül a Szombathelyi Erdészeti Zrt. feltáróhálózatának teljes ügyi információs rendszerét a dolgozatban megfogalmazott elvek szerint alakítják ki.

Magyarország erdőterületeinek feltártsága alacsony. A közeljövőben várható európai uniós pályázati lehetőségek megjelenésével a feltáróhálózatok folyamatos bővítésére lehet számítani. Az újonnan épülő utak a tartamos erdőgazdálkodás céljainak azonban csak akkor felelnek meg, ha a komplex szemlélettel kialakított feltáróhálózat-tervben kijelölt nyomvonalakat követve valósulnak meg. A dolgozat ismerteti a geoinformatikai alapokon nyugvó dinamikus feltáróhálózat-tervezési módszert, amelynek alkalmazásával a különböző érdekek és korlátok egyidejű figyelembevételével alakíthatjuk ki a feltáróhálózat tervét. A tervezési módszer rövid időn belül több variáció kidolgozását, objektív összehasonlíthatóságát, majd dinamikus aktualizálhatóságát is lehetővé teszi.

Az Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Tanszék az ismertetett módszer hatékonyságát két jelentősen eltérő méretű és jellegű erdőtümb feltáróhálózat-tervének elkészítésével bizonyította.

Az erdészeti utak építésének engedélyezési eljárása a közelmúltban jelentősen módosult. A szerző a megváltozott tervezési körülményeknek megfelelően, a korszerű informatikai és geodéziai technológiák kihasználásával az erdészeti utak tervezési eljárását továbbfejlesztette, illetve az újszerű tervezési eljárás elveinek megfelelő interaktív grafikus úttervező programot fejlesztett ki.

A dolgozatban ismertetett eljárással és a kifejlesztett maCADam szoftverrel az Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Tanszék összesen mintegy 80 km erdészeti feltáróutat tervezett. A programot az oktatásban és a közúti gyakorlatban is sikerrel alkalmazzák.





# Abstract

## **Information Technology in Planning and Recording of Forest Opening Up Networks**

This paper introduces new technologies for the actual problems of the hungarian forest opening up planning field. New developments were made in three topics:

- Setting up and operating forest road geoinformation systems.
- Dynamic planning method of forest road opening up networks.
- Computer aided desing of forest roads.

Practical results of the research work:

- With the Regional University Knowledge Centre's support, the Szombathely Forestry Closed Company in cooperation with the Department of Forest Opening Up and Hydrology started setting up his forest road GIS registration system.
- The Department of Forest Opening Up and Hydrology proved the effectiveness of the dynamic planning method via creating forest opening up plans in two different areas.
- The author improved the designing process of the forest roads and developed the maCADam computer aided road designing software. Approximately 80 kilometres of forest roads were designed with this new technologies.



# Tartalomjegyzék

<b>1. Bevezetés</b>	<b>15</b>
1.1. Témaválasztás . . . . .	15
1.2. A dolgozat felépítése . . . . .	16
1.3. A geoinformációs rendszerekről általában . . . . .	18
1.3.1. A geoinformációs rendszerek felépítése . . . . .	18
1.3.2. Modellalkotás . . . . .	19
1.3.3. Raszteres adatmodell . . . . .	19
1.3.4. Vektoros adatmodell . . . . .	20
1.3.5. Domborzatmodellek . . . . .	20
1.3.5.1. Raszteres domborzatmodellek . . . . .	20
1.3.5.2. Vektoros domborzatmodellek . . . . .	21
1.3.5.3. Domborzatmodellek előállítás . . . . .	21
1.3.5.4. Magyarországon beszerezhető domborzatmodellek . . . . .	22
1.4. Geoinformációs rendszerek az erdőgazdálkodásban . . . . .	22
1.5. Geoinformációs rendszerek a közutak nyilvántartásában . . . . .	23
1.5.1. Helyazonosítás megvalósítása . . . . .	23
1.5.2. Térképi adatok megjelenítése . . . . .	23
1.5.3. Út leltár adatok tárolása . . . . .	24
1.5.4. Híd alrendszer . . . . .	24
1.5.5. Pályaszerkezeti alrendszer . . . . .	25
1.5.6. Állapotadatok . . . . .	25
1.5.7. Szoftver elemek . . . . .	25
<b>2. Erdészeti ügyi információs rendszerek</b>	<b>27</b>
2.1. A feltáráshálózat környezetének ábrázolása . . . . .	27
2.1.1. Az erdőterület digitális térképe . . . . .	27
2.1.2. Közúthálózat . . . . .	27
2.1.3. Domborzat . . . . .	28
2.2. A feltáráshálózat térbeli megjelenése . . . . .	29
2.2.1. A feltáráshálózat topológiája . . . . .	29
2.2.2. Úttengelyek ábrázolásához felhasznált alapadatok . . . . .	30
2.2.2.1. Utak felmérése mérőállomással . . . . .	30
2.2.2.2. GPS technológia úttengelyek felmérésében . . . . .	30
2.2.2.3. Digitális üzemtervi térképek felhasználása . . . . .	32
2.2.3. Jellemző pontok ábrázolása . . . . .	33
2.2.4. Úttengelyek vonalvezetésének rekonstruálása . . . . .	33
2.3. Az EUIR-ben rögzítendő leíró adatok . . . . .	34
2.3.1. A szakaszokhoz rendelt elsődleges adatok . . . . .	34
2.3.2. Leltári adatok . . . . .	35
2.3.3. Műtárgyak, egyéb objektumok adatai . . . . .	35
2.3.4. Forgalmi adatok . . . . .	35
2.3.4.1. Mértékadó típusjárművek . . . . .	36
2.3.4.2. Gravitációs körzetek . . . . .	36
2.3.4.3. Leszállítandó fatérfogat . . . . .	37
2.3.4.4. A szakaszok saját forgalma . . . . .	38
2.3.4.5. A szakaszok hálózati forgalma . . . . .	39

2.3.5.	Állapotadatok . . . . .	39
2.3.5.1.	A burkolat állapotának meghatározása . . . . .	40
2.3.5.2.	Pályaszerkezeten kívüli részek . . . . .	40
2.3.5.3.	Behajlásmérés . . . . .	40
2.3.5.4.	Fényképek készítése . . . . .	41
2.3.5.5.	Az állapotadatok tárolása . . . . .	42
2.3.5.6.	Az állapotadatok értékelése . . . . .	42
2.4.	Az EUIR, mint az útfenntartási rendszer alapja . . . . .	45
2.4.1.	Az útfenntartási rendszer célja . . . . .	45
2.4.2.	Az útfenntartási tevékenységek . . . . .	46
2.4.3.	A pályaszerkezet leromlásának modellezése . . . . .	46
2.4.4.	A mértékadó behajlás értékelése . . . . .	48
2.4.5.	Pályaszerkezet-megerősítés tervezése . . . . .	48
2.4.5.1.	A megerősítés javasolt időpontja . . . . .	49
2.4.5.2.	A megerősítés javasolt élettartama . . . . .	50
2.4.5.3.	A felújítás javasolt stratégiája . . . . .	52
2.4.6.	A burkolat felületi állapota, a járhatóság . . . . .	52
2.4.7.	A burkolaton kívüli részek állapota . . . . .	53
2.4.8.	Javaslat a beavatkozásokra . . . . .	54
2.5.	Az EUIR, mint a logisztikai rendszer alapja . . . . .	56
2.5.1.	A logisztikáról általában . . . . .	56
2.5.2.	A feltáráshálózaton megjelenő szállítójárművek elemzése . . . . .	57
2.5.3.	Szállításszervezés . . . . .	58
2.5.4.	Digitális készletnyilvántartás . . . . .	60
2.5.5.	Navigációs támogatás, útvonal-optimalizálás . . . . .	61
2.6.	Az EUIR aktualizálása . . . . .	62
2.7.	Gyakorlati eredményeink . . . . .	63
2.8.	További kutatási elképzelések . . . . .	63
<b>3.</b>	<b>Dinamikus feltáráshálózat-tervezés</b>	<b>65</b>
3.1.	A feltáráshálózat-tervezésről általában . . . . .	65
3.1.1.	Feltáráshálózatok tervezése Magyarországon . . . . .	65
3.1.2.	A feltáráshálózat-tervezés jövőbeni feladatai . . . . .	66
3.2.	A feltáráshálózat-tervezés lépései . . . . .	67
3.2.1.	A feltáráshálózat kialakítását befolyásoló igények felmérése . . . . .	67
3.2.2.	Tervezési terület terepi bejárása . . . . .	67
3.2.3.	Geoinformációs rendszer kialakítása . . . . .	68
3.2.4.	Pozitív és negatív kardinális pontok, területek kijelölése . . . . .	68
3.2.5.	A feltárási koncepció . . . . .	69
3.2.6.	Feltáráshálózat-variációk tervezése . . . . .	72
3.2.7.	Feltáráshálózat-variációk értékelése . . . . .	73
3.2.8.	Konzultáció az érintett szervezetekkel . . . . .	75
3.2.9.	A javasolt variáció megvalósíthatóságának terepi vizsgálata . . . . .	76
3.2.10.	A javasolt feltáráshálózat elemzése . . . . .	76
3.3.	Dinamikus feltáráshálózat-tervezés a gyakorlatban . . . . .	77
<b>4.</b>	<b>Erdészeti utak számítógéppel támogatott tervezése</b>	<b>79</b>
4.1.	Erdészeti utak tervezésének folyamata . . . . .	79

4.1.1.	Erdészeti utak építésének engedélyezési eljárása . . . . .	80
4.1.2.	Előkészítő tevékenységek . . . . .	81
4.1.3.	Előtervezés . . . . .	84
4.1.4.	Végleges tervezés . . . . .	89
4.1.5.	Befejező tevékenységek . . . . .	90
4.2.	Erdészeti utak tervezéséhez felhasználható szoftverek . . . . .	91
4.2.1.	Az AutoCAD általános tervező program . . . . .	91
4.2.2.	A piacon elérhető úttervező programok . . . . .	91
4.2.3.	Fejlesztések az Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Tanszéken . . . . .	91
4.3.	A maCADam erdészeti úttervező program . . . . .	92
4.3.1.	A program felépítése . . . . .	93
4.3.2.	Tervek használata . . . . .	94
4.3.3.	A Helyszínrajz ablak felépítése . . . . .	94
4.3.4.	Terepi mérések importálása és megjelenítése . . . . .	95
4.3.5.	TIN terepmodell generálása . . . . .	96
4.3.6.	Mintakeresztshelvények tervezése . . . . .	98
4.3.7.	Túlemelés és szélesítés számításának beállításai . . . . .	98
4.3.8.	Helyszínrajzi tervezés . . . . .	99
4.3.8.1.	A helyszínrajzi tengely számításának elve . . . . .	99
4.3.8.2.	A helyszínrajzi tengely valósidejű grafikus tervezése . . . . .	100
4.3.9.	Hossz-szelvény tervezés . . . . .	102
4.3.9.1.	Hossz-szelvény terepvonal előállítása . . . . .	102
4.3.9.2.	Pályaszint számítása . . . . .	102
4.3.9.3.	Tervezés a Hossz-szelvény ablakban . . . . .	103
4.3.10.	Keresztshelvények tervezése . . . . .	104
4.3.10.1.	Keresztshelvény-terepvonalak előállítása . . . . .	104
4.3.10.2.	Keresztshelvények megjelenítése . . . . .	105
4.3.11.	Földtömegszámítás . . . . .	106
4.3.11.1.	Töltési és bevágási területek meghatározása . . . . .	106
4.3.11.2.	Földtömegeloszlás ábrázolása . . . . .	107
4.3.12.	Befejező lépések . . . . .	108
4.4.	Az ismertett tervezési eljárás gyakorlati alkalmazása . . . . .	108
4.4.1.	Korszerű módszerekkel tervezett vonalas létesítmények . . . . .	108
4.4.2.	Számítógépes úttervezés az oktatásban . . . . .	109
4.5.	További fejlesztési elképzelések . . . . .	109
<b>5.</b>	<b>Befejezés</b> . . . . .	<b>111</b>
5.1.	Összefoglalás . . . . .	111
5.2.	Tézisek . . . . .	112
5.3.	Köszönetnyilvánítás . . . . .	113
	<b>Hivatkozások</b> . . . . .	<b>115</b>



„Ahol az erdős hegyvidékek műszaki értelemben állandó szárazföldi utakkal feltárva nincsenek, s a fatermékek forgalma a vízi utakra, az annyira kétes óra, a szánutakra vagy az időjárás szeszélyétől befolyásolt, egyéb szállítóeszközökre szorul, ott az erdőgazdaság az évszázados eljárások és jórészt a kiterjedt tarvágások olyan nyűge alatt szenved, melynek hátrányos következményei minden ágában elég károsan nyilatkoznak meg!”

Kaán Károly, 1902.

## 1. Bevezetés

### 1.1. Témaválasztás

Egyetemi tanulmányaimat – mint lelkes madarász – azzal a határozott szándékkal kezdtem el, hogy végzett erdőmérnökként majd a természetvédelem szolgálatába állok. Az alma materben eltöltött évek alatt azonban érdeklődési köröm fokozatosan bizonyos műszaki jellegű tárgyak – előbb a geodézia és a térinformatika, majd az erdészeti úttervezés – irányába tolódott el. Erdőfeltárási szakirányos hallgatóként megismerkedve a számítógépes úttervezéssel, izgalmas kihívásnak tűnt egy interaktív, a számítástechnika lehetőségeit minél jobban kihasználó úttervező program megírása. Kezdeti próbálkozásaimat az Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Tanszék oktatói – jelenlegi kollégáim – felkarolták, melynek eredménye egy sikeres TDK dolgozat, majd diplomamunka elkészítése lett.

Az Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Tanszék munkatársaként – a nagyszámú alkalmazott kutatás jellegű külső megbízásnak köszönhetően – az erdőfeltárási tevékenységek meglehetősen széles spektruma nyílt meg előttem. Dr. Kosztka Miklós vezetésével kollégáim ekkorra a rendszerváltást (és a digitális technológiák elterjedését) követő új kihívásoknak megfelelő *elméleti* alapokat a Tanszéken egységes, logikusan felépített rendszerben kidolgozták, ám azok *gyakorlati* megvalósítását illetően kevés készség szinten alkalmazott megoldással rendelkeztek.

Így tehát, mint az informatika irányába nyitott fiatal kutatónak, természetyszerűleg adódott a téma: kidolgozni olyan, a gyakorlatban felhasználható eljárásokat, amelyek az erdőfeltárási aktuális tervezési feladatainak megoldásához a korszerű eszközök és technológiák révén hatékony megoldásokat nyújtanak, miközben megalapozzák a közeljövő fejlesztéseit is.

A dolgozatomban bemutatott újszerű tervezési eljárásokra mindig mint egy csapatmunka eredményére tekintek. Teszem ezt egyrészt azért, mert fejlesztéseink a múltban már sikeresen alkalmazott, „hagyományos” módszerekre támaszkodva alakulnak ki, másrészt azért, mert az utóbbi évek kutatás-fejlesztési tevékenysége mindig egy-egy konkrét megbízáshoz kötődik, amely határidőre történő teljesítése csak ilyen szemlélettel oldható meg. Mindezek mellett igyekeztem a fejezeteket (és a téziseket) úgy megfogalmazni, hogy azok alapján a fejlesztésekhez saját hozzáadott tevékenységem lemérhető legyen.

## 1.2. A dolgozat felépítése

Dolgozatomban az erdőfeltárási tevékenységek tervezés jellegű mérnöki feladataival foglalkozom; ezek közé a következőket sorolom:

- Feltáráshálózatok nyilvántartási, fenntartási és logisztikai rendszerének kialakítása és működtetése,
- feltáráshálózatok tervezése,
- erdészeti utak tervezése.

Az erdőgazdaságok jelentős (egyes kimutatások szerint az állóeszköz-érték 30–40 %-át is elérő) útvagyonnal rendelkeznek. Az 1980-as évek elején az Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Tanszéken kidolgozták az *útfenntartási rendszerek* elkészítésének módszertanát, amelynek alapján 1983–1989 között hat erdőgazdaság összesen mintegy 1000 km úthálózatára el is készítették azokat. A térinformatika mai eszköztárával ezeket a feladatokat egy célszerűen kialakított *erdészeti útügyi információs rendszerrel* oldhatjuk meg, amellyel a 2. fejezet foglalkozik. A jól felépített információs rendszer alapja lehet mind az útfenntartási, mind a logisztikai alrendszereknek.

A feltáráshálózatok tervezése alatt korábban feltárási alaptervek készítését értették. Az *alapterv* kifejezés azonban statikus, „kőbe vésett” feltáráshálózat-tervre utal, amely csak nehezen módosítható. A 3. fejezetben bemutatott *dinamikus feltáráshálózat-tervezés* módszere – az alkalmazott térinformatikai megoldásoknak köszönhetően – az időben folyamatosan változó igényekhez alkalmazkodni képes megoldást kínál.

Az erdészeti utak tervezési eljárását a megváltozott engedélyezési körülményeknek – és az ezzel párhuzamosan széles körben elterjedő korszerű geodéziai eszközöknek – megfelelően jelentősen át kellett alakítani. A hatékony munka érdekében a *számítógéppel támogatott úttervezés* megkerülhetlenné vált, ami az erdészeti körülményeknek megfelelő úttervező szoftverek fejlesztését is maga után vonta. Az ezen a téren elért legújabb fejlesztésekről a 4. fejezetben számolok be.

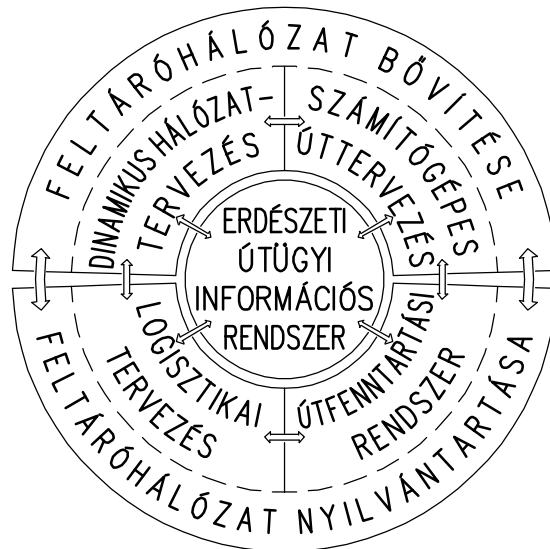
Egy erdészeti feltárási út elméleti „életútjának” megfelelően ezen három terület az alábbi sorrendben követi egymást:

1. Az út közelítő nyomvonalát a feltáráshálózat tervezésekor jelöljük ki.
2. Ezután az engedélyezési eljárásnak megfelelő tervezési munkákat kell végrehajtani.
3. Az építést követően az út bekerül a feltáráshálózat nyilvántartási rendszerébe, majd az idő előrehaladtával fenntartásra szorul.

Ezek a feladatok a valós helyzetekben, a teljes feltáráshálózat tekintetében azonban egymással párhuzamosan jelentkeznek, ahogy az az 1-1. ábrán látható.

A feltáráshálózat bővítését akkor lehet reális alapokra helyezve megtervezni, ha a meglévő utak hálózati szerepét, állapotát és jövőbeni forgalmát ismerjük, vagyis optimális esetben a hálózattervezést az információs rendszer kialakítása megelőzi. A tervezett hálózat új elemeinek – az egyes utaknak – a részletes tervezését szintén az információs rendszerre támaszkodva végezhetjük el, hiszen például a pályaszerkezet méretezéséhez ismernünk kell a tervezett élettartam alatt várható forgalom mértékét.





1-1. ábra. Az erdészeti útügyi információs rendszer és kapcsolatai.

A feltáróhálózat tervezett bővítésének megvalósulása egy időben elhúzódó folyamat, az egyes utak megtervezése (majd megépítése) között több év (évtized) is eltelik. Alapvető fontosságú ezért, hogy az információs rendszert naprakészen tartsuk. Az utak állapotának rendszeres aktualizálásán felül az újonnan épült utaknak az átadást követően azonnal be kell kerülniük az információs rendszerbe, hiszen az útfenntartási munkák tervezésekor – az állapotadatok mellett – a forgalmi adatokra támaszkodunk; egy-egy új útszakasz kiépítése viszont jelentősen megváltoztathatja a meglévő utak hálózati szerepét.

Szüksége van-e a mai magyar erdőgazdálkodásnak a felvázolt tervezési menedzsment-rendszerre? Meggyőződésem szerint igen, hiszen az erdőgazdaságok részéről – korlátozott anyagi lehetőségeik ellenére – folyamatosan jelentkezik az igény feltáróhálózatok és feltáróutak tervezése, továbbá fenntartási tanulmányok készítése iránt, melyeket a mai kor követelményeinek megfelelően csak az informatikai (térinformatikai) lehetőségek minél teljesebb kihasználásával lehet teljesíteni.

Reményeink szerint a magyar erdőfeltárás fordulópont előtt áll. Az Európai Unió 2007–2013 közötti költségvetési időszakában a vidékfejlesztésre szánt támogatásból jelentős (a dolgozat írásának időpontjában pontosan még nem ismert) összegre *infrastrukturális fejlesztések* cím alatt pályázhatnak majd az erdőgazdálkodók. A sikeres pályázatokhoz azonban határozott koncepcióval és engedélyezett tervekkel kell rendelkezni, amelyek elkészítése komoly mérnöki feladatot jelent majd az erdőfeltárással foglalkozók számára.

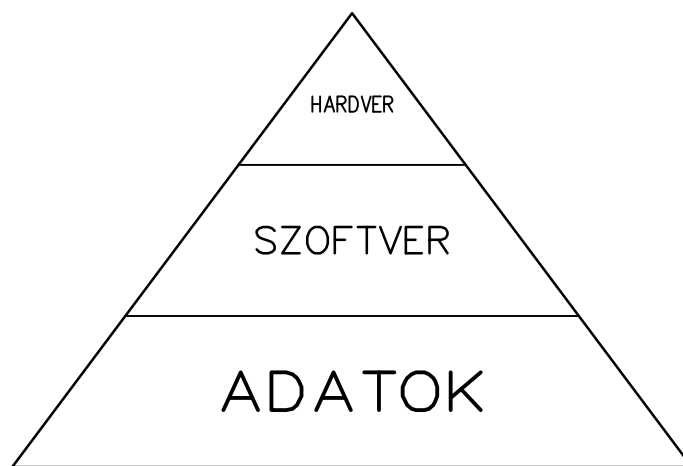
Az elmúlt másfél évtized tapasztalatai alapján kijelenthetjük, hogy az eddigiekben megfogalmazott feladatokat az erdőgazdaságok önerőből nem tudják megoldani. A várható európai uniós támogatások lehívásához szükséges tervezési feladatokat – megfelelő jogszerűséggel rendelkező – független mérnököknek, vagy (erdőmérnöki) tervezőirodák számára kell majd megoldaniuk. A közreműködéssel kialakított korszerű tervezési eljárások szervesen illeszkednek e folyamathoz, többek között ez a dolgozat is hozzájárulhat a legújabb eredmények tervezési segédletek formájában történő közzétételéhez.

### 1.3. A geoinformációs rendszerekről általában

A térbeli adatokhoz köthető információkat felhasználó grafikus rendszereket térinformációs rendszereknek nevezzük. A *geoinformációs rendszerek* a térinformációs rendszerek egy olyan speciális csoportját alkotják, melyek a földdel, mint közvetlen környezetünkkel foglalkoznak. [Czímber, 1997]

#### 1.3.1. A geoinformációs rendszerek felépítése

Az információs rendszerek az 1-2. ábrának megfelelően alapvetően három alkotóelemből állnak [Detrekői, 1997]:



1-2. ábra. Az információs rendszerek alapelemei.

Az előző ábrát gondolatban kiegészítve, a *felhasználókat* is az információs rendszer alapelemei közé sorolhatjuk. A geoinformációs rendszerek kialakítását, majd működtetését csak megfelelően képzett szakemberekkel lehet megoldani, illetve a rendszert úgy kell felépíteni, hogy a geoinformatikában kevésbé jártas felhasználók is előállíthassák az őket érdeklő információkat.

Az alkotóelemeket ábrázoló piramis jól szemlélteti az információs rendszerben szereplő *adatok* fontosságát; a rendszer használhatóságát alapvetően az abban szereplő adatok mennyisége és minősége határozza meg. Az információs rendszer kialakításának tervezésekor először a tárolandó–feldolgozandó–megjelenítendő adatok körét kell tisztázni, a további építőelemek kiválasztása csak ezután következhet!

Az összegyűjtött adatok feldolgozásához és megjelenítéséhez megfelelő számítógépes programokra van szükség. A *szoftverkörnyezet* kiválasztásakor elsődleges szempont, hogy az a megjeleníteni kívánt adatokat kezelni tudja, figyelembe véve a tárolandó információk mennyiségét is. Ezen alapvető követelményt teljesítő rendszerek közül a következő szempontok szerint választhatunk: információcsere lehetősége a felhasználó meglévő szoftvereivel, külső partnerek által szolgáltatott adatok formátumai, külső partnereknek szolgáltatandó információk formátuma, ágazati szabványok figyelembevétele stb.

A *hardverelemek* kiválasztása célszerűen az előző lépéseket követően történik meg, hiszen így az elhamarkodottan beszerzett hardver eszközök esetleges gyengeségei nem korlátozzák az ideális szoftver megfelelő alkalmazhatóságát, ezáltal lehetőség nyílik az adatok teljeskörű feldolgozására, vagyis információs rendszerünk kialakításával elérjük kitűzött céljainkat.

### 1.3.2. Modellalkotás

A geoinformatikai rendszerekben a valós világot annak modellezésével ábrázoljuk. A modell a valóság lényegének leegyszerűsített mása, mely a valóság egy részének a vizsgált szempontok szerinti tulajdonságait mutatja be, annak érdekében, hogy a rendszer alkalmas legyen a nyilvántartás, elemzés, szimuláció, döntéstámogatás feladatainak elvégzésére. [Detrekői, 1997]

A geoinformációs rendszerekben a helyzeti adatok ábrázolásának (tárolásának) két nagy csoportját különböztetjük meg, ezek a szabályos (raszter) és szabálytalan (vektor) geometriai modellek.

### 1.3.3. Raszteres adatmodell

A raszteres modellek a területet szabályos geometriai elemekre osztják (pixelek). Geoinformatikai rendszerekben a raszteres adatmodellnek általában a négyzet az alapja, ami jól igazodik a raszteres megjelenítőkhöz is.

Az adatmodellt felépítő elemi pixelek egy-egy adott területet fednek le. A pixelek értékeit tematikus kódoknak nevezzük, ezekkel jellemezzük a pixel által lefedett területet. A nulla értékkel feltöltött pixelek az üres (adathiányos) területeket jelölik. A pixelek rácsszerűen, sorokban és oszlopokban helyezkednek el. Az adatmodell az egyes pixelek felsorolásán, valamint a sorok és oszlopok számának megadásán túl olyan lényeges információkat is tartalmaz, amelyek a vizsgált terület vetületi rendszerbe illesztését teszik lehetővé. Ezek az úgynevezett georeferencia adatok a pixelek által lefedett terület mérete, és a raszter egy pontjának (pl. bal felső pixel közepe) koordinátái. A raszteres adatmodellben a pixelek közötti térbeli kapcsolatok egyértelműek, ezeket nem kell külön tárolni. [Czímber, 1997]

A raszterek – általában jelentős – fizikai tárigényét különböző tömörítési eljárásokkal csökkenthetjük. A tömörítési eljárások két nagy csoportra oszthatók: adatvesztéssel járók (pl. RLE, LZW, Huffmann kódolás) és adatvesztés nélküliek (pl. DCT, Wavelet, Vektor kvantálás). [Czímber, 1997]

A raszteres adatmodell nagyon jól használható domborzatmodellezésre, illetve szorosan összefonódott a távérzékelési technológiákkal (műholdképek, légifényképek, ortofotók). Használata abban az esetben indokolt, ha nagy területről egyenletes sűrűségben kívánunk információkat tárolni.

### 1.3.4. Vektoros adatmodell

A vektoros adatmodell esetében a földrajzi objektumok helyzetét szabálytalan geometriai elemekkel írjuk le. A földrajzi objektumok leírása általában négy geometriai elem segítségével történik. Ezen négy alapelem a pont, vonal, poligon és a térbeli felület.

A vektoros adatmodell az ábrázolandó objektumok *lényegi* információit tartalmazza – erdőrészlet esetében annak határvonalát (pontosabban a határvonal töréspontjait), út esetében annak tengelyét stb. A tárolandó adatmennyiség rendszerint töredéke a raszteres adatmodellel történő adatábrázoláshoz képest. A vektoros adatmodellben megjelenített térképi elemek kezelésére bonyolult algoritmusokat kell használni, továbbá alapvető fontosságú az objektumok szomszédsági viszonyainak korrekt ábrázolása (topológia). [Czimer, 1997]

A vektoros térkép a megjelenítés szempontjából méretarány-független, az adatok geometriájának *pontosságát* azonban nem szabad összetéveszteni azok tárolásának *élességével!* (Ha a digitális térkép 1:10 000 méretarányú papírtérkép felüldigitalizálásával készült, nem várható el tőle cm-es pontosság, még akkor sem, ha a nyiladék töréspontjait ekkora élességgel tároljuk is el.)

A vektoros adatmodellben tárolt *geometriai* elemekhez *attribútumadatokat* (szöveges, leíró adatok) rendelünk. Az egy objektumhoz rendelt attribútumok csoportját *rekordnak*, az azonos típusú rekordok összességét *adattáblának* hívjuk. A geometriai és leíró adatok összekapcsolása (*linkelés*) az ún. *geokód* alkalmazásával történik.

### 1.3.5. Domborzatmodellek

A geoinformatikai rendszerekben vizsgált egyik tipikus objektum a terep felszíne. A terepfelszint leíró felületmodell domborzati modellnek (DDM - digitális domborzati modell, DEM - digital elevation model), vagy terepmodellnek hívjuk. [Márkus, 1995] definíciója szerint: A DDM a terepfelszín célszerűen egyszerűsített mása, amely fizikailag számítógéppel olvasható adathordozón tárolt terepi adatok rendezett halmazaként valósul meg. A DDM a modellezés folyamatában információkat szolgáltat a modellezett terep egészének vagy kiválasztott részletének lényeges sajátosságairól.

A geoinformációs rendszerben szereplő domborzatmodell részletességét, felépítését mindig az adott feladat szabja meg. Más léptékű és pontosságú terepmodellre van szükségünk, ha az erdőgazdaság teljes feltáróhálózatát vizsgáljuk, vagy ha egy erdészeti utat tervezünk. Különböző struktúrájú domborzati modellt célszerű használni vízgyűjtő területek lehatárolásához vagy semleges vonalak felkereséséhez.

#### 1.3.5.1. Raszteres domborzatmodellek

A pixelértékek felületmodell esetében a pixel által lefedett felületelem magasságát jelentik. A szabályosan elhelyezkedő rácspontok közötti pontok magasságát térbeli interpolációs módszerekkel lehet előállítani. Néhány eljárás: [Czimer, 1997]

- Távolsággal arányos súlyozással.

- Minimális görbület alapján.
- Vektoros felületmodellezéssel, amikor egy olyan vektoros felületmodellt állítunk elő, amelynek kontrolpontjai a raszter celláinak középpontjaiba esnek. A térbeli interpoláció ezek után a vektoros felületmodelleknél részletezett eljárások valamelyikével történhet. A legjobb módszert ez az eljárás adja.

### 1.3.5.2. Vektoros domborzatmodellek

A felületmodellek másik csoportját azok az adatstruktúrák alkotják, ahol a felületet alkotó geometriai elemek tetszőleges bonyolultsággal, szabálytalan módon kapcsolódnak egymáshoz. A csúcspontok, törésvonalak ábrázolása koordinátákkal, vektorokkal történik. Ennél az adatmodell-típusnál lényeges a térbeli kapcsolatok korrekt rögzítése, a topológia kialakítása.

A modellezés feladata a  $Z = F(x, y)$  függvény vektoros adatokkal történő minél jobb közelítése. Az  $F(x, y)$  függvénytől az alábbiakat követeljük meg [Czímber, 1997]:

- A függvény menjen át a modellezendő felület ismert, mért pontjain, idomvonalain és törésvonalain. (A mért és ismert pontokat a továbbiakban kontrolpontoknak fogjuk nevezni.)
- A modellezendő területen mind a függvény, mind a függvény első és második,  $x$ , illetve  $y$  szerinti parciális deriváltja folytonos legyen.
- A törésvonalak mentén a függvénynek, valamint a deriváltaknak szakadása kell, hogy legyen.

A vektoros felületmodellek a kontrolpontok eloszlása szerint lehetnek [Márkus, 1995]:

- szabályos modellek, ahol a kontrolpontok szabályos rácsháló metszéspontjaiban helyezkednek el,
- strukturális modellek, amelyek felépítésekor figyelembe vesszük a felület jellegzetességeit,
- véletlenszerű modellek, ahol a nem szabályosan elhelyezkedő kontrolpontok valamilyen ok miatt nem esnek a terepfelszín jellemző pontjaira (pl. tómeder felmérésekor).

Az  $F(x, y)$  függvény célszerű előállítása a végeselemek módszerével történik. Az  $F(x, y)$  függvényt elemi  $f_i(x, y)$  függvényekre bontjuk olyan módon, hogy az  $f_i(x, y)$  elemi függvények értelmezési tartományai nem fedik egymást, és összegük az eredeti  $F(x, y)$  függvény értelmezési tartományát adja. A vektoros felületmodellezésben legáltalánosabban használt végeselem a három kontrolpont alkotta térbeli háromszög. A háromszögek általában szabálytalan háromszöghálót (Triangulated Irregular Network, TIN) alkotnak.

### 1.3.5.3. Domborzatmodellek előállítása

A domborzatmodellek előállítása a következő eljárások valamelyikével történhet:

- Szintvonalas térképek digitalizálása.
- Digitális fotogrammetria [Kraus, 1994].
- Lézeres felmérési technológiák [www.lidartech.com].
- Földi geodéziai módszerek. (Részletesen a 4.1.3. alfejezetben, a 84. oldaltól.)

### 1.3.5.4. Magyarországon beszerezhető domborzatmodellek

Nagy terület domborzatának modellezéséhez célszerű valamely országos magassági adatbázis megfelelő kivágatát megvásárolni. A Magyarországon beszerezhető domborzatmodellek közül néhányat az 1-1. táblázat ismerteti.

1-1. táblázat. Magyarországon beszerezhető domborzatmodellek.

DDM	Alaptérkép	Felbontás	Forgalmazó
DDM-100	M=1:100 000 digitális topográfiai alaptérkép	100×100	Földmérési és Távérzékelési Intézet
DDM-5	M=1:10 000 digitális topográfiai alaptérkép	5×5	Földmérési és Távérzékelési Intézet
DDM-50	M=1:50 000 katonai topográfiai alaptérkép	50×50	MH Térképészeti Hivatal
DDM-10	M=1:50 000 katonai topográfiai alaptérkép	10×10	MH Térképészeti Hivatal

## 1.4. Geoinformációs rendszerek az erdőgazdálkodásban

Az erdővel, mint természeti erőforrással foglalkozó tevékenységek (erdőgazdálkodás, erdőtervezés, hatósági tevékenység stb.) mind olyan területek, ahol a feldolgozott adatok többsége közvetlen vagy közvetett kapcsolatban áll az erdőterülettel. Indokolt tehát, ha az erdőgazdálkodásban alkalmazott információs rendszerek a térbeli adatok kezelésére is fel vannak készítve.

Magyarország erdőállományainak leíró adatbázisa 1976 óta az egész országot lefedően működik. Az adatbázis a relációs adatmodell szerint épül fel; az adattáblák közötti kapcsolatot a *Hely-Tag-Részlet-Alrészlet* adatmezőkkel, mint kulcsmezőkkel oldották meg. Ennek a struktúrájának köszönhetően a különböző jellegű adatokat tartalmazó, fizikailag különálló adattáblák tetszés szerinti mélységig összekapcsolhatók, az információs rendszerben mint egységes adatbázis jeleníthetők meg. [Czimer, 1997]

A térinformatikai alkalmazások elterjedésével párhuzamosan merült fel az igény az erdőállomány adattár geoinformációs renszerré fejlesztése iránt. A kezdeti, esetenként egymástól független kísérletek után a speciálisan a magyarországi erdőgazdálkodás igényeinek megfelelően fejlesztett DigiTerra Map szoftver és adatformátumai 1997-től az Állami Erdészeti Szolgálat által alkalmazott geoinformációs rendszerek alapjává vált, így – az ÁESZ vonatkozó Végrehajtási Utasítása alapján – az erdészeti térképek digitalizálása is ezen program felhasználásával történt [ÁESZ, 1999]. 2003-ra Magyarország erdőterületének 100%-áról elkészültek a digitális üzemtervi térképek.

A térinformatika gazdálkodást támogató funkcióinak felismerését követően az erdőgazdaságok is kialakították saját geoinformációs rendszereiket. A zökkenőmentes adatcsere érdekében, valamint a szoftver hatékonyságának ismeretében a legtöbb erdőgazdaság információs rendszere kialakításánál szintén a DigiTerra megoldásait választotta. A térképező funkciókat megvalósító alapszoftverhez különböző erdészeti szakmai modulok (erdőművelés, csemetetermesztés, fahasználat, vadgazdálkodás stb.) illeszthetők, amelyek az erdőgazdálkodási tevékenységek szinte teljes vertikumában nyújtanak tervező, döntéstámogató funkciókat.

## 1.5. Geoinformációs rendszerek a közutak nyilvántartásában

Az erdészeti feltáróhálózatokat nyilvántartó rendszer kialakítása előtt célszerű, ha megvizsgáljuk a mintegy 30 000 km-nyi országos közúthálózat menedzselésére kifejlesztett OKA2000 geoinformációs rendszert, melyet [Forrainé, 2004] és [Forrainé et al., 2004] alapján mutatok be.

Az OKA2000, az 1995-től használt Országos Közúti Adatbankot (OKA) felváltó geoinformációs rendszer fejlesztése 2000-ben kezdődött. Fejlesztésekor a következő célokat tűzték ki:

- A modern technológia lehetőségeinek (geoinformatika) felhasználása.
- A felhasználói kör kiterjesztése.
- Az Országos Közúti Adatbank feladatainak az ellátása.

### 1.5.1. Helyazonosítás megvalósítása

Az OKA2000 a kettős helyazonosítást használja az adatok és objektumok pontos helyének a meghatározására. Ez azt jelenti, hogy az útszám mellett valamely azonosító ponttól mért távolsággal vagy az utolsó felvett kilométerjeltől mért távolsággal adja meg a pont helyét. Azonosító pontok lehetnek:

- csomópontok,
- út vége pontok,
- határpontok (üzemmérnökségi, megyei vagy országhatárpontok),
- kompátkelők.

### 1.5.2. Térképi adatok megjelenítése

A digitális térképi adatok a HM Térképészeti Hivatala által forgalmazott, 1:50 000 méretarányú katonai topográfiai térképek digitalizálásával készült DTA-50 digitális térképi adatbázison alapulnak. A DTA-50 közutakat tartalmazó rétegét átalakítva, az információs rendszer logikájába illeszthető új, KÖZÚT-50 réteget hoztak létre. Az adattárolás alapja az *útszakaszok* és *csomópontok* topologikus rendszere. Az adatbázis mintegy 12 200 szakaszt (334 400 törésponttal) és 10 700 csomópontot tartalmaz. A térképi állomány aktualizálására is szükség volt, hiszen az alaptérkép az 1995-ös katonai légifényképezésen alapult. Az adatbázist végül olyan speciális elemekkel (körforgalmak, összetett

csomópontok, autópálya keresztezések) egészítették ki, amelyeket – léptékénél fogva – az alaptérkép nem ábrázolt.

A térképi adatbázis aktualitását folyamatosan fenntartják, ehhez mobil térképező eszközöket, GPS technológiát is felhasználnak. Az aktualizálásokkal párhuzamosan a térképi és leíró adatok közötti szinkron fenntartására is nagy hangsúlyt fektetnek.

### 1.5.3. Út leltár adatok tárolása

Az út leltár adatokat az OKA nyelvezetében törzsadatoknak hívják, amelyeket a következő csoportokba sorolták:

- „A” : A hálózat leírásának objektumai – a kettős helyazonosítási rendszernek megfelelően az azonosító pontokat és a szakaszok kezdő- és végazonosítóit, illetve azok koordinátáit tartalmazzák.
- „B” : Szakaszjellemzők, kezelő, környezet, ingatlanviszonyok – szakaszjellemzők (útszám, megnevezés, útkategória), kezelő (társaság, megye, üzemmérnökség), környezeti jellemzők (környezet, jelleg, talaj), ingatlan-adatok(méret, fekvés, tulajdonos, HRSZ, vagyonkezelő).
- „C” : Szerkezet, keresztmetszet – pályaszerkezet, burkolat, sávszám, vízelvezetés, oldal-esés.
- „D” : Geometria, vonalvezetés – ívadatok, hosszesés, irányok.
- „E” : Mért minőségek és forgalom – a forgalomszámlálások és a burkolatállapot-mérések tényleges (mért) adatai (teherbírás, felületállapot, csúszás-ellenállás, burkolatállapot).
- „F” : Származtatott minőségek, forgalom – az előző kategória adatai alapján származtatott mennyiségek.
- „G” : Kapcsolódó objektumok – útcsatlakozások, átereszek, támfalak, fasorok, járdák, kerékpárutak, km-jelek, kötöttpályás keresztezések, közművek stb.
- „H” : Minősítés, megfelelőség, biztonság – pl. hófúvásra veszélyes szakaszok.
- „J” : Speciális adatok – fényképek, videófelvevételek.
- „K” : Individuális adatok – az egyes útkezelőkre egyénileg jellemző, de fontos adatok, mint például fizetős útszakaszok, forgalmi irányok fizikai szétválasztása, forgalomba helyezés időpontja stb.

### 1.5.4. Híd alrendszer

A híd alrendszer célja az állami kezelésben lévő hidak nyilvántartása olyan adatbázis formájában, amely a felmerülő összes műszaki információs kérdésre tud felelni. Adatbázisa a következőket tartalmazza:

- A híd helye.
- Műszaki adatok.
- A hidak fenntartásához, karbantartásához szükséges adatok.
- A hídhoz tartozó dokumentációk nyilvántartása.



### 1.5.5. Pályaszerkezeti alrendszer

A pályaszerkezeti adatok halmaza a burkolatgazdálkodás egyik legfontosabb adatforrása, az utak értéken való nyilvántartásához fontos kiinduló adatszolgáltatás. A pályaszerkezeti alrendszer a szerkezeti rétegeket homogén részzszakaszok szerint ábrázolja, illetve kezeli. A rendszerrel megjelentíthető az egyes útszakaszok pályaszerkezeteinek kereszt- és hosszirányú metszetei is.

### 1.5.6. Állapotadatok

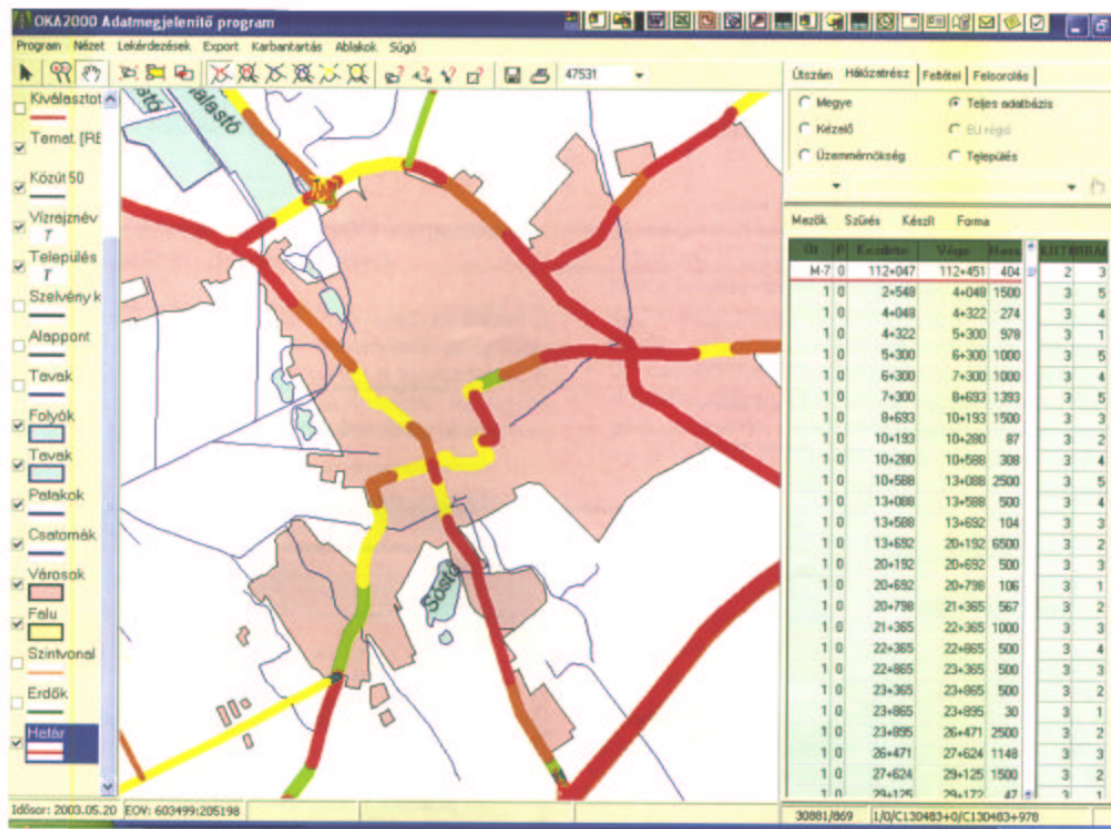
Az utak állapotát a következő mérőszámokkal jellemzik:

- *Hosszirányú egyenetlenségi index (IRI)* [mm/m]. Meghatározását az útfelület egymásól 4 méterre lévő pontja által adott bázisvonal felezőjében, a mérőkerék elmozdulásaival az út felületének a bázisvonalhoz való eltérését a kézzel tolt mérőeszközzel folyamatosan meghatározzák, majd az adatok feldolgozása után 100 m-es szakaszonként adják meg a jellemző értéket. [ÚT 2-2.113]
- *Nyomvályú képződés*. A szakaszokat a mértékadó nyomvályú-mélységgel [mm] jellemzik. Nem megfelelő az útszakasz, ha a nyomvályú-mélység > 12 mm; rossz az útszakasz, ha a nyomvályú-mélység > 17 mm.
- *Teherbírás*. Közutak teherbírásának mérésére a dinamikus behajlásmérést (KUB) alkalmazzák. A mérés elve: 300 mm átmérőjű tárcsára ismert nagyságú tömeget ejtenek rugó közvetítésével, és mérik a tárcsa függőleges elmozdulását. Az úthálózat hálózati szemléletű állapotértékelése során 100 méterenként jelölik ki a mérés helyeket, mérés helyenként két mérést végeznek, majd 1 km hosszú szakaszokra számítanak *mértékadó behajlást* [mm]. [ÚT 2-2.121], [ÚT 2-2.122]
- A *szubjektív felületállapot* minősítése alapvetően összegző jellegű, ahol figyelembe veszik a burkolatépséget meghatározó főbb jellemzőket: deformációk, kátyúk, kipergéses és izzadási szakaszok, hossz- és keresztirányú valamint mozaikos repedések, burkolatszél hibái. Az értékelésbe ezenkívül beleveszik a vízelvezetési problémákat is. Az egyes jellemzőket előre meghatározott kritériumok szerint értékelik, majd 500 méterenként súlyozott átlaggal fejezik ki a felületállapotot.

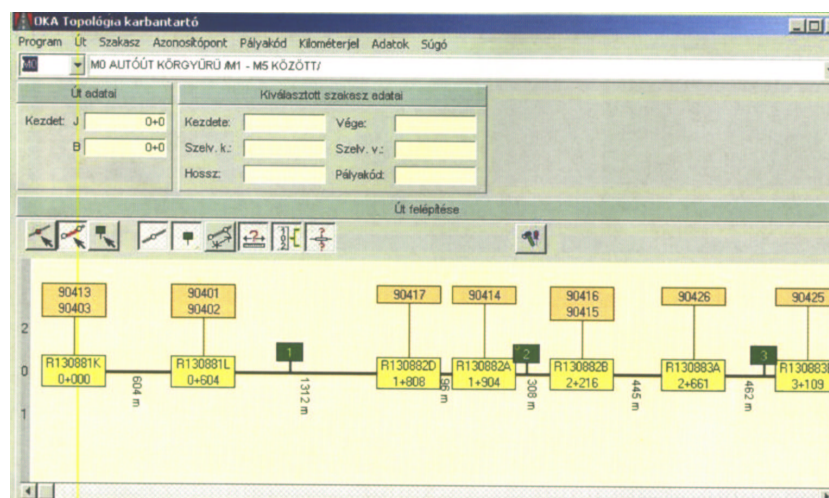
### 1.5.7. Szoftver elemek

Az OKA2000 a különböző feladatok ellátására több különálló programot használ, ezek:

- *Adatmegjelenítő- és karbantartó program*. Az adatbank legjellemzőbb felhasználására, az adatok lekérdezésére és megjelenítésére szolgál (1-3. ábra).
- *Felhasználó karbantartó program*. Külön feladat a rendszer felhasználóinak adminisztrálása, a karbantartási és lekérdezési jogosultságok kiosztása, módosítása.
- A *Topológia karbantartó programmal* (1-4. ábra) végezhető el az úthálózat topológiájának karbantartása, új utak felvétele, meglévők módosítása, csomópont azonosítók, pályakódok, kilométer jelek helyének felvétele, karbantartása.
- *Adatkapcsolati program*. A Megjelenítő és karbantartó program részére az adatok egységességét biztosítja. Feladata a megyei adatok országos összesítése, valamint az adatbázis hibamentességének ellenőrzése.



1-3. ábra. Az OKA2000 Adatmegjelenítő programja.



1-4. ábra. Az OKA2000 Topológia karbantartó.

„A hatékony útfenntartás alapja a rendszerszemlélet, melyet az útfenntartási rendszer valósít meg. Ehhez a már meglévő alapokon korszerűsíteni kell az útfenntartási rendszert, különösen az informatika és itt is a geoinformatika által nyújtott lehetőségek felhasználásával.”

Kosztka Miklós, 2001.

## 2. Erdészeti útügyi információs rendszerek

Ebben a fejezetben először definiálom az *Erdészeti útügyi információs rendszer* (EUIR) fogalmát, és ismertetem annak felépítését. Az információs rendszer kialakítása után az EUIR-re támaszkodó *útfenntartási alrendszer* felépítését és működését tárgyalom, majd javaslatot teszek az EUIR-ben tárolt információkra alapozott *logisztikai rendszerek* létrehozására. A fejezet végén a gyakorlatban elért eredményeket, illetve további kutatási elképzeléseimet mutatom be.

*Az erdészeti útügyi információs rendszer egy olyan speciális geoinformációs rendszer, amely a feltáróhálózatot ábrázoló térképi és a feltáróhálózathoz kapcsolódó leíró adatok, valamint azok kezelésére kifejlesztett algoritmusok segítségével döntéstámogató funkciókat nyújt a feltáróhálózat fenntartásához és fejlesztéséhez, hatékonyabbá teszi a szállításszervezési munkákat, továbbá hozzájárul a magasabb szintű vevőkiszolgáláshoz.*

### 2.1. A feltáróhálózat környezetének ábrázolása

#### 2.1.1. Az erdőterület digitális térképe

Az 1.4. fejezetben leírtaknak megfelelően az EUIR kialakításakor célszerűnek látszott, ha a feltáróhálózat információs rendszerének megjelenítésére az erdőgazdálkodás kvázi ágazati szabványává vált *DigiTerra Map* szoftvert alkalmazom.

Az erdőgazdaság által kezelt terület vektoros digitális térképe mint a feltáróhálózat közvetlen környezete szerepel az információs rendszerben. Az erdészeti alaptérkép megjelenítése a pont, vonal, terület típusú elemekkel különösebb magyarázatot nem igényel; a témával a *DigiTerra Map* program interneten is elérhető kézikönyve részletesen foglalkozik [DigiTerra, 2003].

#### 2.1.2. Közúthálózat

Az erdészeti feltáróhálózaton folyó szállítási műveletek többségükben közúti kapcsolatokon keresztül bonyolódnak le, ezért a feltáróhálózat ábrázolásakor a közúthálózat érintett része mindenképpen megjelenítendő. A közutak ábrázolása egyszerűbb esetben a digitális erdészeti térkép, vagy valamely országos geoinformatikai adatbázis (DTA-50) felhasználásával valósítható meg. Logisztikai irányú fejlesztések esetében (lásd a 2.5. pontban) azonban a környező közúthálózatot is az erdészeti úthálózat topológiájának

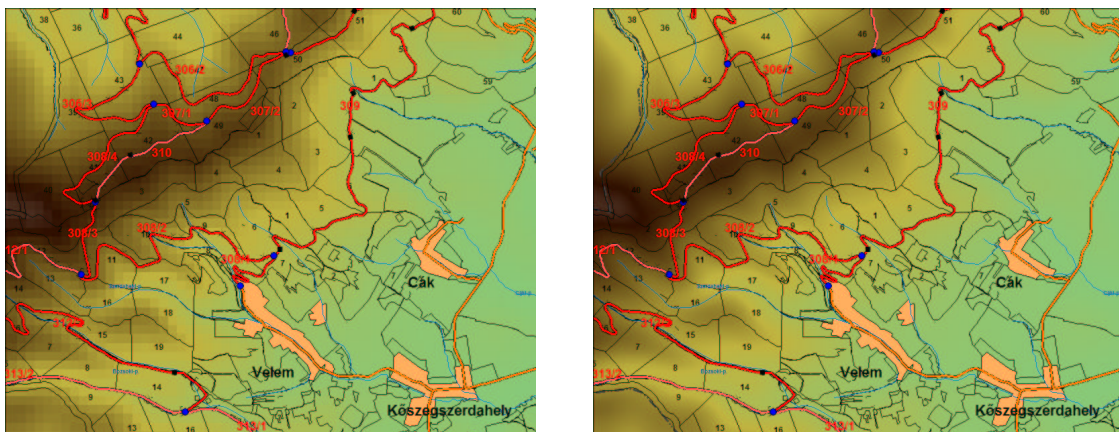
(lásd a 2.2.1. pontban) megfelelően kell ábrázolni. Az erdészeti feltáróhálózatok ábrázolásának topológiáját a közúti ágazat vonatkozó előírásainak figyelembe vételével úgy alakítottam ki, hogy az erdészeti utak beilleszthetők legyenek egy egységes rendszerbe.

### 2.1.3. Domborzat

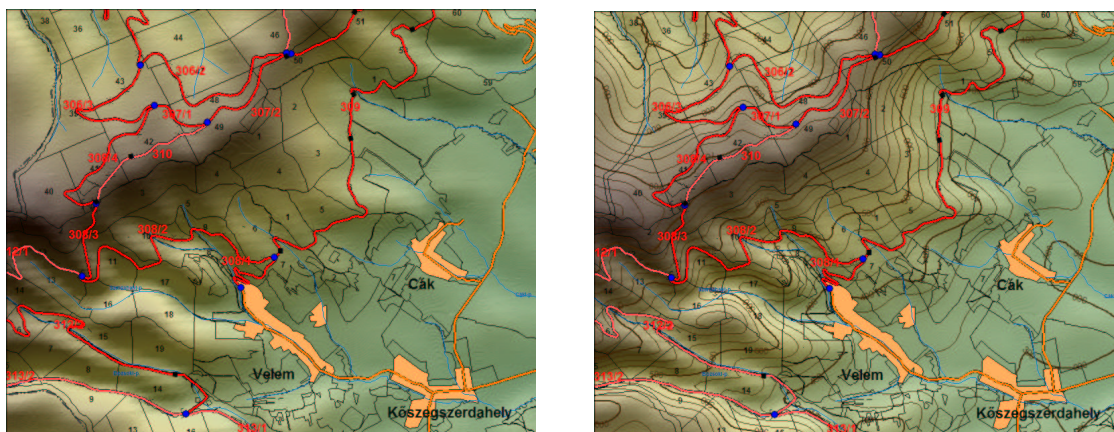
Hegy- és dombvidéki erdőterületek feltáróhálózatának vizsgálatakor a domborzat megfelelő megjelenítése kiemelkedő fontosságú. Geoinformációs rendszer esetében az egyes útszakaszokra gravitáló erdőrészletek kijelölésekor, a meglévő utak közelítő magassági vonalvezetésének meghatározásakor, vagy a hálózat bővítésének tervezésekor mindig központi szerepe van a domborzatmodellnek.

A domborzat megjelenítésére és elemzésére a következő eljárást dolgoztam ki:

- Nagy kiterjedésű területről lévén szó, célszerű valamely országos magassági adatbázis megfelelő kivágatának a használata.
- A domborzatmodell meglehetősen nagy ( $100 \times 100$  m) felbontású raszter, amelyet a megjelenítéshez finomítani kell.
- Generálunk egy, a raszter felbontásának megfelelő vektoros felületmodellt úgy, hogy a háromszögek csúcspontjai a raszteres felületmodell pixeleinek közepén helyezkednek el.
- A vektoros felületmodell  $10 \times 10$  m horizontális felbontású raszterizálásával előállítunk egy finomabb felületmodellt (2-1. ábra).
- A raszteres felületmodellt domborító lineáris filter alkalmazásával lehet igazán plasztikusan megjeleníteni (2-2. ábra).
- A vektoros felületmodell felhasználásával szintvonalak generálhatók, illetve semleges vonalak tervezhetők.



2-1. ábra. A domborzatmodell horizontális felbontásának finomítása.



2-2. ábra. Domborító lineáris filter és a vektoros felületből levezetett szintvonalak.

## 2.2. A feltáróhálózat térbeli megjelenése

A geoinformatikai ábrázolás során az utakat vektoros adatmodellben, vonal típusú elemekként, tengelyvonalukkal definiáljuk. A feltáróhálózatot alkotó utak ábrázolásakor alapvetően két probléma merül fel: először meg kell határozni a hálózati kapcsolatokat bemutatásának módját (topológia kialakítása), majd elő kell állítani az úttengelyek minél pontosabb (a valós helyzetnek megfelelő) geometriáját.

### 2.2.1. A feltáróhálózat topológiája

A topológia a geometriai elemek térbeli kapcsolatát írja le, ami a vektoros geoinformatikai adatok elemzésében nélkülözhetetlen. Úthálózatok ábrázolására a *csomópont-vonal-csomópont topológia* alkalmas, amelynek segítségével megállapítható, hogy milyen útvonalakon juthatunk el az egyik csomópontból egy másikba. Ez a topológia lehetővé teszi a hálózati elemzéseket végző algoritmusok működését, továbbá alkalmas a csatlakozási hibák felderítésére is. [Czímber, 1997]

Az EUIR-ben ábrázolt feltáróhálózat topológiáját a következők szerint építettem fel:

- Az *út* egy leltári egységet képező vonalas létesítményt jelent. Minden úthoz egyedi azonosítót (útkód) rendelünk (pl.: útnév: Steyerházi út, útkód: 306.)
- A folyamatos vonalként ábrázolt úttengelyeket a csomópontoknál „feldaraboljuk”, így *szakaszok* alakulnak ki.
- A szakaszokat egyedi azonosítóval (útkód/szakasz) látjuk el (pl.: 306/1).
- A *csomópontok* a szakaszok metszéspontjaiban és a végpontokban helyezkednek el, pont típusú objektumként ábrázolva, egyedi azonosítóval ellátva.
- A szakaszokhoz hozzárendeljük a kezdő- és végpont csomópontjának azonosítóját.
- Két csomópont között elhelyezkedő pontszerű *objektum* (rakodó, műtárgy stb.) helyzetének rögzítésekor megadjuk az objektumot tartalmazó szakasz azonosítóját és az objektumnak a szakasz, valamint az út kezdőpontjától mért távolságát.

### 2.2.2. Úttengelyek ábrázolásához felhasznált alapadatok

Az úttengelyek szerkesztése az alábbi alapadatokra támaszkodva történhet:

- Terepi méréssorozatra támaszkodva, amely lehet:
  - mérőállomással történő részletmérés, vagy
  - GPS technológia alkalmazása.
- Digitális üzemtervi térkép alapján.

#### 2.2.2.1. Utak felmérése mérőállomással

Az utak felmérése az útkoronán vezetett sokszögvonala, valamint a sokszögpontokról végzett részletmérések megvalósításával az elérhető legnagyobb pontosságot biztosítja. A sokszögvonal kezdő- és végpontját alappontok hiányában geodéziai pontosságú GPS-méréssel kell meghatározni, majd a sokszögvonalat beillesztett vonalként célszerű számítani. Hosszú sokszögvonalak esetében a megbízhatóság növelése érdekében 2 kilométerenként további GPS alappontokat kell elhelyezni. (A kérdéskörrel részletesebben a 4.1.3. pontban foglalkozom.) A részletmérés elvégzésekor az úttengely helyett célszerű a burkolatszéleket felmérni, az út tengelyét az irodai feldolgozáskor állítjuk elő.

Egy erdőgazdaság több száz km hosszú feltáróhálózatán a burkolatszélek mérőállomással történő felmérése csak aránytalanul nagy költségek árán valósítható meg, így a már meglévő utak esetében ezt a módszert a gyakorlatban el kell vetni. Új utak esetében azonban az útépitést követően, a *megvalósítási terv* készítésekor végzett terepi részletmérés eredményeit – mivel azok EOV-területben állnak rendelkezésre – előnyösen fel lehet használni az új út információs rendszerbe illesztésénél.

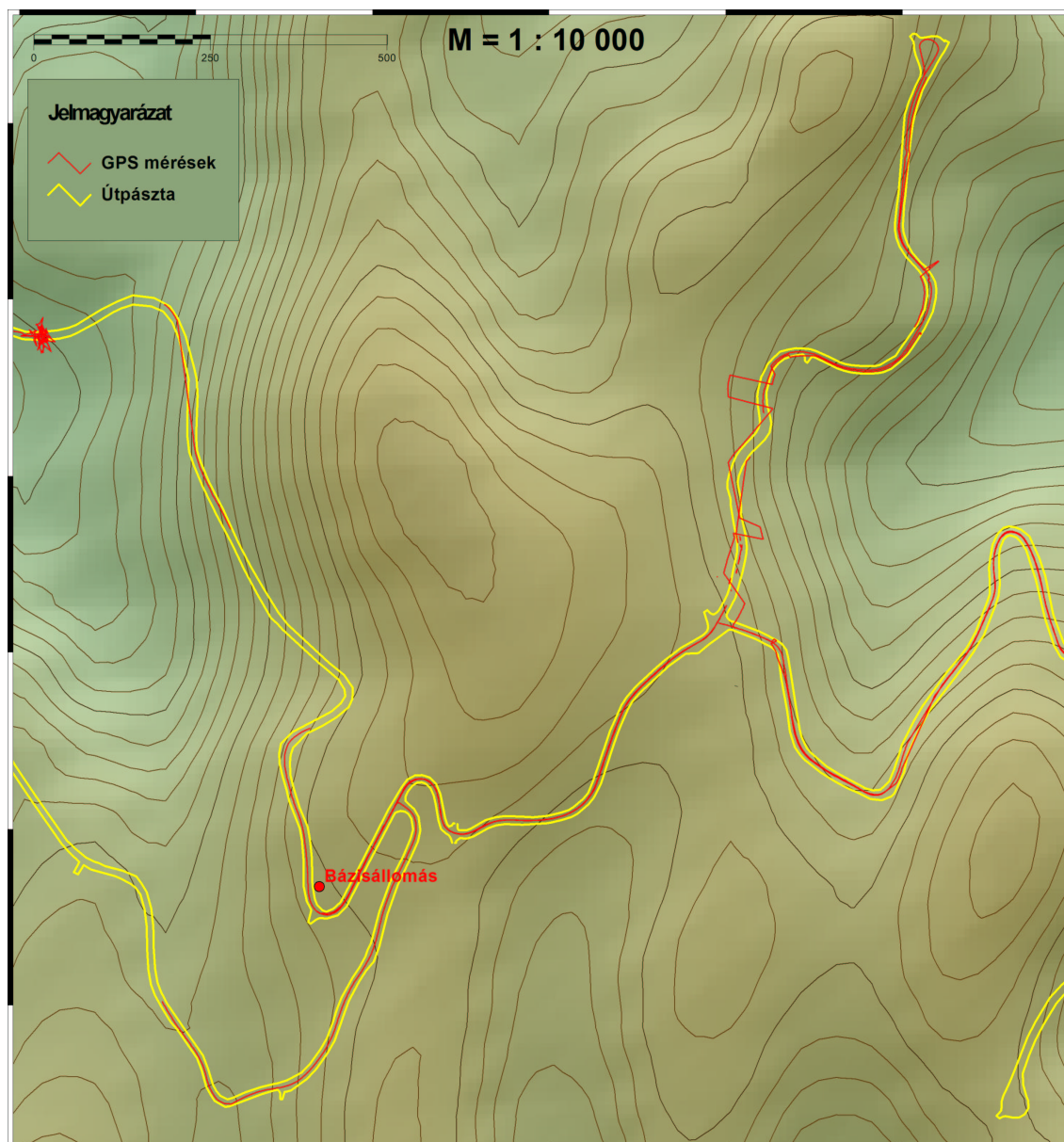
#### 2.2.2.2. GPS technológia úttengelyek felmérésében

Az erdőszeti feltáróhálózatot alkotó utak tengelyének felmérésére természetesen kínálja magát a ma már széleskörűen alkalmazott GPS technológia. A módszer erdőszeti körülmények közötti alkalmazhatóságának vizsgálatára 2004-ben méréssorozatot hajtottam végre, amelynek körülményeit és eredményeit az alábbiakban röviden összefoglalom [Markó–Péterfalvi, 2005].

A kísérlet helyszínéül az Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Tanszék által a Zalai Erdészeti és Faipari Zrt. számára készített tervek alapján megvalósult Csácsi II. o. erdőszeti feltáróutat választottam. A fővonal mellett két mellékvonalat is tartalmazó, összesen mintegy 7 km hosszú út változatos domborzati és faállomány viszonyok között helyezkedik el. A helyszínválasztást az indokolta, hogy az út megépítése után az arról készített megvalósítási térképet Intézetünk Földmérési és Távérzékelési Tanszéke készítette [Kovács, 2003]], így rendelkezésemre állt az út műszelvényének pontos digitális térképe.

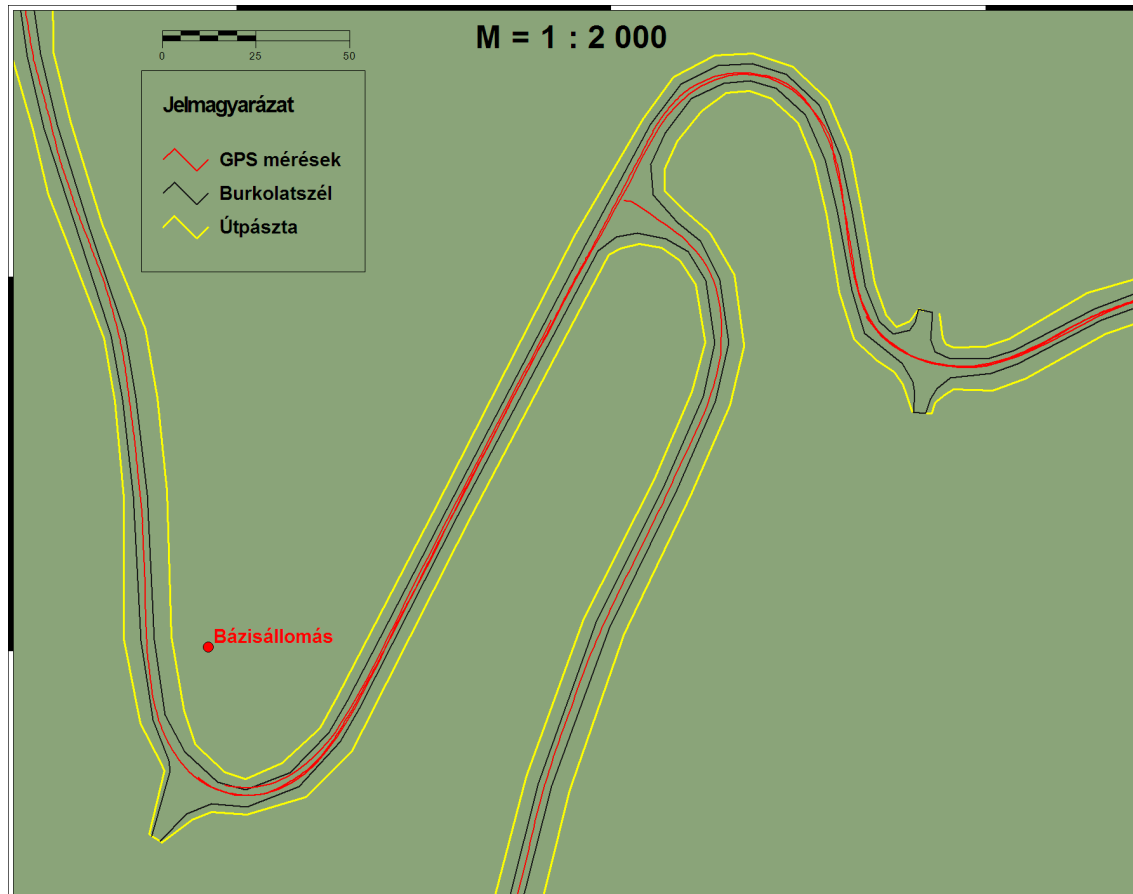
Az úttengely méréséhez differenciális kinematikus GPS-mérést alkalmaztam, utólagos feldolgozással. A mérés kivitelezéséhez Trimble SST4000 típusú geodéziai pontosságú GPS vevőpárt használtam. A mozgó vevőt mérőkocsiban, az antennát a mérőkocsi

tetején helyeztem el. A bázisállomásként használt vevőt a méréssorozat körülbelüli súlypontjában kitűzött, a zalaegerszegi permanens állomás adatai segítségével meghatározott koordinátájú alapponton helyeztem el. A két vevő a mérés ideje alatt másodpercenként rögzítette a műholdak jeleit. A „nyers” mérési eredményeket a GPSurvey szoftver segítségével értékeltem ki, a WGS–EOV transzformációt a DigiTerra Map, illetve a FÖMI EEHHTT programokkal végeztem el. A feldolgozott mérési eredményeket a 2-3. ábrán mutatom be.



2-3. ábra. A GPS-méréssorozat eredménye.

Az ábrán megfigyelhető, hogy helyenként a mért pontok nagy szórással követik az út vonalvezetését, sőt adathiányos szakaszok is előfordulnak. Ezek a szakaszok az út azon részein helyezkedtek el, ahol zárt (idős bükk) állomány található, illetve ahol az út meredek domboldalon halad. A mérési terület súlyponti részén, ahol az út egy ellaposodó nyeregben, középkorú akác állományok között halad, a módszer nagy pontosságú adatokat szolgáltat, ahogy ezt a 2-4. ábra szemlélteti.



2-4. ábra. A GPS-méréssorozat eredménye – részlet.

A mérés során szerzett tapasztalatokból levont következtetésem:

- A technológia alkalmas az erdészeti utak tengelyének nagy pontosságú (szubméteres) felmérésére.
- A mérési eljárás fő korlátozó tényezője a faállomány és a domborzati viszonyok.
- A GPS-el nem mérhető szakaszokat digitális tachimetráással kell felvenni.

### 2.2.2.3. Úttengelyek szerkesztése a digitális üzemi térképre támaszkodva

A terepi mérések során szerzett gyakorlati tapasztalataim, valamint az útügyi információs rendszert megrendelő erdőgazdaságok szakembereivel folytatott konzultáció alapján jelenleg az erdészeti üzemi térképek pontosságát kell elfogadnunk. A GPS technológia és digitális tachimetráálás kombinációjával megvalósított pontos terepi mérésre támaszkodó úttengely-szerkesztés kivitelezése idő-, eszköz- és költségigényes. Az információs rendszerben ábrázolt úttengelyeket az üzemi térképen kell megjeleníteni, ezért az úttengelyek pontos ábrázolása megkövetelné az üzemtervi térképek hasonló mértékű pontosítását is, ami a közeljövőben feltehetően nem valósítható meg.

Az erdőgazdaságok logisztikai rendszerének kiépítését (lásd a 2.5. alfejezetben) és a navigációs eszközök szélesebb körben való elterjedését követően a jövőben szükség lehet a feltáráshálózat pontosabb ábrázolására, ezért az ilyen irányú kutatásokat folytatni kell.



Az információs rendszer gyakorlati megvalósításakor végzett terepi bejárások alkalmával térinformatikai adatgyűjtő kategóriájú GPS készülékeket (iPAQ zsebszámítógép Emtac külső GPS vevővel, illetve Thales Navigation MobileMapperCe integrált térinformatikai adatgyűjtő) mind navigációs célból, mind tájékoztató jellegű mérések elvégzésére hatékonyan alkalmaztunk.

### 2.2.3. Jellemző pontok ábrázolása

Az útügyi információs rendszer megvalósítása során jellemző pontoknak a következőket tekintjük:

- *Csomópontok* – a szakaszok kezdő- és végpontjai. Helyüket az úttengelyek metszéspontjában, illetve az utak kezdő- és végpontjában jelöljük ki.
- *Hidak* – az áthidalt akadály és az út tengelyének metszéspontjában értelmezzük.
- *Kilométerpontok*.

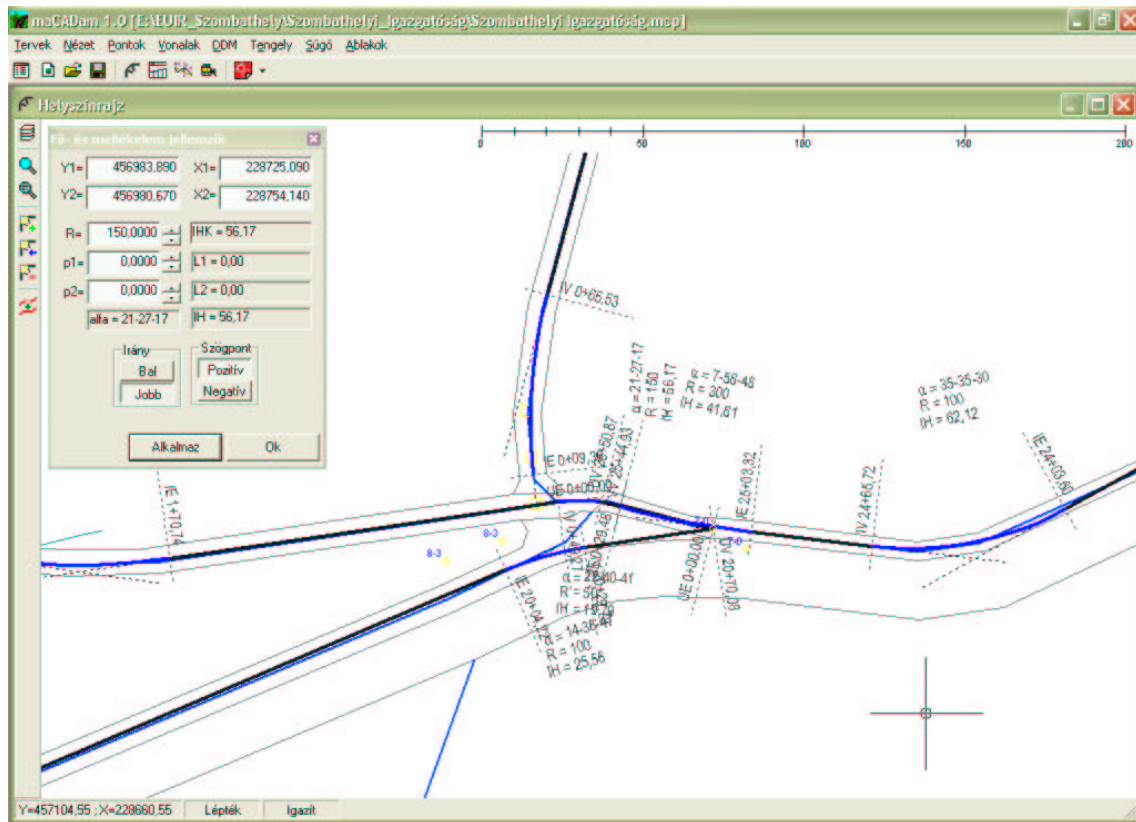
A feltáróhálózat terepi bejárásakor a jellemző pontokat aszfalt burkolatú utaknál az aszfaltba vert szeggel és sárga színű, kör alakú festéssel jelöljük, makadám pályaszerkezetű utak esetében a kilométerpontokat a padkán elhelyezett íráskaróval állandósítjuk. A jellemző pontokban GPS mérést végzünk, az úttengelyek későbbi rekonstruálásának megkönnyítése érdekében.

### 2.2.4. Úttengelyek vonalvezetésének rekonstruálása

Az út tengelye egymást követő egyenesek, ívek és átmeneti ívek sorozatából áll. Az úttengelyek geoinformatikai ábrázolására kidolgozott eljárás az általam fejlesztett maCADam szoftver interaktív, valós idejű grafikus tervezési lehetőségeit használja fel. (A programot a 4.3. alfejezetben mutatom be.)

Első lépésként a DigiTerra Map geoinformatikai szoftver segítségével megjelenített digitális térképi állományból adatszűréssel leválogatjuk az állami és erdészeti utak határait jelentő vonalakat, majd „.dxf” exportálást követően megjelenítjük azokat az úttervező programban. Az úttervező program grafikus felülete lehetővé teszi, hogy az utak határait jelző vonalakat, a jellemző pontokat és a körülbelüli vonalvezetést mutató GPS felvételi vonal felhasználásával a helyszínrajzi tengely egyeneseit és íveit a rendelkezésünkre álló adatok alapján a valóságot legjobban megközelítve helyezhessük el (2-5. ábra). Mivel a program közvetlenül mutatja a berajzolt tengely szelvényezését, ezért a jellemző pontok helye azonnal ellenőrizhető.

Az úttervező programban „újratervezett” úttengelyek „.dxf” formátumban, folyamatos vonalláncokként exportálhatók, majd a geoinformatikai programban – importálást követően – megjeleníthetők. A tengelytervezés ezen módszerével az egyes szakaszokhoz a vonalvezetés bizonyos jellemzői is hozzárendelhetők, mint például a minimális körívsugár, vagy az ívesség mértéke. A programok közötti átjárhatóságot a grafikus adatcsere formátum mellett az egységesen alkalmazott EOVS koordinátarendszer biztosítja.



2-5. ábra. Helyszínrajzi vonalvezetés rekonstruálása a maCADam programmal.

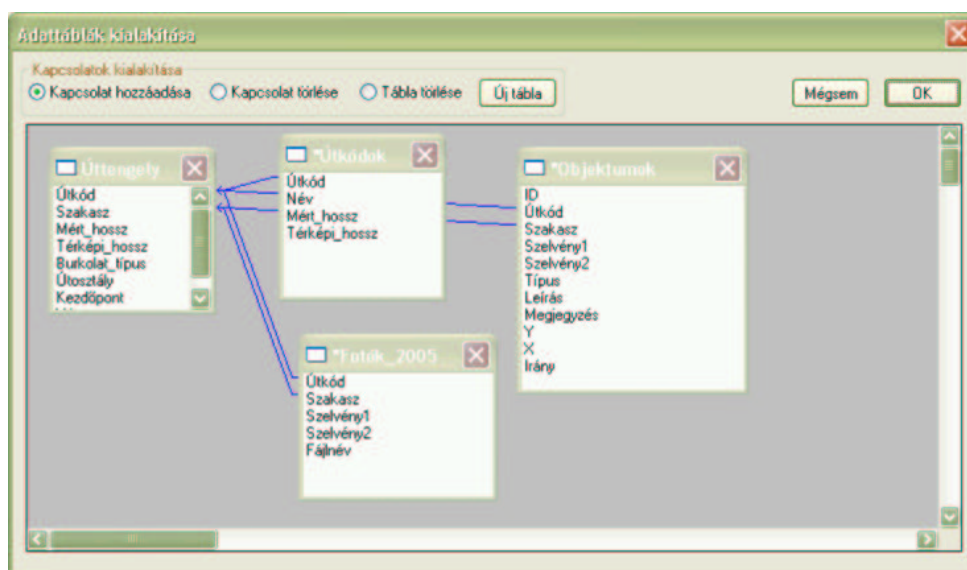
## 2.3. Az EUIR-ben rögzítendő leíró adatok

### 2.3.1. A szakaszokhoz rendelt elsődleges adatok

Az úthálózat elemeinek geoinformatikai ábrázolásában a szakasz képezi a relációs adatbázis alapegységét; a szakaszok rendelkeznek térképi adatokkal (koordinátákkal). Az útszakaszok elsődleges adattábláját a 2-1. táblázat ismerteti. Az utakhoz rendelhető összes további információ az *Útkód+Szakasz* adatmezőkön keresztül kapcsolódik a térképi objektumokhoz (linkelés, lásd a 2-6. ábrát).

2-1. táblázat. A *Szakaszok* adattábla felépítése.

Mezőnév	Adattípus	Megjegyzés
Útkód	Egész	Szakaszt tartalmazó út kódja.
Szakasz	Egész	Szakasz kódja.
Kezdőpont	Egész	Kezdőpontban lévő csomópont azonosítója.
Végpont	Egész	Végpontban lévő csomópont azonosítója.
Száll_irány	Bájt	Szállítás iránya (0=végpont→kezdőpont, 1=kezdőpont→végpont).
Térképi_hossz	Egész	Szakasz vetületi hossza.
Mért_hossz	Egész	Szakasz mérőkerékkel mért hossza.
Útosztály	Bájt	1-I. o. feltáróút, 2-II. o. feltáróút, 3-kiszállítóút.
Burkolat_típus	Bájt	1-aszfalt, 2-kötőanyag nélküli makadám.



2-6. ábra. Relációs adatbázis felépítése.

### 2.3.2. Leltári adatok

Az *út* – adattárolási szempontból – az egy leltári egységhez tartozó szakaszok összessége. Az *Útleltár* adattábla felépítését a 2-2. táblázat tartalmazza.

2-2. táblázat. Az *Útleltár* adattábla felépítése.

Mezőnév	Adattípus	Megjegyzés
Útkód	Egész	Út azonosítója.
Útnév	Szöveges	Út neve.
Mért hossz	Egész	Az utat alkotó szakaszok mért hosszának összege.
Térképi hossz	Egész	Az utat alkotó szakaszok térképi hosszának összege.

### 2.3.3. Műtárgyak, egyéb objektumok adatai

A szakaszok bejárásakor jegyzőkönyvben rögzítjük az úthoz kapcsolódó objektumok (műtárgyak, rakodók, sorompók stb.) típusát, valamint távolságát az út kezdőpontjától. A jegyzőkönyvek adatainak digitális rögzítése a 2-3. táblázat szerint kialakított adattáblában történik.

### 2.3.4. Forgalmi adatok

Az úthálózat üzemeltetési és fenntartási tevékenységeinél alapvető fontosságú az egyes hálózati elemek forgalmának ismerete. A burkolat igénybevétele szempontjából a nehéz gépjárművek forgalma a mértékadó, ami erdészeti utak esetében jellemzően a faanyagmozgatásból származó tehergépjármű forgalom formájában jelenik meg. Amennyiben jelentős, előre kalkulálható egyéb nehézgépjármű-forgalom is jelentkezik, természetesen

2-3. táblázat. Az *Objektumok* adattábla felépítése.

Mezőnév	Adattípus	Megjegyzés
ID	Egész	Objektum azonosítója.
Útkód	Egész	Út azonosítója.
Szakasz	Egész	Szakasz azonosítója.
Szelvény1	Egész	Mérési pont távolsága az út elejétől.
Szelvény2	Egész	Mérési pont távolsága a szakasz elejétől.
Objektumtípus	Bájt	1–Áteresztő 2–Híd 3–Sorompó 4–Rakodó 5–Parkoló
Leírás	Szöveges	Objektum típusának szöveges megjelenítése.
Megjegyzés	Szöveges	Egyéb szöveges megjegyzés.

azt is figyelembe kell venni. Ilyen egyéb forgalom lehet például a nagyobb idegenforgalmi igényeket is kielégítő utak buszforgalma, vagy az erdőgazdaság területén működő bánya tehergépjármű-forgalma, esetleg egy új út építéskor jelentkező építési forgalom.

Az egyéb forgalom arányát azért is fontos meghatározni, mert így objektív adatok alapján jogosan lehet igényelni azt, hogy ezek az idegen úthasználók forgalmukkal arányos útfenntartási terheket viseljenek [Kosztka, 2001b].

#### 2.3.4.1. Mértékadó típusjárművek

A különböző járműtípusok által keltett forgalmat 100 kN egységtengely-áthaladás [db] formájában kell kifejezni, hogy a pályaszerkezetre gyakorolt hatásuk összemérhető legyen. A feltáráshálózaton jelenleg és a közeljövőben megjelenő típus-gépjárművek legfontosabb adatait a *Járművek* adattáblában rögzítjük, amelynek felépítését a 2-4. táblázat tartalmazza.

2-4. táblázat. A *Járművek* adattábla felépítése.

Mezőnév	Adattípus	Megjegyzés
Jármű_ID	Bájt	Típusjármű azonosítója.
Típus	Szöveges	Jármű típusa.
q	Valós	Egy forduló hasznos terhelése [kN].
f100	Valós	Egy forduló forgalomterhelése [100 kN e.t.á.].

Megjegyzés: a raksúly meghatározásánál 1 m<sup>3</sup> faanyag súlyát 10 kN-nak vesszük.

#### 2.3.4.2. Az útszakaszok gravitációs körzeteinek meghatározása

Az elszállítandó faanyag mennyiségét erdőrészlet (alrészlet) szinten mutatjuk ki. A forgalomelemzés első lépése annak meghatározása, hogy az egyes erdőrészletek melyik útszakaszra gravitálnak. A geoinformatikai rendszer támogatást nyújthat ezen feladat megoldása során, de a valóságnak megfelelő szállítási irányok csak a területet és az alkalmazott közelítési technológiákat jól ismerő szakember segítségével jelölhetők ki!

Hosszú szakaszok, vagy szakaszon belüli eltérő szállítási irányok esetében a hálózati kapcsolatokat reprezentáló topológiát segédpontok felvételével módosítjuk. A segédpontok elhelyezését követően a korábbi útszakaszokat tovább „daraboljuk”, aminek eredményeképpen az egyes *szakaszok* az *azonos forgalmú* egységeket jelenítik meg. A segédpontokat a topológiában a továbbiakban a csomópontokkal azonos elvek szerint kezeljük.

Az erdőrészetek útszakaszokhoz rendelésének informatikai ábrázolását a 2-5. táblázatnak megfelelően végezzük el.

### 2.3.4.3. Az erdőrészetekben keletkező leszállítandó fatérfogat

A korábbi útfenntartási tanulmányokban az erdőrészetekben keletkező fatérfogatot három időpontra határozták meg [Kosztka, 1984]:

1. Az éves útfenntartási tervek sorrendjének meghatározásakor a tervezett beavatkozás évében jelentkező mennyiségeket.
2. Középtávú tervezéshez az üzemterv érvényességi idejében, illetve erdőterveknél az első ötéves terv végéig (1. ciklusban) tervezett fakitermeléseket.
3. Hosszú távú tervezéshez az üzemterv érvényességét követő 10 év, illetve erdőtervezett területen a 2. és 3. ötéves terv (2. ciklus) feladatait.

Ez a felosztás jól igazodik a korábban készített statikus útfenntartási tervekhez. A geoinformációs rendszertől azonban azt követeljük meg, hogy az abban tárolt adatok folyamatosan aktualizálhatók legyenek, ezért olyan rendszert kell kialakítani, amely tetszőleges intervallumokban képes rögzíteni a jelentkező szállítási feladatokat. Ezzel a megoldással részben kiküszöböljük azt a kellemetlenséget is, hogy az erdőtervek nem ugyanabban az évben készülnek az erdőgazdaság teljes területére.

A keletkező fatérfogat-adatokat a rendelkezésre álló fahasználati tervben és erdőtervben szereplő időszakoknak megfelelően kell rögzíteni. Az időszakok hossza, kezdő- vagy záróéve erdőrészetenként eltérő lehet, sőt a rendszer azt is megengedi, hogy az egyes erdőrészetekben eltérő számú időintervallumot rögzítsünk, vagy hogy az erdőrészet időszakon belüli fatérfogatát jellemző szállítójárművek szerint megosszuk. Az adattábla javasolt felépítését a 2-5. táblázat ismerteti.

Az adattábla egy rekordja tehát egy olyan időintervallumnak felel meg, amelyen belül ismerjük az adott részletben jelentkező azon faanyag mennyiségét, amit egy adott járműtípussal szállítunk. Az egyes intervallumokon belül – mivel jobb becsléssel nem rendelkezünk – a jelentkező faanyag megoszlását egyenletesnek tételezzük fel. A megoldás előnye, hogy a későbbi elemzések során tetszőlegesen kiválasztott két időpont között erdőrészetenként és járműtípusonként becsülhető a leszállítandó fatérfogat. Az időszakon belüli átlagos érték használata nyilvánvalóan nem fedi a valóságot – egy véghasználatot nem 10 év alatt végeznek el –, ám ez a hiba a szakasz tekintetében kiegyenlítődik; annál inkább, minél több részlet forgalma terheli – közvetlenül vagy közvetve – az adott szakaszt. Ha azonban egyes erdőrészetek esetében pontosabb adatok is rendelkezésre állnak, akkor azokat a legteljesebb mértékben figyelembe tudjuk venni. Ha például a fahasználati tervben rögzítve van, hogy egy adott erdőrészetben

2-5. táblázat. A *Fatérfogat* adattábla felépítése.

Mezőnév	Adattípus	Megjegyzés
Hely	Egész	Községhatár azonosítója.
Tag	Egész	Tag azonosítója.
Részlet	Egész	Erdőrészlet azonosítója.
Alrészlet	Egész	Alrészlet azonosítója (ha nincs, értéke 0).
Kezdő_év	Egész	Az időszak kezdete [évszám].
Záró_év	Egész	Az időszak vége [évszám].
Fatérfogat	Egész	Az időszak alatt keletkező, adott járművel adott szakaszon leszállítandó fatérfogat [m <sup>3</sup> ].
Jármű_ID	Bájt	Az időszakban mértékadónak tekintett jármű azonosítója.
Útkód	Egész	A közvetlenül forgalmazott szakaszt tartalmazó út kódja.
Szakasz	Egész	A közvetlenül forgalmazott szakasz kódja.

két év múlva történik a véghasználat, akkor a *Fatérfogat* adattáblába bekerül egy egy év hosszúságú időszak, amelynek kezdő és záró éve egyaránt 2008.

Az erdőrészekben keletkező szállítási feladatok rögzítése – az útszakaszokra gravitáló erdőrészek kijelöléséhez hasonlóan – az erdőgazdaság (az érintett erdőzet) szakembereinek a feladata, hiszen a művelési és fahasználati szakmai modulokkal kiegészített információs rendszerük segítségével ők tudják kigyűjteni a szükséges adatokat.

#### 2.3.4.4. A szakaszok saját forgalma

A későbbi fejezetekben ismerttetendő kalkulációk kiinduló adata lesz adott útszakasz bizonyos időintervallumon belüli forgalomterhelése. A szakaszok *saját forgalmának* azt a forgalomterhelést tekintjük, amely az adott szakaszt közvetlenül – jellemzően a rá gravitáló erdőrészek szállítási feladataival – terheli.

Az  $i$ . erdőrészekben keletkező, az útszakaszt a  $j$ . évben közvetlenül terhelő forgalom:

$$F_{100i,j} = \sum_{k=1}^n \frac{Q_k}{q_k} \cdot f_{100k} [100 \text{ kN e.t.á.}], \quad (1)$$

ahol:

- $n$  : Az  $i$ . erdőrészekben a  $j$ . évre vonatkozó, a vizsgált szakaszt terhelő szállítási feladatok száma.
- $Q_k$  : Az  $i$ . erdőrészek fatérfogatának azon hányada, amit a  $j$ . évben az adott útszakaszon a  $k$ . járművel kell leszállítani, [m<sup>3</sup>].
- $q_k$  : A  $k$ . tehergépkocsi raksúlya, [kN].
- $f_{100k}$  : A  $k$ . tehergépkocsi egy fordulójának forgalomterhelése, [100 kN e.t.á.]

Az  $i$ . erdőrészletben keletkező, a vizsgált útszakaszt  $a$ . és  $b$ . évek közötti időszakban közvetlenül terhelő forgalom:

$$F_{100_i} = \sum_{j=a}^b F_{100_{i,j}} [100 \text{ kN e.t.á.}] \quad (2)$$

Az útszakaszt  $a$ . és  $b$ . évek közötti időszakban közvetlenül terhelő (saját) forgalom:

$$F_{100} = \sum_{i=1}^m F_{100_i} + \sum_{l=1}^o N_l \cdot f_{100_l} [100 \text{ kN e.t.á.}], \quad (3)$$

ahol:

$F_{100}$  : A vizsgált útszakasz saját forgalma, az adott időintervallumban, [100 kN e.t.á.].

$m$  : Az útszakaszra gravitáló erdőrészletek száma.

$o$  : Az útszakaszt a vizsgált időintervallumon belül terhelő egyéb típusjárművek száma.

$N_l$  : Az  $l$ . egyéb típusjármű időintervallumon belüli fordulóinak száma.

$f_{100_l}$  : Az  $l$ . egyéb típusjármű egy fordulójának forgalomterhelése, [100 kN e.t.á.]

#### 2.3.4.5. A szakaszok hálózati forgalma

Az útszakasz *hálózati forgalmát* azon szakaszok saját forgalmának összegzésével számítjuk, amelyek a – közúthálózat felé történő – szállítási folyamatban a vizsgált szakaszt is terhelik. Későbbi elemzéseinkben az útszakaszok mértékadó forgalmának minden esetben azok hálózati forgalmát tekintjük. A szakaszok adott időintervallumon belül jelentkező hálózati forgalmát az információs rendszer a következők szerint számítja:

1. Meghatározzuk minden szakasz saját forgalmát, szállítási irányonként.
2. Az egyes szakaszok hálózati forgalmát egyenlővé tesszük a saját forgalommal.
3. Az 1. út 1. szakaszának saját forgalmát hozzáadjuk a szakaszhoz csatlakozó, a szállítási irányban lévő következő szakasz hálózati forgalmához.
4. Az előző ponthoz hasonlóan „végigjárjuk” a hálózatot mindaddig, amíg végponttal (pl. közútcsatlakozás) rendelkező szakaszhoz nem érünk.
5. A 3. és 4. pontokban leírtaknak megfelelően az összes út összes szakaszának saját forgalmát a topológiának megfelelően ráterheljük az érintett szakaszokra.

#### 2.3.5. Állapotadatok

Az útfenntartási rendszer kialakításához állapotjelző alapadatokra van szükségünk. Az állapotjelzőtől elvárjuk, hogy

- kifejezze azt a színvonalat, amit az út használójának nyújt;
- számszerű adatokkal kifejezett, természetes mértékegységben is mérhető legyen;

- kiértékelését követően megítélhető legyen a beavatkozás típusa és sürgőssége;
- objektív mérési adatokra támaszkodjon;
- automatikus gyűjtése megoldható legyen.

Ezen megfontolásoknak megfelelően az erdészeti útügyi rendszerben a következő állapotjelzőket tároljuk [Kosztka, 2001b]:

- Szemrevételezéssel állapítjuk meg
  - a burkolat állapotát,
  - a padkák és részűk minőségét,
  - a vízelvezető berendezések (árok, áteresztő) állapotát
  - a növényzet állapotát.
- Behajlásméréssel állapítjuk meg a pályaszekezet teherbírását.

### 2.3.5.1. A burkolat állapotának meghatározása

Az útpályaszerkezetek burkolatának állapota közvetlen hatással van a szállítási költségekre, de jelentős szerepet játszik a pályaszerkezet leromlási folyamatában is. A burkolat állapotát a felületi egyenetlenség, keréknyomképződés, felületi állapot és a burkolatszélék minősége alapján lehet megítélni. Erdészeti utak esetében ezek mértékét szubjektív szemrevételezéssel állapítjuk meg. A felsorolt ismérveket egyetlen összevont állapotjelző számmal, a járhatóság értékével fejezzük ki. Az 1-es járhatósági érték a legjobb állapotot, az 5-ös osztályzat a járhatatlan állapotot jelzi.

A járhatósági értéket 100 méterenként történő mintavételezéssel (szemrevételezéssel), az erre a célra kidolgozott *állapotfelvételi lap* kitöltésével rögzítjük [Kosztka, 2001b].

### 2.3.5.2. Pályaszerkezeten kívüli részek

A pályaszerkezeten kívüli részek állapotának meghatározása

Az árkok, áteresztők, padkák, részűk értékelését külön-külön kell elvégezni, célszerűen a burkolat minősítésével egyidőben. A felvételi adatokat ezért a már említett állapotfelvételi lapon kell rögzíteni [Kosztka, 2001b].

### 2.3.5.3. A teherbírás jellemzésére szolgáló behajlásmérés

A bitumen kötőanyagú pályaszerkezetek teherbírásának jellemzésére a terhelés hatására kialakuló rugalmas alakváltozás – behajlás – nagyságát használjuk. A terhelt tehergépkocsi ikerabroncsa közé a maximális behajlás helyére – a kerékfelfekvési középpontba – elhelyezett 1:1 arányú mérőkarokkal rendelkező behajlásmérőről leolvasott és 50 kN keréksúly terhelésére – lineáris összefüggést feltételezve – átszámított rugalmas



alakváltozást nevezzük behajlásnak [Nemesdy, 1974]. A mérést tavasszal, a lecsökkent talajteherbírás időszakában kell elvégezni, ezt tekintjük mértékadónak.

Erdészeti utak teherbírásának meghatározásakor a behajlásmérő felépítését és a mérés elvégzését az erdészeti utak felépítésének megfelelően (nagy behajlási sugár) módosították. A Benkelman-tartó mérőkarjainak arányát 2:1-re változtatták, így a behajlásmérő lábai a behajlási teknőn kívül támaszkodnak a burkolatra; a mérőcsúcs elhelyezése pedig a terhelt tehergépkocsi kerekének felfekvési középpontját megelőzi, ilyenkor a kerék áthaladásakor az aszfalt először benyomódik, majd rugalmasan visszaugrik – a teljes alakváltozás a két szélső érték különbségeként adódik. [Kosztka, 1984]

A teljes feltáráshálózat teherbírásának értékelésekor, a hosszú távú útfenntartási koncepció kidolgozásához a behajlásméréseket 100 m-ként kell elvégezni úgy, hogy minden mérési helyen két adatot (bal és jobb keréknyom) rögzítünk. Ezzel a módszerrel naponta 15–20 km hosszú szakasz mérhető végig.

A behajlásmérés elvégzésére a közutakon az 1980-as években alkalmazott Lacroix mérőkocsi – a kézi behajlásméréshez hasonló elven – 4 m-ként rögzített adatokat. Ennek ismeretében felvetődik a kérdés, hogy a 100 méterenkénti mintavételezés a hosszú távú tervezéshez mennyire megbízható információkat szolgáltat. A kérdés megválaszolására az Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Tanszék kutatói egy kijelölt útszakaszon mindkét módszerrel méréssorozatot végeztek, majd a két adatsorra támaszkodva megtervezték a pályaszerkezet megerősítését. A javasolt beavatkozásokat összehasonlítva arra a következtetésre jutottak, hogy a két mérési módszer azonos eredményre vezet, tehát az ismertett eljárás alkalmas erdészeti utak teherbírásának a jellemzésére [Kosztka, 1984]. Mérési eljárásunk helyességét támasztja alá az a tény is, hogy az országos közúthálózaton 1992 óta alkalmazott nehéz ejtősúlyos teherbírásmérés elvégzését is 100 m-es gyakorisággal végzik, a megerősítéseket pedig a dinamikus mérésből visszaszámolt behajlásra alapozva tervezik [Rósa, 2004].

Az egyes utak tényleges megerősítésének tervezése előtt célszerű a teherbírás-méréseket legalább 20 m-es gyakorisággal elvégezni egyrészt azért, hogy a mérési eredmények statisztikai feldolgozása nagyobb megbízhatóságú legyen, valamint azért, hogy a különböző állapotú szektorok határát pontosan meg lehessen állapítani.

A kötőanyag nélküli (makadám) burkolatú utak teherbírását a statikus ( $E_2$ ), vagy a dinamikus ( $E_d$ ) teherbírás értékének mérésével lehet jellemezni. A mért értékek a szakaszok teherbírás szerinti rangsorolásához felhasználhatók, azonban a szükséges útfenntartási (megerősítési) feladatokat ezekre az adatokra támaszkodva jelenleg nem tudjuk meghatározni.

#### 2.3.5.4. Fényképek készítése

Az állapotértékelés során, a teherbírás-mérési pontokban és a csomópontokban készített digitális fényképek segítségével a feltáráshálózat állapotáról rögzíthetünk egy vizuális pillanatfelvételt. A fényképek kezelését elősegítő adattábla kialakítását a 2-6. táblázat mutatja be. Az adattáblát az információs rendszerben megjelenítve, majd a *Fájlnév* mezőben tárolt elérési útvonalra kattintva az adott kép (az operációs rendszer beállításaitól függő szoftver segítségével) megjeleníthető. Az állapotfelvétellel egyidőben

készített digitális fényképsorozat a szubjektív állapotfelvétel utólagos, irodai ellenőrzésére, finomítására kiválóan alkalmazható segédeszköznek bizonyult.

2-6. táblázat. A *Fényképek* adattábla felépítése.

Mezőnév	Adattípus	Megjegyzés
Útkód	Egész	Út azonosítója.
Szakasz	Egész	Szakasz azonosítója.
Szelvény1	Egész	Mérési pont távolsága az út elejétől.
Szelvény2	Egész	Mérési pont távolsága a szakasz elejétől.
Fájlnev	Dokumentum	A szakaszhoz rendelt fénykép elérési útvonala.

### 2.3.5.5. Az állapotadatok tárolása

Az előző pontokban részletezett mérések, megfigyelések értékeit az *Állapot* adattáblában rögzítjük (2-7. táblázat).

2-7. táblázat. Az *Állapot* adattábla felépítése.

Mezőnév	Adattípus	Megjegyzés
Útkód	Egész	Út azonosítója.
Szakasz	Egész	Szakasz azonosítója.
Szelvény1	Egész	Mérési pont távolsága az út elejétől.
Szelvény2	Egész	Mérési pont távolsága a szakasz elejétől.
s_bal	Valós	Bal keréknyomban mért behajlás, [mm].
s_jobb	Valós	Jobb keréknyomban mért behajlás, [mm].
Ed_bal	Egész	Bal oldali dinamikus teherbírési modulus, [MPa].
Ed_jobb	Egész	Jobb oldali dinamikus teherbírési modulus, [MPa].
Járhatóság	Valós	Szubjektív járhatósági index.
Jellemző_hiba	Bájt	A mértékadó úthiba kódja.
Padka_bal	Bájt	A bal oldali padka állapotát jellemző kód.
Padka_jobb	Bájt	A jobb oldali padka állapota.
Árok_bal	Bájt	A bal oldali árok állapotát jellemző kód.
Árok_jobb	Bájt	A jobb oldali árok állapota.
Növényzet	Bájt	A növényzet állapota.
Megjegyzés	Szöveges	Egyéb észrevételek.
Fotó	Szöveges	A mérési helyhez rendelt fénykép elérési útvonala.

Makadám pályaszerkezetű útszakasz esetében a behajlási adatok helyett – amennyiben megmértük – a dinamikus teherbírési modulus ( $E_d$ , [MPa]) értékeit tároljuk.

### 2.3.5.6. Az állapotadatok értékelése

Az információs rendszerben szereplő útállapot-adatokat 100 méteres gyakorisággal, pontszerűen rögzítjük. A mért eredmények kiértékelése az azonos állapotú *szektorok* kijelölésével kezdődik. Az eddigi útfenntartási rendszerekben *szektorként* az azonos *beavatkozási igényű* útszakaszt definiálták [Kosztka, 1984], a geoinformációs rendszerben történő

ábrázolásakor azonban célszerűbb, ha a *szakaszok szektorokra* bontását már az azonos *állapotú* (egyenteherbírású, azonos járhatóságú) útszakaszok kijelölésekor elvégezzük. A szektorok ilyen értelmezése természetesen nem zárja ki azt, hogy az útfenntartási beavatkozások tervezésekor a kivitelezés ésszerűsítése érdekében összevonjuk őket. A szektorok járhatóságát a mértékadó járhatósággal, behajlását a mértékadó behajlással jellemezzük.

A mértékadó behajlás meghatározása az alábbiak szerint történik:

$$s_m = \bar{s} + c \cdot \sigma \quad (4)$$

ahol:

$s_m$  : A mértékadó behajlás [mm].

$\bar{s}$  : Az átlagos behajlás [mm].

$c$  : Megbízhatósági szorzó, értéke erdészeti utak esetében 2.

$\sigma$  : A szórás.

Az átlagos behajlás az

$$\bar{s} = \frac{\sum_{i=1}^n s_i}{n}$$

képlettel számolható, ahol:

$s_i$  : Az  $i$ , 50 kN kerékterhelésre átszámított behajlás [mm].

$n$  : A figyelembe vett mérések száma.

A szórás a korrigált szórás ismert képletével számítható:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{s} - s_i)^2}{n - 1}}$$

A szektorok kijelölése a mérési eredmények ismeretében vagy automatizált algoritmus szerint, vagy manuálisan végezhető el. A Lacroix mérőkocsi által 4 méterenként rögzített adatokat egy statisztikai szoftver értékelte ki, amely automatikusan meghatározta az egyenteherbírású szektorok határait. Ezt az eljárást alapvetően a nagymennyiségű mérési adat indokolta [Baksay, 1976]. A közutak teherbírásának jelenlegi meghatározásakor a nehéz ejtősúlyos berendezéssel (KUAB) 100 méterenként mérnek, majd az adatok kiértékelésekor automatikusan 1 km hosszú szektorokat jelölnek ki, és ezekre határozzák meg a mértékadó behajlást [Rósa, 2004].

Az egyenteherbírású szektorokat az EUIR-ben a következők szerint jelöljük ki:

1. Utanként (tehát az egymást követő szakaszokat összevonva) a szubjektív állapotfelfelvétel és a behajlásmérés adatait együttesen, hossz-szelvénytípusú ábrázoljuk.

2. A szakaszhatárok, a behajlási adatok változásának trendje, valamint a szubjektív járhatósági index figyelembevételével kijelöljük a szektorhatárokat.
3. A szektorokra meghatározzuk a mértékadó behajlás és járhatóság értékeit.
4. Megvizsgáljuk, hogy az egymást követő, közel azonos teherbírású és/vagy járhatóságú szektorok összevonhatók-e.

A szektorhatárok kijelölésekor a következőkre kell figyelemmel lenni:

- Minden szektor tartalmazzon legalább 10 behajlásmérési adatot, vagyis – 100 méterenkénti adatsűrűséget feltételezve – a szektor minimális hossza 500 m.
- Az információs rendszerben a szakaszhatár szektorhatár is egyben.
- Rövid ( $L < 500$  m) szakasz esetében a mértékadó behajlás és járhatóság számítását úgy kell elvégezni, hogy figyelembe vesszük a szomszédos szektor(ok) adatait is, majd az így kapott mértékadó értéket rendeljük hozzá az érintett szektorokhoz.

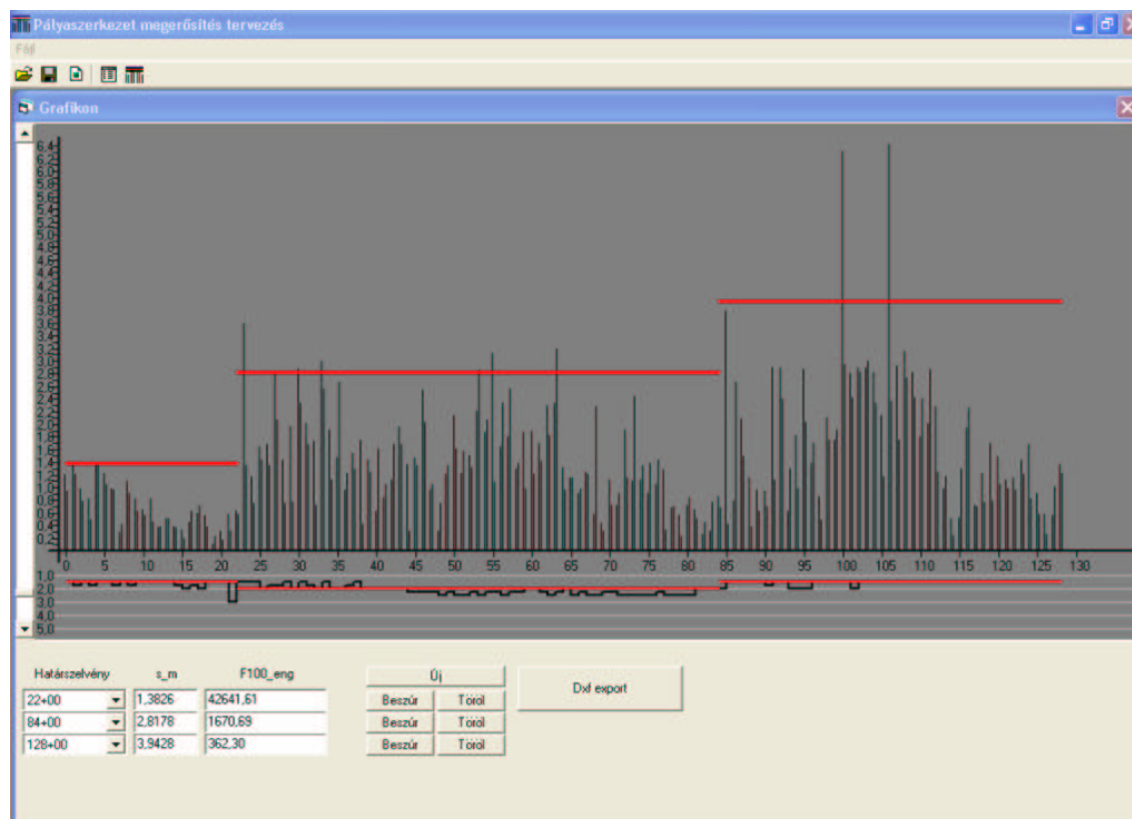
A mértékadó járhatóság meghatározásakor először kiszámítjuk a terepen rögzített értékek átlagát, majd ezt az értéket ismét szubjektíven 0,25...1,00 értékkel megnöveljük.

A szektorhatárok kijelölését és a szektoronkénti mértékadó behajlás számítását támogató, általam fejlesztett *Behajlás* program a 2-7. ábrán látható. A grafikon vízszintes tengelyén a mérési helyek szelvényértéke [hm] dimenzióban, a függőleges tengelyen a mért behajlások értéke [mm] dimenzióban szerepel. A mértékadó behajlásokat a szektoronként elhelyezett vízszintes piros vonalak mutatják. A vízszintes tengely alatt a szubjektív járhatósági index értékei helyezkednek el, a szektorok átlagai ismét csak piros vonallal jelennek meg.

A mértékadó járhatóság és teherbírás mellett szektoronként tároljuk a maximális behajlás és a legrosszabb járhatóság értékét, valamint a szektorra általánosan jellemző felületi hiba kódját (2-8. táblázat).

2-8. táblázat. A *Szektorok* adattábla felépítése.

Mezőnév	Adattípus	Megjegyzés
Útkód	Egész	Út azonosítója.
Szakasz	Egész	Szakasz azonosítója.
Szektor	Egész	Szektor azonosítója.
Kezdőszelvény	Egész	Szektor kezdetének távolsága a szakasz elejétől.
s_m	Valós	Mértékadó behajlás, [mm].
s_max	Valós	Maximális behajlás, [mm].
Járhatóság	Valós	Mértékadó járhatósági index.
Járhatóság_max	Valós	Legrosszabb járhatósági index.
Jellemző_hiba	Bájt	A mértékadó úthiba kódja.
Megjegyzés	Szöveges	Egyéb észrevételek.

2-7. ábra. A *Behajlás* program felülete.

## 2.4. Az EUIR, mint az útfenntartási rendszer alapja

Az EUIR útfenntartási alrendszerének kialakításakor az Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Tanszéken korábban kidolgozott útfenntartási rendszerek megoldásaiból indultam ki. A burkolatok tönkremenetelének modellezéséhez felhasznált egyenletek és az állapotértékelési módszerek alapvetően nem változtak, de a geoinformatika lehetőségeit kihasználva az adatok tárolását, feldolgozását és értékelését egy dinamikus, folyamatosan aktualizálható rendszerben valósítottam meg. A jövőben elvégzendő útfenntartási beavatkozások előírása helyett pedig az információs rendszer döntéstámogató funkcióját hangsúlyozom.

### 2.4.1. Az útfenntartási rendszer célja

Amíg egy-egy út megvalósul, a beruházók, tervezők és kivitelezők időt és pénzt nem kímélve a tervek és megoldások több változatát készítik el, vitatják meg és nagy erőfeszítéseket tesznek a szükséges pénzügyi fedezet előteremtésére. A megvalósítás érdekében kifejtett néhány éves intenzív tevékenységet az út átadása után sokszor évtizedben mérhető csend követi, majd később „fájdalmas” sóhajokat lehet hallani az útfenntartási terhek jelentkezése és hordozása miatt. [Beck, 1981.]

Egy új út átadásakor a beruházók az útfenntartási terhek jövőbeni megjelenésének tényével természetesen tisztában vannak, ám általában az útfenntartási tevékenységek idejét és a beavatkozások módját közép és hosszú távra sem tervezik meg. Egy kritikus

hosszt (100. . . 150 km) meghaladó úthálózat spontán végzett beavatkozásokkal azonban már nem tartható fenn hatékonyan. Az útfenntartási tevékenységek rendszerszemléletű tervezését csak egy megfelelően kialakított útfenntartási rendszerre alapozva lehet elvégezni. Az útfenntartási rendszer választ ad a következő kérdésekre [Kosztka, 1984]:

- Az úthálózat mely szakaszán szükséges valamilyen beavatkozás?
- Mi a hiba?
- Mit kell tenni?
- Mikor kell a beavatkozást elvégezni?
- A tervezett beavatkozás mekkora költségekkel jár?

#### 2.4.2. Az útfenntartási tevékenységek

*Javításról* beszélünk akkor, amikor helyi, lokálisan kialakuló meghibásodásokat állítunk helyre azért, hogy a hibák elfajulását a leromlási lánc megszakításával megakadályozzuk. Ezekkel a munkákkal nem célunk az útállapot javítása, elvégzése azonban fontos, mert ez biztosítja azt, hogy az út leromlási folyamata normálisnak tekinthető ütemben folyjon le. A munkákat a hiba kialakulásának kezdetén kell elvégezni, amikor az még egyszerű és olcsó módszerrel megszüntethető. Előre tervezni nem lehet, mert sok véletlenszerű tényező befolyásolja (az építőanyag minőségének egyenetlenségei, a helyi tervezési és kivitelezési hibák stb.)

A *karbantartási* munkák elvégzésekor az a célunk, hogy hosszabb útszakaszon egységes műszaki állapotot hozzunk létre, lelassítva ezzel a leromlási folyamatot is. Ezért egy-egy hosszabb útszakaszt egy vagy több szempontból az új út állapotának megfelelő vagy azt megközelítő állapotba hozunk. Ez a beavatkozás általában az egész felületre kiterjedő vékony réteg beépítésével (felületi bevonás, minimális rétegvastagságú aszfaltszőnyeg) valósul meg. A beavatkozás időpontja előre megtervezhető.

*Felújításkor* az út valamennyi paraméterét az új állapotnak megfelelő szintre kell emelni. Kimondottan építés jellegű beavatkozás, amelyet az út fő szerkezeti részeinek tönkremenetelekor kell elvégezni. Lényeges jellemzője, hogy a pályaszerkezetet egy méretezett réteg építésével megerősítjük úgy, hogy az egy meghatározott időszak (10–15–20 év) forgalmát elviselje. Ez a munka lényegében tehát egy elhasználódott érték pótlásának tekinthető [Kosztka, 2001b].

#### 2.4.3. A pályaszerkezet leromlásának modellezése

Bitumen kötőanyagú pályaszerkezetek leromlását az USA Állami Útépítő Hivatalok Szövetsége szervezésében lefolytatott útkísérlet-sorozat („AASHO-útkísérletek”) eredményeként kimutatott összefüggéssel tudjuk modellezni. Az

$$F_{100,eng} = \frac{10^{5,27}}{s^{4,55}} [100 \text{ kN e.t.á.}] \quad (5)$$

összefüggés a forgalom hatására fellépő teherbírás-csökkenést írja le és azt fejezi ki, hogy az adott  $s$  [mm] behajlással jellemzett pályaszerkezeten mekkora forgalom haladhat át a

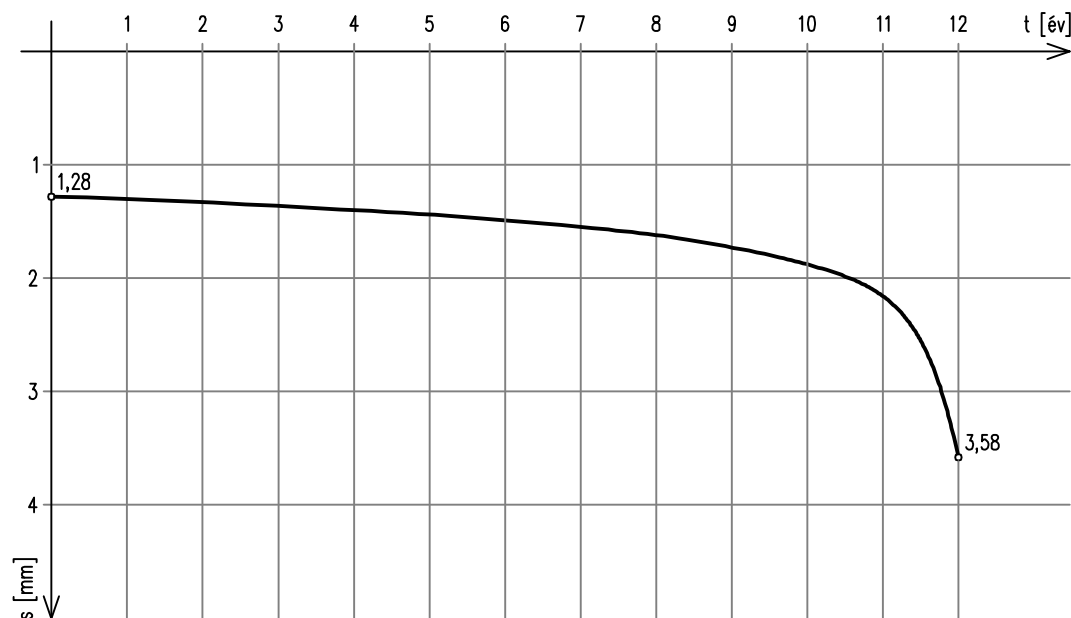
teljes tönkremenetelig [Boromissza, 1976]. Az 5. képlet átrendezésével, a kezdeti (mért) behajlás és a jövőbeni forgalom ismeretében számítható a pályaszerkezet teherbírását jellemző behajlás változása. A 2-8. ábrán bemutatott leromlási modell 1,28 mm kezdeti mért behajlás és évenkénti 5000 egységtengely-áthaladás feltételezésével készült.

A leromlási függvényt az információs rendszerben a következőképpen állítjuk elő:

1. Az egyenteherbírású szektorra a behajlásmérések alapján kiszámítjuk a kezdeti mértékadó behajlást ( $s_{m_0}$ , [mm]).
2. A kezdeti mértékadó behajlás ismeretében az 5. képlettel meghatározzuk az élettartam végéig megengedhető forgalomnagyságot ( $F_{100,eng}$ , [100 kN e.t.á.]).
3. A modellezendő időintervallumban minden évre meghatározzuk a várható éves forgalmat ( $F_{100_i}$ ) és az éves forgalommal csökkentett megengedett forgalmat ( $F_{100,eng_i}$ ). A módszer lehetővé teszi, hogy évenként különböző forgalommal számoljunk.
4. Az 5. egyenlet átrendezésével minden évre számítható a várható behajlás értéke:

$$s_{m_i} = 4,55 \sqrt[4]{\frac{10^{5,27}}{F_{100,eng_i}}} \text{ [mm]} \quad (6)$$

5. A pályaszerkezet élettartamának végét az az év jelenti, ahol az éves forgalom meghaladja a megengedett forgalom mértékét – ha  $F_{100,eng_i} < 0$ , (6) alapján  $s_{m_i}$  nem határozható meg. (Az állapotfelvevéstől számított 13. év már kívül esik a példaként szerepeltetett modell értelmezési tartományán.)



2-8. ábra. A teherbírás változásának modellje ( $F_{100_i} = 5000$  [100 kN e.t.á./év]).

A pályaszerkezet leromlási modellje feltételezi, hogy az élettartam alatt a szükséges *javításokat* az út üzemeltetője elvégzi. A javítások hiányában ugyanis a lokális hibák elfajulnak, ami a pályaszerkezet rohamos tönkremeneteléhez vezet.

Kötőanyag nélküli pályaszerkezetek leromlására nem rendelkezünk elméletileg elfogadható és a gyakorlatban is igazolt leromlási modellel. A behajlásmérésen alapuló tervezés makadám pályaszerkezetek esetén nem fogadható el, mert ezen pályaszerkezetek (és az őket alátámasztó földmű) tönkremenetele alapvetően különbözik az aszfalt pályaszerkezetek tönkremenetelétől.

#### 2.4.4. A mértékadó behajlás értékelése

Az 5. képlet alapján látható, hogy a mértékadó behajlást csak a pályaszerkezet tervezett élettartama (10. . . 20 év) alatti forgalom ismeretében tudjuk megítélni. Ugyanaz a behajlás kisebb forgalomnál megfelelő, nagyobb forgalomnál azonban már lecsökkent teherbírásra utalhat. A megengedett behajlás értéke, a pályaszerkezet elvárt élettartama alatti mértékadó forgalom ( $F_{100,m}$ ) függvényében a következők szerint számítható:

$$s_{eng} = \sqrt[4,55]{\frac{10^{5,27}}{F_{100,m}}} \text{ [mm]} \quad (7)$$

Amennyiben  $s_m < s_{eng}$ , a pályaszerkezet teherbírása megfelelő, vagyis tönkremenetele a tervezett élettartamon belül nem következik be. Ha  $s_m > s_{eng}$ , a pályaszerkezet a tervezett élettartamon belül megerősítésre szorul.

A korábbi útfenntartási tanulmányokban a tanulmány készítésekor meghatározták a rövid-, közép- és hosszútávon jelentkező forgalmat és a megengedett behajlásokat, amiket aztán összehasonlítottak a mértékadó behajlással. Ennek a megoldásnak megfelelően definiálták a teherbírás szolgáltatási színvonalát, amit a 2-9. táblázat szerint értelmeztek [Kosztka, 1984].

2-9. táblázat. A teherbírás szolgáltatási színvonal.

Beavatkozás ideje	Állapot	Sürgősség
15 év után	1	0
11–15 év között	2	0
6–10 év között	3	1
3–5 év között	4	2
2 éven belül	5	3

A beavatkozás időpontja és sürgőssége közötti összefüggést a továbbiakban is követendőnek tartom, azonban az információs rendszer a beavatkozások javasolt időpontját kissé eltérő módon fogja megadni.

#### 2.4.5. Pályaszerkezet-megerősítés tervezése

Az erősítőréteg szükséges egyenérték-vastagsága az AASHO-útkísérletek alapján a következő képlettel számítható [Boromissza, 1976]:

$$\Delta H_e = 70 \cdot \lg \frac{s_m}{s_{eng}} \text{ [ecm]} \quad (8)$$



A 8. képletben szereplő  $s_{eng}$  megengedett behajlás számításához meg kell határozni a megerősített pályaszerkezet élettartamát, majd az élettartam alatti forgalmat ( $F_{100,m}$ ).  $\Delta H_{e_i}$  a meghatározott élettartam alatti összes olyan évre számítható, ahol  $s_m < s_{eng}$ . Ezek után a következő kérdések adódnak:

- Mikor avatkozunk be a leromlási folyamatba az erősítőréteg beépítésével?
- Mekkora válasszuk az élettartamot?

#### 2.4.5.1. A megerősítés javasolt időpontja

Új aszfaltréteg beépítését legkorábban arra az évre célszerű előirányozni, amikor a leromlási modell által javasolt  $\Delta H_{e_i}$  egyenérték-vastagság eléri a technikailag megengedett minimális rétegvastagságot. Ez kopórétegbe építhető aszfaltok esetében jellemzően 3,0 cm geometriai rétegvastagságnak vehető, ami (2,0...2,2 egyenérték-tényező figyelembevételével) 6,0...6,6 ecm-nek felel meg.

A pályaszerkezetet legkésőbb a leromlási modellel prognosztizált tönkremenetel előtti évben meg kell erősíteni; erre az évre is kalkulálható a  $\Delta H_{e_i}$  szükséges egyenérték-vastagság.

A megerősített pályaszerkezet tervezett élettartamának hatását a 2-8. ábrán bemutatott leromlási modellnek a 2-9. ( $N = 10$  év) és 2-10. ( $N = 20$  év) ábrákon történő kiegészítésével érzékeltetem.

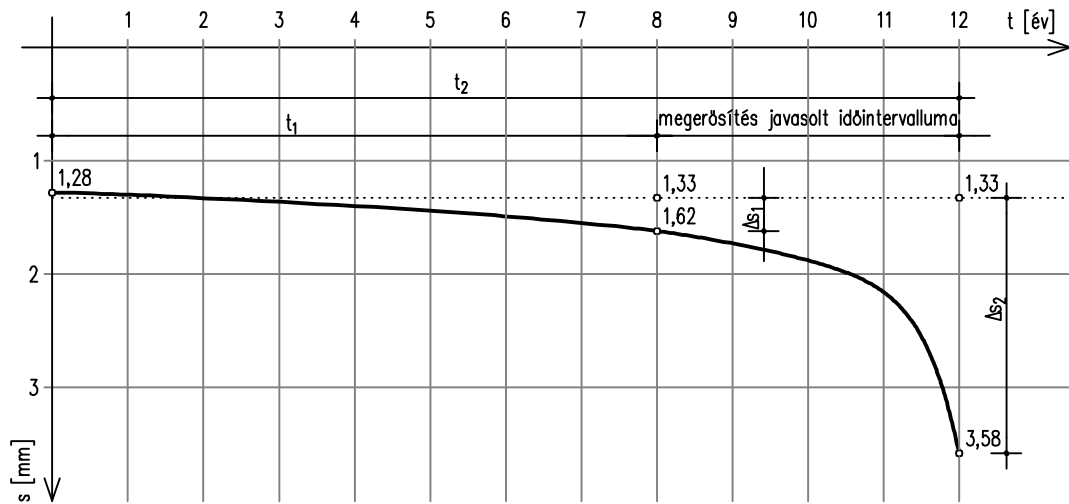
A 2-9. ábrán a megerősítés javasolt időintervalluma az állapotfelvételtől számított 8. és 12. év között van. A beépítendő aszfaltszőnyeg méretezését (8) alapján végezzük el, ahol

- $s_m$  [mm] a felújítás tervezett időpontjára előrevetített behajlás,
- $s_{eng}$  [mm] a felújítást követő 10 év forgalmának megfelelő megengedett behajlás.

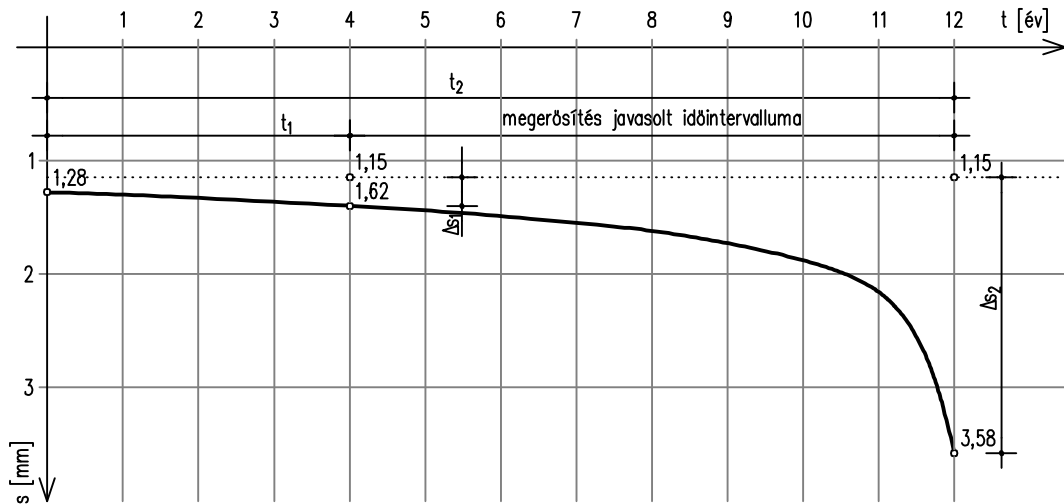
10 évre tervezett élettartam esetében a pályaszerkezet megerősítésére tett javaslat a következők szerint fogalmazható meg: a megerősítést az állapotfelvételt követő 8. és 12. év között kell elvégezni; a modell szerint a 8. évben  $\Delta H_e = 5,96$  [ecm], a 12. évben  $\Delta H_e = 30,02$  [ecm] vastagságú erősítőréteg beépítésével.

20 évre tervezett élettartam esetében a pályaszerkezet megerősítésére tett javaslat a következők szerint fogalmazható meg: a megerősítést az állapotfelvételt követő 4. és 12. év között kell elvégezni; a modell szerint a 4. évben  $\Delta H_e = 6,05$  [ecm], a 12. évben  $\Delta H_e = 34,65$  [ecm] vastagságú erősítőréteg beépítésével.

Természetesen a javasolt időintervallumon belül bármely évre megbecsülhető az adott évben beépítendő erősítőréteg szükséges egyenérték-vastagsága.



2-9. ábra. A felújítás javasolt intervalluma,  $N = 10$  év ( $F_{100_i} = 5000$  [100 kN e.t.á./év]).

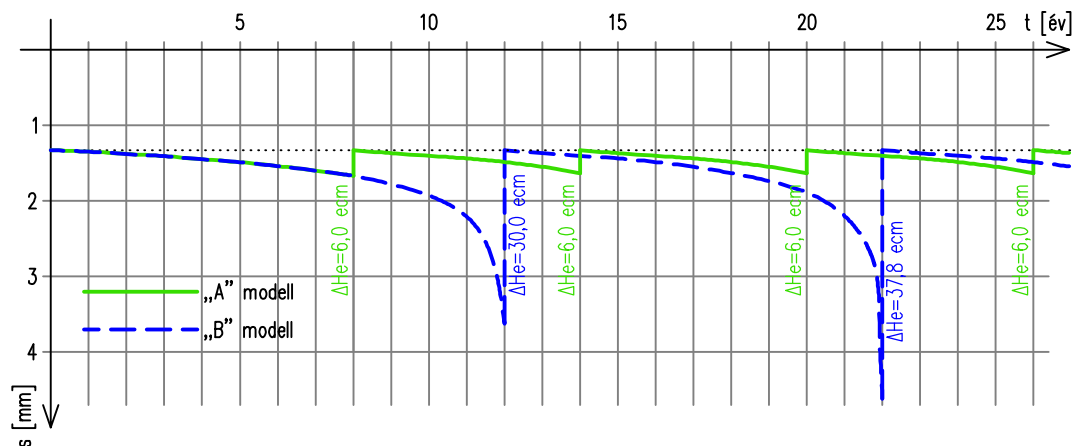
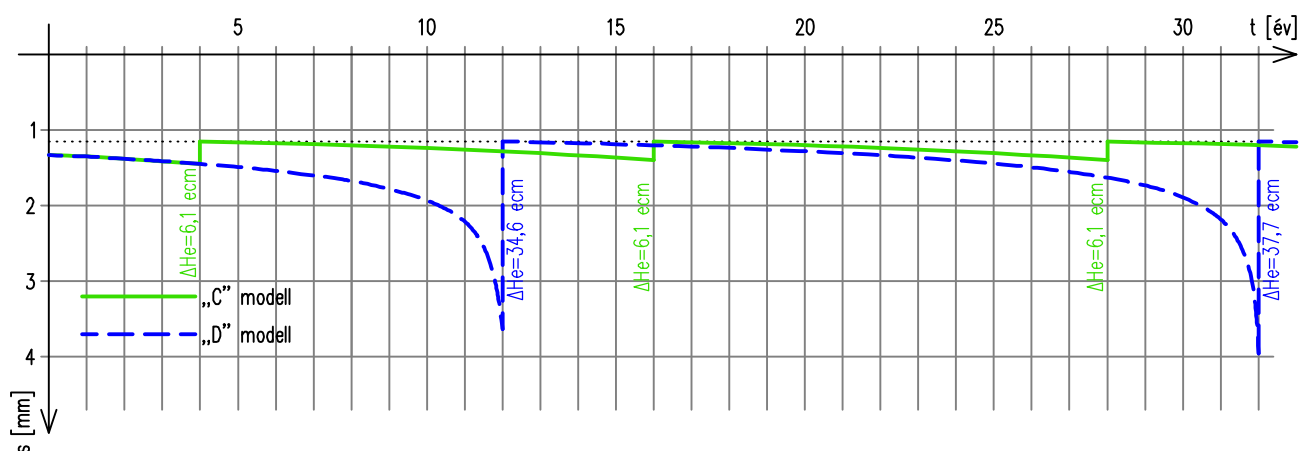


2-10. ábra. A felújítás javasolt intervalluma,  $N = 20$  év ( $F_{100_i} = 5000$  [100 kN e.t.á./év]).

#### 2.4.5.2. A megerősítés javasolt élettartama

Az előző alfejezetben alkalmazott leromlási modellnél maradva vizsgáljuk meg, hogy különböző pályaszerkezet-gazdálkodási stratégiák hosszú távon hogyan befolyásolják az út állapotát és mekkora anyagfelhasználással járnak. A következőkben 4 pályaszerkezet-gazdálkodási stratégiát vizsgálunk meg. Ezen stratégiák mindegyikénél feltételezzük, hogy az út üzemeltetője a szükséges javításokat folyamatosan elvégzi, valamint hogy a megerősítéseket mindig a tervezett élettartamra méretezve végzi el. Az egyes stratégiák az anyagfelhasználás szempontjából akkor hasonlíthatók össze, ha kiszámítjuk az évi átlagban beépített pályaszerkezet egyenérték-vastagságát.

A különböző stratégiáknak megfelelő modellek a 2-11. és a 2-12. ábrákon szerepelnek; a stratégiákat a 2-10. táblázatban hasonlítom össze.

2-11. ábra. Pályaszerkezet-gazdálkodási stratégiák,  $N = 10$  év.2-12. ábra. Pályaszerkezet-gazdálkodási stratégiák,  $N = 20$  év.

2-10. táblázat. A pályaszerkezet-gazdálkodási stratégiák összehasonlítása.

Stratégia	Élettartam [év]	Megerősítések		Anyagfelhasználás [ecm/év]
		gyakorisága [év]	e. vastagsága [ecm]	
„A”	10	6	6,0	1,0
„B”	10	10	37,8	3,8
„C”	20	12	6,1	0,5
„D”	20	20	37,7	1,9

A stratégiák elemzése után levonható következtetések:

1. A gyakori beavatkozásokkal vékony aszfaltréteget beépítő modellek anyagfelhasználása lényegesen kisebb, mint az élettartam végén szükséges vastagabb aszfaltréteget használó modelleké.
2. A hosszabb tervezési élettartam jelentősen lecsökkenti a megerősítések fajlagos anyagfelhasználását.

3. Figyelemre méltó „B” és „C” modell összehasonlításakor, hogy a közel azonos gyakoriságú beavatkozások ellenére „C” stratégia fajlagos anyagfelhasználása „B” anyagfelhasználásának csupán nyolcada! Ez az érdekes jelenség annak köszönhető, hogy „C” esetében az első beavatkozást korábban, a még nagyobb teherbírású pályaszerkezeten hajtottuk végre, és az erősítő réteg vastagságát gyakorlatilag tudatosan túlméreteztük (20 évre méretezzük de 12 évente megerősítjük).
4. A tudatos túlméretezés előnye mutatkozik meg az „A” és „C” stratégiák összehasonlításakor is. Ugyanazt a minimális egyenérték-vastagságú erősítőréteget „A” esetében átlagosan 6 évente, „C” esetében 12 évente használjuk fel! A meglehetősen nagy különbség oka az, hogy az első beavatkozást „C” esetében 4 évvel hamarabb végeztük el.
5. A 20 éves gyakoriságú beavatkozást alkalmazó stratégia esetén a megerősítések között karbantartási feladatok – jellemzően felületi bevonás formájában – jelentkeznek, amelyek az útfenntartási költségeket tovább emelik, közvetlen teherbírás- növelő hatásuk azonban nincs.
6. Útfenntartási szempontból a gyakoribb beavatkozásnak megvan az az előnye, hogy rendszeresen egységes útállapotot hozunk létre.
7. Vékony aszfaltrétegek beépítésénél fokozottan fennáll annak a veszélye, hogy – az új és régi aszfaltréteg „együttdolgozásának” esetleges hiányában – a felújításnak nem lesz teherbírás növelő (behajlást csökkentő) hatása. Ezt a veszélyt a technológiai előírások gondos betartásával csökkenthetjük.

#### 2.4.5.3. A felújítás javasolt stratégiája

Az információs rendszer a megerősítés legkorábbi javasolt időpontját a felhasználó által megadott tervezési élettartam figyelembevételével számítja. A tervezett élettartamot célszerű minél nagyobbra – minimum 15, de inkább 20 évre – választani, így a beavatkozásra javasolt időintervallum tágabb lesz.

A fenntartásra fordítható költségek függvényében, a hosszú távon jelentkező költségek minimalizálása érdekében a javasolt stratégia az út aktuális állapotától függően a következő:

1. Az állapotértékeléskor  $s_m < s_{eng}$ : A pályaszerkezetet egy minimális (de nem alulméretezett!) vastagságú réteggel az információs rendszer által javasolt időintervallum elején meg kell erősíteni.
2. Az állapotértékeléskor  $s_m > s_{eng}$ : A megerősítést 20 (15) évre méretezett erősítőréteggel minél korábban el kell végezni.

#### 2.4.6. A burkolat felületi állapota, a járhatóság

A burkolat felületi állapotának jellemzésére a korábban ismertetett járhatósági indexet használjuk. A mértékadó járhatósági indexet minden szektorra meghatározzuk, ennek függvényében a szektor szolgáltatási színvonala a 2-11. táblázat szerint alakul.

2-11. táblázat. A járhatóság szolgáltatási színvonala. [Kosztka, 1984]

Állapot, beavatkozás sürgőssége	Sürgősség	Járhatósági index	
		I. o.	II. o. feltáróutakra
Kiváló állapot, beavatkozást nem igényel.	0	1,0	1,0
Jó állapot, beavatkozás sürgőssége esetleges, távlatban szükséges.	1	1,5	2,0
Rossz állapot. Figyelmeztető tartomány, a beavatkozást el kell végezni, később gazdaságtalanná válik.	2	2,0	2,5
Tűrhetetlen állapot, azonnali beavatkozás szükséges.	3	3,0	3,5
		5,0	5,0

A járhatóságot szubjektív állapotértékeléssel határoztuk meg, az érték érvényessége időben korlátozott, mivel a járhatóság időbeli változásának előrejelzésére nem rendelkezünk – a teherbíráséhoz hasonló – modellel. Ezért az állapotfelvételkor megállapított sürgősséget a következő állapotfelvételig konstans értéként tároljuk.

#### 2.4.7. A burkolaton kívüli részek állapota

Útfenntartási szempontból nem elég, ha csak a pályaszerkezet tulajdonságait ismerjük; lényeges annak feltárása is, hogy milyen állapotban vannak és milyen beavatkozásokat igényelnek a padkák, a rézsűk, a vízelvezető berendezések, valamint a műszelvényt borító növényzet. [Kosztka, 1984]

A pályaszerkezeten kívüli részek időbeli változásának előrejelzésére sem rendelkezünk modellekkel, ezért a padka, árok, átereszek stb. rendezésének (nyesés, tisztítás stb.) sürgősségét az állapotfelvételkor, az állapotfelvételi jegyzőkönyvön rögzítjük, majd az információs rendszerben eltároljuk.

Az értékelés szempontjait részletesen az *Erdészeti utak fenntartási rendszere* egyetemi jegyzet tartalmazza. [Kosztka, 2001b]



szektorok mértékadó járhatóságának, valamint az útosztálynak a függvényében a járhatóságra vonatkozó sürgősségi mutató is előállítható. Rendelkezésünkre áll tehát a döntési mátrix két bemenő adata, a mátrix alapján minden szektorra meghatározható egy javasolt beavatkozás, annak sürgősségével együtt.

A szükséges beavatkozás döntési mátrixra alapozott előírása számítástechnikai szempontból egy nagyon jól algoritmizálható feladat, de az információs rendszer dinamikus aktualizálhatóságára, valamint a 2.4.5.2. alfejezetben optimálisnak ítélt pályaszerkezet-gazdálkodási stratégiára alapozva egy más szemléletű megközelítés is javasolható.

A korábbi útfenntartási rendszerek az állapotfelvétel során nyert adathalmaz kiértékelését követően minden szektorra megadták a szükséges beavatkozást, annak sürgősségével együtt. Az így kialakított tevékenységi lista hosszú távra érvényben maradt. (Ennek persze jórészt az volt az oka, hogy az erdőgazdaságok – a komplex útfenntartási szemlélet és a személyi feltételek hiánya miatt – nem aktualizálták a nagy gondossággal kialakított útfenntartási rendszereiket.) Az erdészeti útügyi információs rendszer ezzel szemben – élve a kor adta lehetőségekkel – dinamikusan aktualizálható formában tárolja az adatokat, ennek megfelelően az állapotadatokból levonható következtetéseket is hasonló szemlélettel tárja elénk. Az információs rendszer tervezésekor nem volt célom egy, a konkrét beavatkozásokat előíró algoritmus adaptálása (vagy kifejlesztése), inkább az információs rendszer döntéstámogató funkcióját szerettem volna kidomborítani.

Javaslataim a következők:

- A pályaszerkezet fenntartási beavatkozásainak tervezésekor alapvetően a teherbírásból kell kiindulni.
- A teherbírasi tartalékait hamarosan kimerítő pályaszerkezetek felújításánál az erősítő réteget minél hosszabb (20 év) élettartamra kell méretezni, mert így az út teherbírását viszonylag kis többletráfordítással hosszú távra megnöveljük.
- A javasolt pályaszerkezet-gazdálkodási stratégiát megvalósító modell eredményeit figyelembe véve célszerűnek tűnik, ha – a még jelentős teherbírasi tartalékokkal rendelkező pályaszerkezetek esetében is – felületi bevonat készítése helyett egy pontos teherbírásmérésre támaszkodva *méretezett* vékony aszfaltréteg beépítésével alakítjuk ki az egységes útállapotot. Erre a célra az erdészeti körülmények között is egyre szélesebb körben alkalmazott finn aszfalt optimális építőanyagként tűnik, hiszen extrém viszonyok között is képes követni az alapréteg alakváltozásait. Tudatosítani kell azonban a méretezés jelentőségét, amit – ha a technológiailag megvalósítható minimális rétegvastagság alkalmazása a cél – úgy is felfoghatunk, mint a beavatkozás időpontjának tudatos meghatározása.
- Ezeknek megfelelően az információs rendszer – a tervezési élettartam függvényében – minden szektorra megadja a megerősítés javasolt legkorábbi időpontját, valamint prognosztizálja a burkolat tönkremenetelének évét. Ezen két időpont között a döntés az információs rendszert felhasználó mérnök kezében van.
- A beavatkozás megvalósítása előtti évben egy részletes (20 méterenkénti) állapotfelvételt követően kell az egyenteherbírású szektorokat kijelölni, majd az erősítőréteg vastagságát méretezni.

- A megerősítést követően ismét állapotértékelést kell végezni annak megállapítására, hogy a kitűzött célt (a behajlás előírt értékre történő csökkentését) elértük-e. Ezen behajlásmérési és járhatósági adatokat az információs rendszerben eltárolva aktualizáljuk az út állapotára vonatkozó információkat, vagyis a következő beavatkozást prognosztizáló leromlási modell kiindulási adatait is előállítjuk.
- Az információs rendszer által javasolt beavatkozás természetesen nem zárja ki a felületi bevonás alkalmazhatóságát. A geoinformatikai szoftver segítségével válogathatók azok a szektorok, amelyek teherbírása megfelelő, de járhatósága egy meghatározott értéket meghalad; amelyekben érdemes lehet egy viszonylag kis költséggel megvalósítható karbantartás elvégzése.
- A karbantartás (felületi bevonat) utáni évben is érdemes teherbírással egybekötött állapotértékelést végezni. A burkolat vízzáróságának biztosítása, valamint a vízelvezető berendezések karbantartása után a pályaszerkezetet alátámasztó földmű víztartalma csökkenhet, ami a pályaszerkezet alakváltozásának csökkenését is eredményezheti. Az aktualizált állapotadatokra támaszkodva az információs rendszer megbízhatóbban modellezi a pályaszerkezet leromlási folyamatát.

## 2.5. Az EUIR, mint a logisztikai rendszer alapja

### 2.5.1. A logisztikáról általában

A logisztika egyik legelfogadottabb definícióját az Egyesült Államok Logisztika Tanácsa fogalmazta meg, mely szerint *„A logisztika alapanyagok, félkész- és késztermékek, valamint a kapcsolódó információk származási helyről felhasználási helyre történő hatásos és költséghatékony áramlásának tervezési, megvalósítási és irányítási folyamata, a vevői elvárásoknak történő megfelelés szándékával.”*

Másként fogalmazva: *„A logisztika nem más, mint a rendszerszemlélet alkalmazása az anyag- és információáramlás területén.”*

A vállalati logisztika a következő hét feltételt köteles biztosítani (7M):

- A Megfelelő terméket
- a Megfelelő minőségben,
- a Megfelelő állapotban (mennyiségben),
- a Megfelelő helyen,
- a Megfelelő időben,
- a Megfelelő felhasználónak,
- a Megfelelő költségek mellett kell rendelkezésre bocsátani.

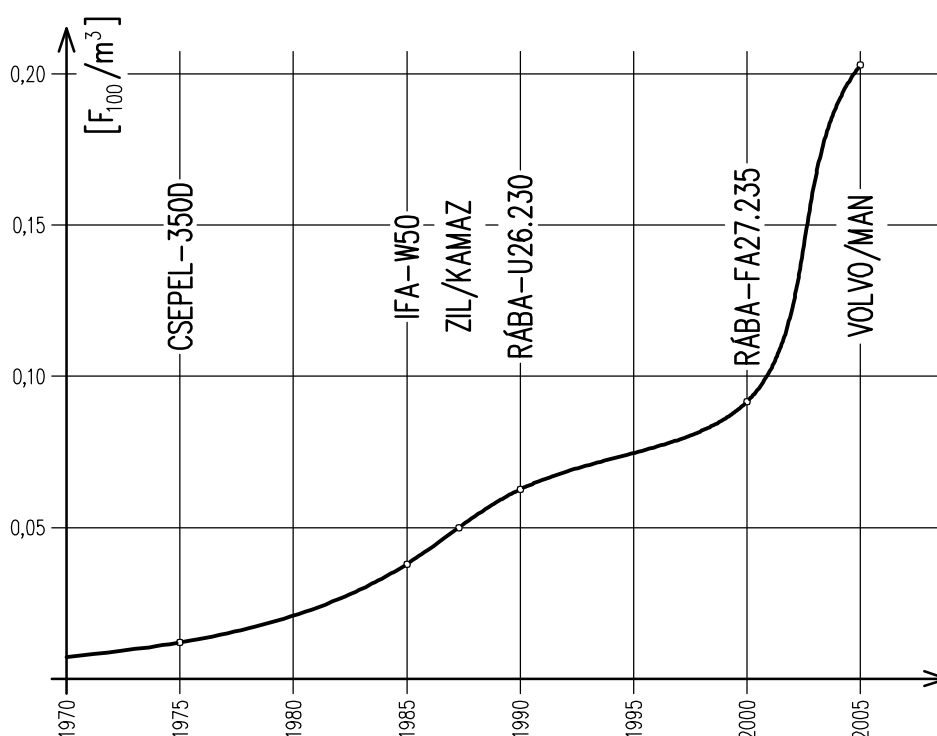
A definíciókból is kitűnik, hogy a logisztika mennyire átfogja az egész vállalati működést, sőt a vállalat külső környezetének, kapcsolatainak a kezelését, irányítását is feltételezi. Egyes külföldi felmérések szerint a logisztikai költségek egy százalékos csökkentése – a vállalati nyereség szempontjából – akár a vállalati értékesítés volumenének tíz százalékos növekedésével egyenértékű is lehet. [Szegedi, 1998]



A logisztika végső célja a szervezéssel feltárható tartalékok feltárása a termelési folyamatokat összekötő szállítási munkában. A komplex szemléletű vállalatirányítás nem az egyes részterületek optimumát keresi, hanem az egész, kölcsönhatásokkal összefűzött rendszerét; az optimális megoldás pedig logisztikai elemzések segítségével határozható meg. Az eddigieknek némileg ellentmondva – de a dolgozat témájánál maradva – a következőkben az erdészeti logisztikának csak azon területeivel foglalkozom, amelyek az útügyi információs rendszerhez közvetlenül kapcsolódnak.

### 2.5.2. A feltáráshálózaton megjelenő szállítójárművek elemzése

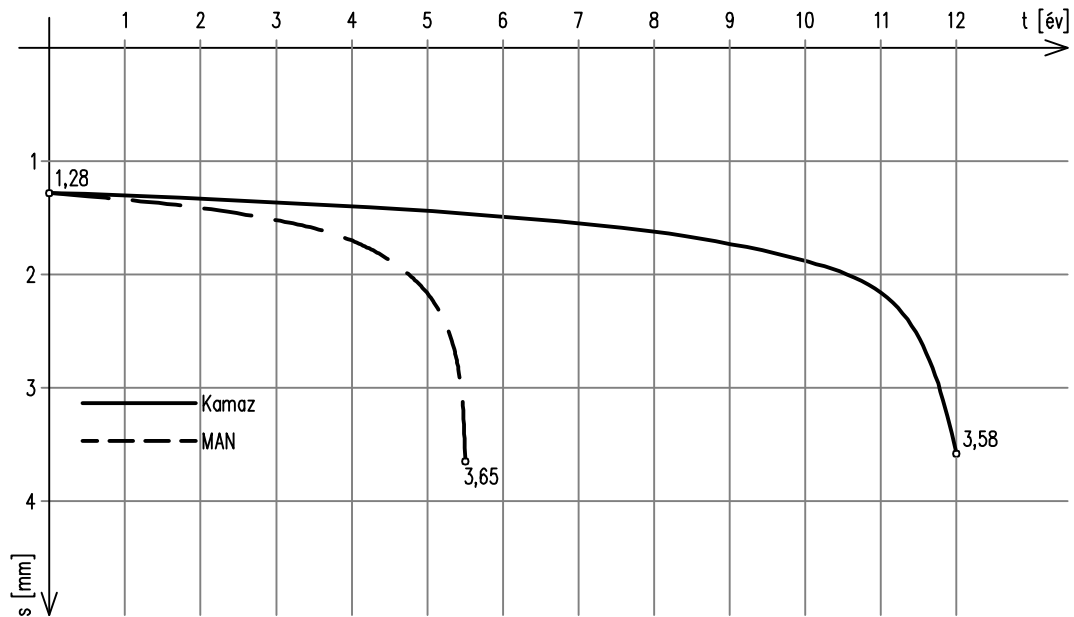
A 2-14. ábra az erdészeti feltáráshálózatokon megjelenő mértékadó járművek fajlagos forgalomterhelésének utóbbi három évtizedben tapasztalt növekedését mutatja be.



2-14. ábra. Tehergépjárművek fajlagos forgalomterhelésének változása. [Primusz, 2005]

Az AASHO-útkísérletek kimutatták, hogy a tengelysúly növekedésével a jármű pályaszerkezet rongáló hatása rohamosan (a tengelysúly-növekedés arányának 4–6. hatványa szerint) megnő. Ennek érzékeltetésére vizsgáljunk meg egy mintapéldát, a számítások részletezése nélkül. A 2-8. ábrán (47. o.) bemutatott leromlási modell évi 5000 [100 kN e.t.á.] forgalommal számol. Tétélezzük fel, hogy ez a forgalom Kamaz-53212 típusú jármű esetén áll fenn; ebben az esetben a leszállítandó fatérfogat évi 110 726 [m<sup>3</sup>]-re adódik. Vizsgáljuk meg, hogyan alakul a pályaszerkezet élettartama, ha a mértékadó jármű MAN-27.414-re változik! Ebben az esetben a forgalomterhelés (változatlan leszállítandó fatérfogat mellett) évi 11 009 [100 kN e.t.á.], vagyis az előző érték több, mint kétszerese! A pályaszerkezet leromlási görbéjének változását a 2-15. ábra szemlélteti.

A leromlási modell alapján a járműtípus-váltás a vizsgált út esetében a pályaszerkezet várható élettartamát kevesebb, mint a felére lecsökkenti! Ez azt mutatja, hogy adott



2-15. ábra. Pályaszerkezet-leromlási modellek különböző járművekre.

( $m^3$ -ben kifejezett) szállítási feladat különböző járműtípusokkal történő megoldása egészen eltérő terhelést ró a szállítópálya-hálózatra. A tervezett járműtípus-váltások előtt a szállítási költségek csökkenése mellett a fenntartási költségek jelentős megemelkedésével is számolni kell; a megalapozott döntés meghozatalához komplex logisztikai szemléletre van szükség!

### 2.5.3. Szállításszervezés

A logisztikai lánc elemeit (beszerzés–termelés–értékesítés–kereskedelem–végfelhasználás) a szállítási–rakodási–raktározási feladatok kötik össze. A logisztikai láncban a szállítás szerepe felértékelődik, ha a termék fajlagos értéke alacsony – az erdőgazdálkodás tipikusan ilyen. A nagy területen gazdálkodó erdészeti részvénytársaságok esetében a szállítási rendszer további specialitását az adja, hogy az anyagmozgatás a belső úthálózaton bonyolódik le, amely – a megtermelt faanyag értékéhez képest – csak jelentős ráfordításokkal tartható fenn. A helyzetet bonyolítja, hogy a szállítást jellemzően független vállalkozók végzik, akiktől a komplex szemlélet nem várható el.

Jelenlegi szállítási rendszereinkre általában jellemző, hogy a feltáróutak mellett készletezett faanyagot a nagy teherbírású szerelvényekre közvetlenül felrakodják, majd a megrendelőig elszállítják. Ez a megoldás a szállítási költségeket tekintve előnyös, hiszen a fordulók és átrakások számát minimalizálja.

Az előzőekben láttuk, hogy a feltáróhálózaton megjelenő, megnövekedett tengelysúlyú tehergépjárművek hatására a fenntartási költségek rohamosan emelkednek. A feltáróhálózat fenntartásáról a típusjármű megváltozása után sem mondhatunk le, hiszen az úthálózat teljes tönkremenetele ellehetetleníti a gazdálkodást; ráadásul az új, nagy tengelytávú járművek fokozottan érzékenyek az úthibákra (tulajdonosaik pedig a javítási

költségekre). Ezért bizonyos esetekben célszerű lenne megvizsgálni egy más szemléletű szállításszervezés bevezetésének a lehetőségét is.

A feltáráshálózat tehermentesítése szempontjából előnyösebb lenne egy olyan megoldás, amikor a feltárási utak mellé közelített (kiszállított) faanyagot viszonylag kis raksúlyú és kedvező tengelyelrendezésű tehergépjárművekkel egy, az erdészeti feltáráshálózat és a közúthálózat találkozási pontjához közel eső, nagy kapacitású rakodóig szállítjuk, majd itt készletezzük.

Az alsó rakodó közbeiktatását megvalósító szállítási rendszer előnyei:

- A termőhelytől az alsó rakodóig rövidebb szállítási távolságok alakulnak ki, így az anyagmozgatás kisebb tengelysúlyú tehergépjárművekkel is költséghatékonyan végrehajtható. A kisebb forgalmi terhelés a feltáráshálózat fenntartási költségeit jelentősen csökkenti.
- A folyamatosan jelentkező belső szállítási feladatok esetleg saját tehergépjármű-állomány fenntartását is lehetővé teszik, amivel az anyagmozgatás rugalmassága és megbízhatósága növelhető.
- A kisebb tengelysúlyú és rövidebb tengelytávú járművek a feltáráshálózat szerényebb kiépítési színvonalú elemein (kiszállítótutak) is közlekedhetnek, helyenként megoldva ezzel a kiszállítási feladatokat is.
- A korszerű termelési folyamatokban a nagy raktárkészletek inkább hátrányt, mint előnyt jelentenek. Ezért mind a végfelhasználók, mind a kereskedők megkísérlik csökkenteni készleteiket úgy, hogy gyakrabban vásárolnak kisebb tételeket, és így a készlettartással kapcsolatos költségeket áthárítják az alapanyag-termelőre. Ezeket az igényeket egy viszonylag nagy termékpalettát koncentráltan megjelenítő, közúton könnyen megközelíthető korszerű logisztikai központ (alsó rakodó) üzemeltetésével rugalmasan ki lehet szolgálni.
- Az ellenőrzött körülmények közötti tárolás megelőzheti, vagy lassíthatja az érzékeny faanyag minőségének romlását (befüledés).
- Megfelelő raktározási kapacitás esetén a termelő nincs rákényszerítve az azonnali értékesítésre, termékeivel a kedvező viszonyok kivárását követően jelenhet meg a piacon.
- Bizonyos előkészítő munkafolyamatok (kérgezés, választékolás, kötegelés stb.) koncentráltan, nagy hatékonysággal végrehajthatók, megnövelve így a termékek értékét.
- A környezetet terhelő hatások koncentrállásával azok kezelése hatékonyabbá tehető, miközben a terhelések egy részét kivisszük az erdőből.
- A koncentráltan raktározott készletek őrzése kivitelezhető.
- Az alsó rakodón lehetőség van hídmérleg elhelyezésére – a közúton megjelenő túlsúlyos tehergépjárművek száma csökkenthető.

Az alsó rakodó hátrányai:

- A szállítási költségek jelentősen növekednek: a belső anyagmozgatási folyamat új elemmel bővül, a rakodások száma nő.
- A logisztikai központok üzemeltetése további költségeket jelent.

- Az alsó rakodók létesítése környezetvédelmi és/vagy szociológiai indíttatású ellenállásba ütközhet.
- Az útfenntartási, anyagmozgatási és értékesítési feladatok komplex (logisztikai) szemlélete még nem terjedt el az erdőmérnöki gyakorlatban.

Az optimális szállítási rendszer az egyes gravitációs körzetek, erdészetek esetében eltérő lehet; megalapozott döntés mindig csak az aktuális viszonyoknak megfelelő esettanulmány elkészítése után hozható. A különböző szállítási szisztémák egymással objektív adatok alapján összehasonlíthatók, ha működésük időbeli lefolyását modellezzük – ilyen jellegű vizsgálatok a feltáráshálózat információs rendszerére támaszkodva, aktuális költségadatokkal kiegészítve elvégezhetőek.

#### 2.5.4. Digitális készletnyilvántartás

A korszerű, logisztikai szemléletű vállalatvezetés igényli a rendelkezésére álló készletekre vonatkozó naprakész információkat. Az információk hatékony, korszerű gyűjtését, tárolását és feldolgozását a manapság egyre inkább előtérbe kerülő termékkövetési elvárások is igénylik. Az erdőgazdaságok nyitottak az ilyen irányú fejlesztések felé; ezt támasztja alá az a tény is, hogy termelési folyamataikat tanúsíttatják (ISO 9001 stb.). A következőkben egy, a jelenlegi körülmények között a gyakorlatban is megvalósítható digitális készletnyilvántartási eljárást vázolok fel.

A letermelt és készletezett faanyag mennyiségi és minőségi adatainak információs rendszerben történő terepi rögzítésére elérhető áron beszerezhetőek vonalkód-leolvasóval és GPS-vevővel kombinált terepi adatrögzítők (zsebszámítógépek), amelyek erdészeti körülmények közötti alkalmazására már vannak hazai példák (a Pilisi Parkerdő Zrt. a közelmúltban minden *kerületvezető erdészét* felszerelte ilyen eszközzel). A terepi adatrögzítők információs rendszereink hardverelemei közé, az adatrögzítőkön futó alkalmazások annak szoftverelemei közé tartoznak; kiválasztásuk során tekintettel kell lennünk az 1.3.1. alfejezetben (18. o.) megfogalmazott alapelvekre.

Az adatrögzítés kivitelezése a következő: a készletezett faanyagot (értékes rönkárut egyedileg, kisebb értékű anyagot kötegelve) egyedi sorszámmal (vonalkóddal) látják el, majd az így azonosított tételt annak minőségi és mennyiségi adataival együtt rögzítik a készleteket tartalmazó adatbázisban. Az egyedileg azonosított tételek a szállítási, feldolgozási, értékesítési folyamatok során nyomon követhetők. A digitális azonosítással a többszörös adatrögzítésből adódó hibák kiküszöbölhetőek; az egységes, logikusan kialakított rendszerben rendelkezésünkre álló nagyszámú adat pedig a termelési–szállítási–értékesítési tevékenységek többféle szempont szerinti utólagos elemzését is lehetővé teszi.

Az anyagmozgatás jelentős része a feltáráshálózatban bonyolódik le, ezért célszerű a készleteket nyilvántartó információs rendszerben a szállítópályára vonatkozó adatokat is rögzíteni, illetve az útügyi és raktári adatbázisokat összekapcsolni. A vonalkód elhelyezésekor meg kell adni az útügyi információs rendszerben ábrázolt rakodó azonosítóját (lásd a 2.3.3. alfejezetben, a 35. oldalon). Ha a rakodó nem szerepel a rendszerben, vagy ha a vizsgált tétel rakodón kívül, például az útpadkán (rosszabb esetben az árokban) helyezkedik el, akkor a terepi adatrögzítőhöz csatlakoztatott GPS vevővel kell bemérni

annak koordinátáit. Az üzemi információs rendszer megfelelő modulja a mért koordináták alapján meghatározza a tétel készletezési helyéhez legközelebb eső útszakasz azonosítóját és szelvényértékét, vagyis az információs rendszer topológiájának megfelelően rögzíti a termék helyét.

Az egyedi azonosítóval ellátott tétel elszállításakor (a tehergépkocsira történő felrakás előtt) a vonalkódot ismét le kell olvasatni, majd a szállítási célt (alsó rakodó, saját feldolgozó üzem vagy idegen vevő telephelye), a szállítójármű típusát, rendszámát és az aktuális forduló azonosítóját rögzíteni kell. Az adatgyűjtő speciális szoftvere támogatja ezen adatok gyors rögzítését: A feltáráshálózaton megjelenő szállítójármű előzetes regisztrációjakor rögzíteni kell a rendszámot és a típusjármű-kategóriát; a gépjármű rendszámát elég csak az első tétel rakodásakor megadni, a rakodás befejezéséig a szoftver által felajánlott alapértelmezett értéket kell elfogadni stb. A rakodás végeztével, az egyes tételek térfogatának ismeretében nagy megbízhatósággal meghatározható az adott forduló során leszállítandó faanyag térfogata, illetve tömege. A terepi adatrögzítőben tárolt adatokat minden munkanap végén le kell tölteni az információs rendszert futtató személyi számítógépre, majd meghatározott gyakorisággal (például hetente) az adatokat tovább kell küldeni az erdőgazdaság központja felé.

A járműforduló rögzítését követően, a kiindulási és célállomás ismeretében az üzemi információs rendszer az úthálózat topológiájának megfelelően meghatározza a szállítás útvonalát, a jármű paraméterei és a számított raksúly ismeretében a járműforduló forgalomterhelését kiszámítja, majd az érintett útszakaszokra terheli. Így a készletek naprakész adatbázisa mellett a feltáráshálózat elemein ténylegesen áthaladt teherforgalom is ismertté válik, ami az útfenntartási alrendszer számára szolgáltat értékes adatokat.

### 2.5.5. Navigációs támogatás, útvonal-optimalizálás

A navigációs eszközök széleskörű elterjedését követően navigációs támogatást az erdőgazdaság munkatársai, a gazdasági partnerek, vagy akár az erdőt rekreációs céllal felkeresők is igényelhetnek.

Az erdőgazdálkodással (erdőművelés, erdőhasználat, erdővédelem, természetvédelem, vadgazdálkodás, erdőrendezés, hatósági felügyelet stb.) összefüggő személy- és anyagszállítási feladatok hatékonyságát növelhetjük egy szabályozott felhasználói körben elérhető navigációs rendszer kialakításával, amely az utak nyomvonalán kívül tájékoztatást nyújt azok járhatóságáról is. Ezek a rendszerek útvonal-optimalizálási megoldások integrálásával továbbfejleszthetők.

A logisztikai rendszerek egyik célja az ügyfélkiszolgálás színvonalának emelése. Ezt többek között a vevők feltáráshálózaton történő tájékozódásának támogatásával tudjuk elősegíteni. Ennek szemléltetésére nézzük a következő példát:

- A vevő cseresznye rönköt szeretne vásárolni.
- Az erdőgazdaság on-line adatbázisában megnézi, hogy melyik rakodón található a keresett választék.
- Navigációs eszközére letölti a legújabb, frissített digitális térképet.

- A rendszer által felajánlott optimális útvonalat követve megkeresi a kérdéses rakodót.
- A vásárlást követően hasonló módon rendeli a helyszínre a szállítójárművét.

Az erdőt rekreációs céllal felkeresők számára is nyújthatunk többlétszolgáltatásokat olyan módon, hogy a közforgalom előtt megnyitott útszakaszok és járulékos létesítményeik (parkoló, tűzrakó hely, sátorozásra kijelölt hely, kilátó stb.) térképi és leíró adatait széles körben elérhetővé tesszük, továbbá naprakész tájékoztatást nyújtunk az esetleges forgalomkorlátozásokról.

## 2.6. Az EUIR aktualizálása

A geoinformációs rendszerek felépítésének tárgyalásakor (1.3.1. alfejezet, 18. o.) megállapítottuk, hogy az információs rendszer alapját az abban tárolt adatok alkotják. Annak érdekében, hogy helyes következtetéseket vonhassunk le, naprakész adatokra van szükségünk; az adatokat tehát rendszeresen aktualizálni kell.

Az adatok aktualizálása egyrészt adatgyűjtéssel, másrészt – az adatgyűjtések közötti időszakokban – állapotváltozási modellek segítségével történhet. A következőkben javaslatot teszek az információs rendszerben tárolt adatok frissítésére vonatkozóan, amelytől a gyakorlati megvalósítás során, az aktuális viszonyoknak megfelelően természetesen el lehet térni.

- A *feltáráshálózat bővítése* esetén az új utat haladéktalanul be kell illeszteni az információs rendszerbe, ami annak topológiáját, valamint a korábban definiált szállítási viszonyokat is érinti.
- A *fatérffogat-adatok* aktualizálása évente megoldható. A fahasználati terv és az erdőterv alapján becsült várható adatokat az előző évi termelésekkel – amennyiben azokat leszállítottuk – csökkenteni kell. Új erdőterv vagy fahasználati terv készítése esetén a korábbi adatokat le kell cserélni az aktualizált terveknek megfelelően; az erdőtervek módosításait is hasonlóképpen kell figyelembe venni.
- A szállítások során figyelembe vett *járműtípusokat* minden évben célszerű felülvizsgálni annak érdekében, hogy a forgalmat valóban egységtengely-áthaladásban tudjuk figyelembe venni.
- A *szállítási irányokat*, az egyes szakaszok *gravitációs körzeteit* szintén évente felül kell vizsgálni.
- *Teherbírás mérést* a megerősítésre tervezett szektorokon a tervezett beavatkozás előtt 2 évvel, 20 méterenkénti gyakorisággal kell végezni. A kiugróan rossz teherbírású szakaszokon fel kell tárni a hiba okát (pl. elnedvesedett földmű), majd annak megszüntetése után ismételt teherbírással lehet meggyőződni a javítás sikerességéről. Ezzel az eljárással a szektor behajlási adatainak kisebb szórása következtében csökken a mértékadó behajlás nagysága, vagyis a beépítendő erősítőréteg vastagsága csökkenthető.

A felújítási és karbantartási munkák elvégzése utáni évben egy 100 méterenként elvégzett behajlásméréssel meggyőződhetünk a beavatkozás sikerességéről, egyben pontos kiindulási adatokat szolgáltatunk az út leromlási modelljéhez.

Azokon a szektorokon, ahol nem végeztünk teherbírásmérést, a mértékadó behajlás aktuális értékét a leromlási modell alapján számítjuk.

- A *szubjektív állapotfelvételt* a felújítási, karbantartási vagy javítási munkák elvégzését követően el kell végezni azért, hogy az információs rendszer a valós útállapotot tükrözze. Azokon a szakaszokon, ahol nem történt beavatkozás, kétévenként célszerű elvégezni a szubjektív állapotfelvételt. Az utak állapotának folyamatos figyelemmel kíséréssel, majd a jelentkező hibák kellő időben történő kijavításával megelőzhető a hibák elfajulása, elkerülhető az utak gyors tönkremenetele.

## 2.7. Gyakorlati eredményeink

Az erdészeti útügyi információs rendszerek iránti valós igényt bizonyítja, hogy az elmúlt években több erdőgazdaság is megbízta az Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Tanszékot, hogy feltáráshálózatának információs rendszerét készítse el.

2004-ben elkészítettük a Pilisi Parkerdő Zrt. feltáráshálózatának digitális nyilvántartását. 85 km aszfalt burkolatú, valamint 59 km makadám pályaszerkezetű feltárási utat mértünk fel és ábrázoltunk geoinformációs rendszerben.

2004-ben kialakítottuk a Zalaerdő Zrt. digitális útleltárát is, összesen 180 km hosszban.

2005-ben az Erdő- és Fahasznosítási Regionális Egyetemi Tudásközpont keretében, a Szombathelyi Erdészeti Zrt. területén belekezdünk egy négy éves kutatás-fejlesztési programba. 2005-ben az útleltárban szereplő 295 km hosszú úthálózat nyilvántartási rendszerét készítettük el. 2006-ban felmértük ezen utak állapotát, valamint a Kőszegi-hegységben elvégeztük a forgalomelemzést is. Terveink szerint 2007-ben felmérjük a korábbi útleltárból hiányzó utak vonalvezetését és állapotát, majd 2008-ban elkészítjük az erdőgazdaság teljes feltáráshálózatának útfenntartási rendszerét.

2006-ban elkezdjük a Mecseki Erdészeti Zrt. feltáráshálózata útügyi információs rendszerének kialakítását; az első évben 60 km feltárási utat digitális útleltárát készítjük el.

## 2.8. További kutatási elképzelések

- Az információs rendszer kialakítását és kezelését egy integrált, az összes funkciót tartalmazó alkalmazás kifejlesztését követően lehetne elegánsan megoldani. A fejlesztés a jövőben kétféleképpen valósulhat meg:
  1. Egy új térinformatikai alkalmazás fejlesztése, amely az útügyi nyilvántartás speciális funkcióit is tartalmazza.
  2. A DigiTerra Map bővítése egy erdészeti útügyi modul megírásával.

A DigiTerra Map fejlesztőivel történt konzultációk alapján a 2. lehetőség kivitelezhetőnek tűnik. A közeljövőben megjelenik a DigiTerra Map v.4. verziója, amely külső fejlesztéseket is lehetővé tesz majd.

- A behajlasmérések felgyorsítása, illetve az alakváltozás pontosabb regisztrálása érdekében behajlasmérőinket digitális elmozdulásmérőkkel kívánjuk felszerelni. A mérési eredményeket laptopon vagy zsebszámítógépen szeretnénk rögzíteni, az eszközök közötti információáramlást vezeték nélküli kapcsolat (bluetooth) segítségével tervezzük megoldani.
- Az állapotfelvételi adatlapok kitöltését zsebszámítógépen futó alkalmazás kifejlesztésével lehetne hatékonyabbá tenni.
- A kötőanyag nélküli burkolatok teherbírásának meghatározása az Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Tanszék által beszerzett könnyű ejtősúlyos, dinamikus teherbírásmérő készülékkel megoldható. Célunk egy olyan eljárás kidolgozása, amellyel a makadám pályaszerkezetek megerősítésének/karbantartásának szükségességét is objektív adatok alapján lehet megítélni.
- Kötőanyag nélküli pályaszerkezetek teherbírásának változására nem rendelkezünk modellekkel, ugyanakkor a makadám burkolatok jelentősége az utóbbi másfél évtizedben kialakult útépitési gyakorlat alapján folyamatosan nő. Kísérleti útszakaszok kijelölésével, majd rendszeres teherbírás-méréssel, valamint az útszakaszok forgalmának rögzítésével esetleg összefüggést lehetne találni a forgalom és a teherbírás változása között.



„Az erdei utak igazában erek, amelyekben – gazdasági értelemben – az erdő élete áramlik. Segítségükkel, és egyedül az ő segítségével halad előre a belterjes erdőgazdálkodás és válik lehetővé a legtávolabbi hegységi erdők elérése. Az erdő feltárása nélkül sem az ápolás, sem a védelem, sem pedig az állományok szakszerű nevelése nem képzelhető el.”

J. B. Bavier, 1949.

### 3. Dinamikus feltáróhálózat-tervezés

Ebben a fejezetben a geoinformatikai eszközöket felhasználó, dinamikus feltáróhálózat-tervezési módszert mutatom be. A rendszerváltást követően az Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Tanszéken kidolgozták a feltáróhálózat-tervezés korszerű alapelveit, amelyek megfelelnek a természetközeli-többszempontú-többszempontú (TTT) erdőgazdálkodás követelményeinek. Az újszerű szemléletet megvalósító feltáróhálózat-tervezési módszer kialakításában és alkalmazásában már én is aktív szerepet vállaltam, főként a feltáróhálózatok tervezését, majd elemzését támogató geoinformatikai eljárások kidolgozásával. Fejlesztéseinket gyakorlati feladatok megoldásában is alkalmazni tudtuk, valamint beépítettük őket az erdőmérnök-képzésbe is.

#### 3.1. A feltáróhálózat-tervezésről általában

##### 3.1.1. Feltáróhálózatok tervezése Magyarországon

Magyarországon az erdészeti útépítések 1947-ben kezdődtek el, a tudatos erdőfeltárás kialakulása 1957-re datálható. Ekkor dolgozták ki ugyanis a feltáróhálózatok tervezésének alapelveit, melyeknek megfelelően elkészítették a legjelentősebb erdőterületek feltárási alapterveit. Az 1980-as évek végéig a szakterülettel foglalkozó mérnökök elsősorban a fakitermelési lehetőségeket tekintették mérvadónak, kimondva–kimondatlanul fatömegfeltárást végeztek; a feltáróhálózatok létrehozásának és bővítésének szükségességét pedig költség-haszon elemzésekkel próbálták alátámasztani.

A rendszerváltást közvetlenül megelőző, majd az azt követő időszakban a környezet- és természetvédelmi szempontok fokozottan előtérbe kerültek. Az új szempontoknak megfelelően az erdőfeltárási tevékenységek *célrendszerét* át kellett értelmezni; az Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Tanszék kutatói az erdőfeltárási *területfeltárási* funkcióját hangsúlyozták. A megváltozott viszonyok között az erdőfeltárási, erdészeti útépítési gazdaságosságát már nem lehetett egyértelműen igazolni, ezért a feltáróhálózatok *infrastrukturális* jellegét emelték ki azért, hogy a társadalom – támogatás formájában – járuljon hozzá annak költségeihez.

Az ezredfordulóra a geoinformatika alkalmazása a gazdálkodói, az erdőtervezői és a hatósági szereplők tekintetében egyaránt általánossá vált; ezért ki kellett alakítani a feltáróhálózat-tervezés új *eszközrendszerét*, amellyel a folyamatosan változó körülmények között, az újszerű lehetőségekkel élve hatékonyan lehet a kihívásoknak megfelelni.

### 3.1.2. A feltáróhálózat-tervezés jövőbeni feladatai

A feltáróhálózat-tervezési módszerek ismertetése előtt vizsgáljuk meg, hogy Magyarországon szükség van-e az erdészeti feltáróhálózatok további bővítésére!

Az erdőfeltárással foglalkozó szerzők a magyarországi erdők átlagos feltártságát 4...9 fm/ha értékkel szokták jellemezni, attól függően, hogy a teljes erdőterülettel, vagy csak a hegy- és dombvidéki területekkel kalkulálnak. Bonyolítja a helyzetet, hogy a korábbi kimutatásokban az erdészeti feltáró- és kiszállító utak mellett a közutakat, a keskeny nyomközű vasútvonalakat és a vízi utakat is figyelembe vették. Az erdőfeltárással foglalkozó kutatók és gyakorlati szakemberek egybehangzó véleménye alapján kijelenthetjük, hogy az erdőterületen haladó közutak a jelenlegi viszonyok között az erdőfeltárással szemben támasztott követelmények jelentős részének nem felelnek meg, ezért a feltártsági mutatók meghatározásánál nem vehetők figyelembe.

Alacsony feltártságunk érzékeltetésére nézzük meg két szomszédos ország adatait:

- Ausztriában az erdők feltártsága a következőképpen alakul:
  - Államerdészetnél: 30-40 fm/ha.
  - Nagy magánbirtokokon: 40-50 fm/ha.
  - Kis magánbirtokokon: 50-60 fm/ha.
- Csehország a maga mintegy 29 000 km<sup>2</sup>-nyi erdészeti útjával 25 fm/ha átlagos feltártsággal rendelkezik.

A magyarországi erdőterületek átlagos feltártsága tehát alacsony. De mekkora legyen az az optimális útsűrűség, amit elérendő célként ki kell tűznünk magunk elé? A korszerű erdőfeltárási szemlélet szerint az optimális feltártságot alapvetően az erdő elsődleges rendeltetése határozza meg [Kosztka, 2001a], [Marosi, 2001]. Természetvédelmi rendeltetésű területeken akár 0 [fm/ha] optimális feltártság is elképzelhető. A gazdasági erdőkben az alkalmazott közelítési módszer (feltárási koncepció) fogja meghatározni az optimális útsűrűséget, amelynek értéke a közelítési és az útépitési/útfenntartási költségek együttes figyelembevételével kalkulálható [Marosi, 2001]. A közelítési technológiának megfelelő útsűrűség biztosítja a terület egyéb szempontoknak (erdőművelés, erdővédelem, vadgazdálkodás stb.) megfelelő elérhetőségét is.

Egy-egy erdőterület feltárásakor a hosszú távú céloknak megfelelően, hálózati szemlélettel kell megtervezni a feltáróhálózatot; az egyes utak kivitelezésének sorrendjéről már a pillanatnyi érdekeknek megfelelően dönthetünk. Ezeket a triviálisnak tűnő alapelveket azonban a gyakorlat sokszor megkerüli, erdőfeltárási tevékenységét spontán módon, komplex szemlélet hiányában végzi. A megépült utak a feltáróhálózat jövőbeni bővítésekor már mint korlátozó tényezők jelennek meg; ezzel a problémával az úttervezési gyakorlatban rendszeresen szembesülünk. Az Európai Unió az erdészeti infrastruktúrára alapját képező feltáróhálózatok bővítését a közeljövőben jelentős mértékben (akár 80 %-os mértékig) támogatni fogja. A tartamos erdőgazdálkodás szempontjából előnyös lenne, ha a pályázati rendszer kialakításánál a hosszú távú koncepció meglétét (feltárási alapterv készítését) kötelező jelleggel előírnák.

## 3.2. A feltáróhálózat-tervezés lépései

### 3.2.1. A feltáróhálózat kialakítását befolyásoló igények felmérése

A tervezés megkezdése előtt minél több, a tervezési területre vonatkozó információt kell beszerezniünk [Kosztka, 2001a]:

- A feltárással érintett terület nagysága.
- A feltárással érintett terület domborzata, a terep keresztdőlése, talaj teherbírása, felszín akadályoztatása.
- Érintett intézmények és személyek, akikkel együtt kell dolgozni.
- Múltbéli erdőgazdálkodási és erdőfeltárási tevékenységek.
- A területhasznosítás jövőbeni alakulása (elsődleges rendeltetés).
- Meglévő feltáróhálózat, jellemző közelítési–kiszállítási–szállítási technológiák.
- Csatlakozó mezőgazdasági területek úthálózata, szállítási rendszere.
- Erdőgazdálkodási igények.
- Természet- és környezetvédelmi igények–korlátozások.
- Közjóléti igények, turizmus.
- Honvédségi igények.
- Birtokviszonyok.

Az erdőterületek feltárásának tervezésekor kiemelt jelentősége van a természetvédelmi igényeknek. A tervezett feltáróhálózat és annak megvalósítása hosszú évtizedekre alapvetően átformálja a tervezési terület megjelenését. A természetes környezetbe történő beavatkozások tervezésekor mindig figyelemmel kell lenni a természetvédelmi érdekekre, amelyek a fenntartható erdőgazdálkodás érdekeivel sokszor megegyeznek. A probléma gyakorlati megközelítésekor figyelembe kell vennünk azt is, hogy – főleg természetvédelmi területek, nemzeti parkok esetében – a természetvédelem erős hatósági jogkörű szereplőként jelenik meg a tervek egyeztetési és engedélyezési folyamataiban.

### 3.2.2. Tervezési terület terepi bejárása

A tervezési folyamat elején a helyi szakemberekkel együtt be kell járni a területet. A meglévő közlekedési pályák vonalvezetését navigációs GPS-el be kell mérni, jellemző pontjain digitális fényképeket kell készíteni és a vonatkozó észrevételeket, megjegyzéseket rögzíteni kell (jegyzetfüzet, terepi számítógép, diktafon stb.)

A meglévő hálózat ábrázolásakor az egyik legfontosabb feladat az egyes utak kategóriákba sorolása (feltáróút, kiszállító út, közelítőnyom). Általában ez az egyszerűnek tűnő feladat okozza a legtöbb problémát, mert a gyakorlat által használt „köves út”, „földút”, „stabilizált út” stb. kifejezéseket kell az erdőfeltárási fogalmi rendszerére lefordítani.

### 3.2.3. Geoinformációs rendszer kialakítása

A területre vonatkozó információk beszerzése után azokat a geoinformációs rendszerben meg kell jeleníteni.

A domborzati viszonyok ábrázolása digitális domborzatmodellel történik. Feltáróhálózat-tervezéskor általában nagy területről van szó, ezért valamilyen országos magassági adatbázis (DDM-50, DDM-100) megfelelő kivágatát célszerű megvásárolni. Ezek a domborzatmodellek raszteres formátumban állnak rendelkezésünkre. Először egy rasztervektor konverzióval TIN felületmodellt kell generálni, ügyelve arra, hogy a háromszögek csúcspontjai a raszteres terepmodell pixeleinek középpontjaiba essenek. A terep vizsgálata (magasság szerinti színezés, szintvonal-generálás, keresztdőlési és kitettségi viszonyok), valamint a semleges vonalak felkeresése a TIN felületmodellen történik majd. A domborzat plasztikus megjelenítésének érdekében az előzőek szerint elkészített vektoros modellt egy vektor-raszter konverzióval finomabb (pl.  $10 \times 10$  m) horizontális felbontású raszteres modellé alakítjuk vissza, amelyet magasság szerint színezve, majd domborító lineáris filterrel kombinálva jelenítünk meg.

A feltárandó erdőterületet és környezetét lefedő digitális erdőtervi térkép megfelelő kivágatát az erdőgazdaság adja át. Ha az üzemtervi térkép nem tartalmazza a környék közlekedési vonalait és településeit, akkor azokat valamely országos geoinformatikai forrásból kell beszerezni (pl. DTA-50).

Az erdőtervek leíró adatait tartalmazó adattáblákat (azonosítás, fajtásorok) szintén az erdőgazdaság adja át.

Ha a területre korábban már elkészült a digitális útleltár (útügyi információs rendszer), akkor a meglévő feltáróhálózat elemei digitális formában, a 2.2.1. pontban (29. o.) megfogalmazott elveknek megfelelő topologikus ábrázolásban rendelkezésünkre állnak; ellenkező esetben a digitális alaptérkép, valamint a navigációs GPS-mérések alapján kell rekonstruálni az úttengelyeket, majd ábrázolni a hálózati kapcsolatokat.

### 3.2.4. Pozitív és negatív kardinális pontok, területek kijelölése

A korábban megfogalmazott célokat és korlátokat a pozitív és negatív kardinális pontok és területek kijelölésével lehet konkretizálni.

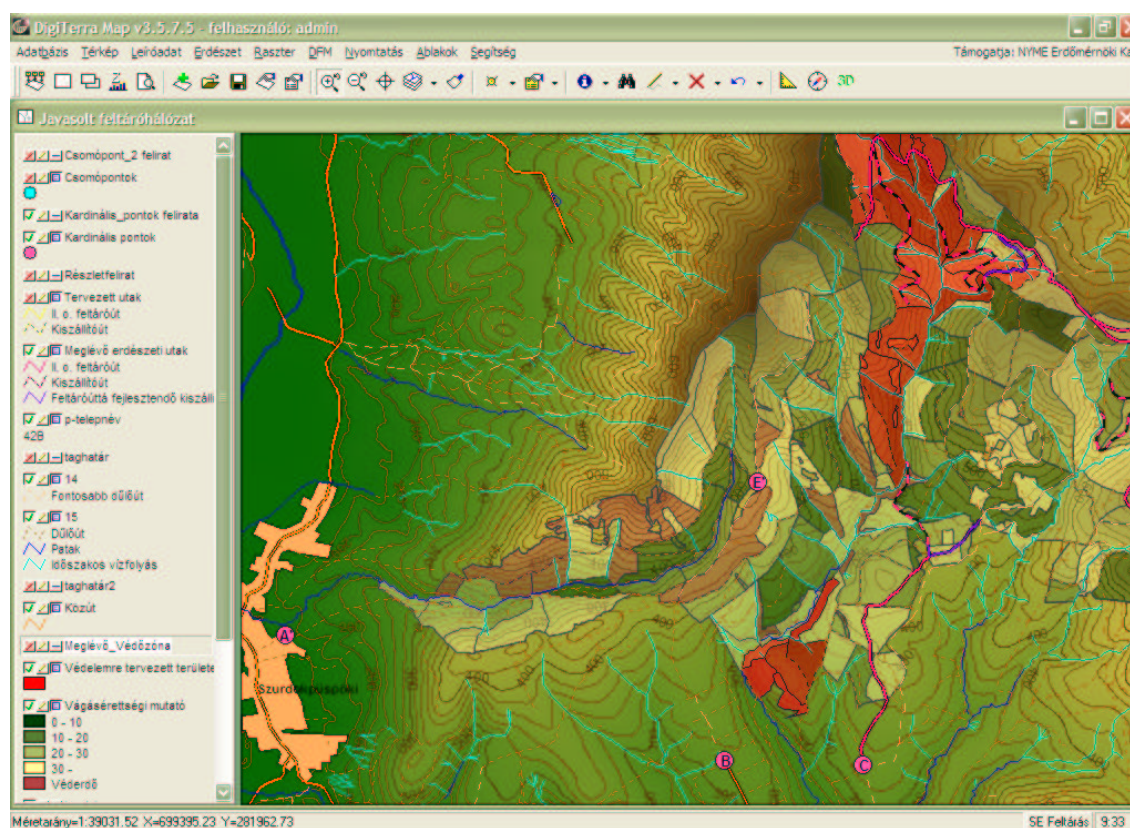
*Pozitív kardinális pontok:* Olyan pontszerű objektumok, terepalakulatok, amelyeket a feltáróhálózattal érinteni kell. Erdőgazdálkodási szempontból előnyösen felhasználhatók például a nyereg és pihenő terepalakulatok, ahol rakodók vagy fordulók kialakítására nyílik lehetőség. Közjóléti igény lehet például bizonyos kilátóhelyek, pihenőhelyek, parkolóhelyek megközelítése.

*Pozitív kardinális területek:* Kijelölésük elsősorban erdőgazdálkodási szempontokat követ. A geoinformációs rendszerben leválogathatók azok az erdőrészek, amelyek gazdasági rendeltetésű erdők; ezek a továbbiakban mint feltárandó területek szerepelhetnek.

*Negatív kardinális pontok:* Azok a pontszerű objektumok, amelyeket el kell kerülni. Főleg természetvédelmi érdekek jeleníthetők meg, pl. sasfészek.

*Negatív kardinális területek:* Természetvédelmi szempontból ide sorolhatók a vizes élőhelyek (patak és közvetlen környezete) és egyéb érzékeny területek (fokozottan védett részletek), gerincek és közvetlen környezetük stb. Negatív kardinális területként jelentkezhetnek az idegen tulajdonú területek is. A hálózattervezéskor általában saját kezelésű területen belül kell maradni, bár az erdőt sokszor magán mezőgazdasági területek veszik körül, ahol komplex kistérségi célokat is figyelembe lehetne venni.

A pozitív és negatív kardinális pontok és területek geoinformatikai ábrázolása a megfelelő vektoros térképeken egyszerűen megvalósítható (3-1. ábra). Az erdőrészletek kategorizálása osztályozással és szűréssel oldható meg. A pontszerű objektumok helyét vagy meglévő térképekről vesszük át, vagy a terepi bejárások során végzett méréseket használjuk fel. A vízfolyásokat kísérő védőzónák kijelölésére a térinformatikai szoftver pufferezóna-generáló algoritmusát alkalmazhatjuk.



3-1. ábra. Pozitív kardinális pontok és negatív kardinális területek.

### 3.2.5. A feltárási koncepció

A feltárási koncepció rögzíti a körülményeknek legjobban megfelelő feltáróeszközök sorozatát; kiválasztásánál a terep keresztdőlése lesz a mértékadó. Az erdőfeltárást hazai viszonyok között az alábbi feltárási koncepciók szerint valósítjuk meg:

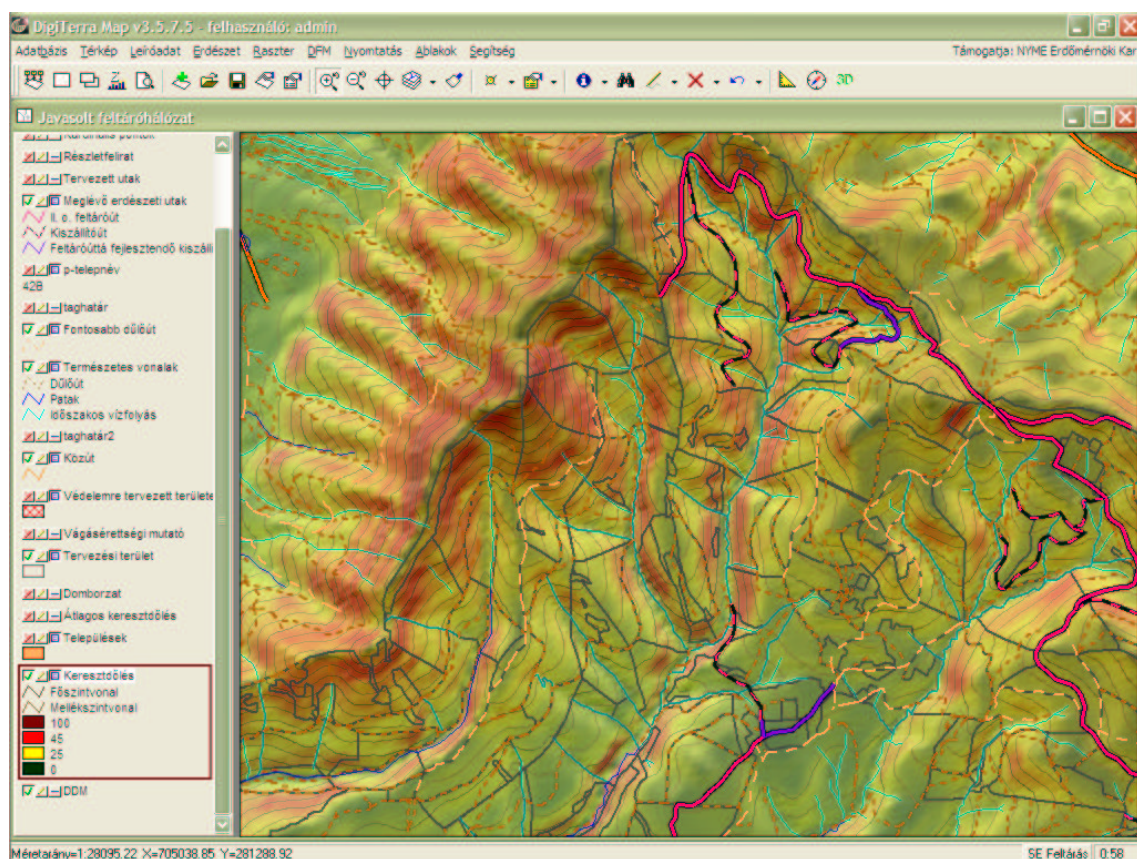
- 0–25% keresztdőlés között utakkal és közelítőnyomokkal,
- 25–45% keresztdőlés között utakkal és épített közelítőnyomokkal,
- 45% keresztdőlés felett utakkal és köteles berendezésekkel.

A kialakított határértékeket az indokolja, hogy

- 25% keresztdőlés alatt a terepen mozgó kerekes járművek stabilitása megfelelő, nem szükséges járőfelületet kialakítani;
- 25–45% keresztdőlésű területen a kerekes járművek csak akkor tudnak biztonságosan közlekedni, ha részükre járőfelületet alakítunk ki, de ezek a járőfelületek még nem okoznak elfogadhatatlan méretű beavatkozást a termőterületbe, az a fatermesztés kezdeti szakaszában megszüntethető;
- 45% keresztdőlés fölött a járőfelület kialakítása már építés jellegű munkával jár, a termőterület átalakítása olyan mértékű, amit célszerű elkerülni. Az így kialakított épített közelítőnyomok nem rendelkeznek az utakat jellemző műszaki paraméterekkel. Ezek csak jelentős költséggel alakíthatók vissza, ökológiai szempontból pedig a terület nem lesz a környező területtel azonos értékű.

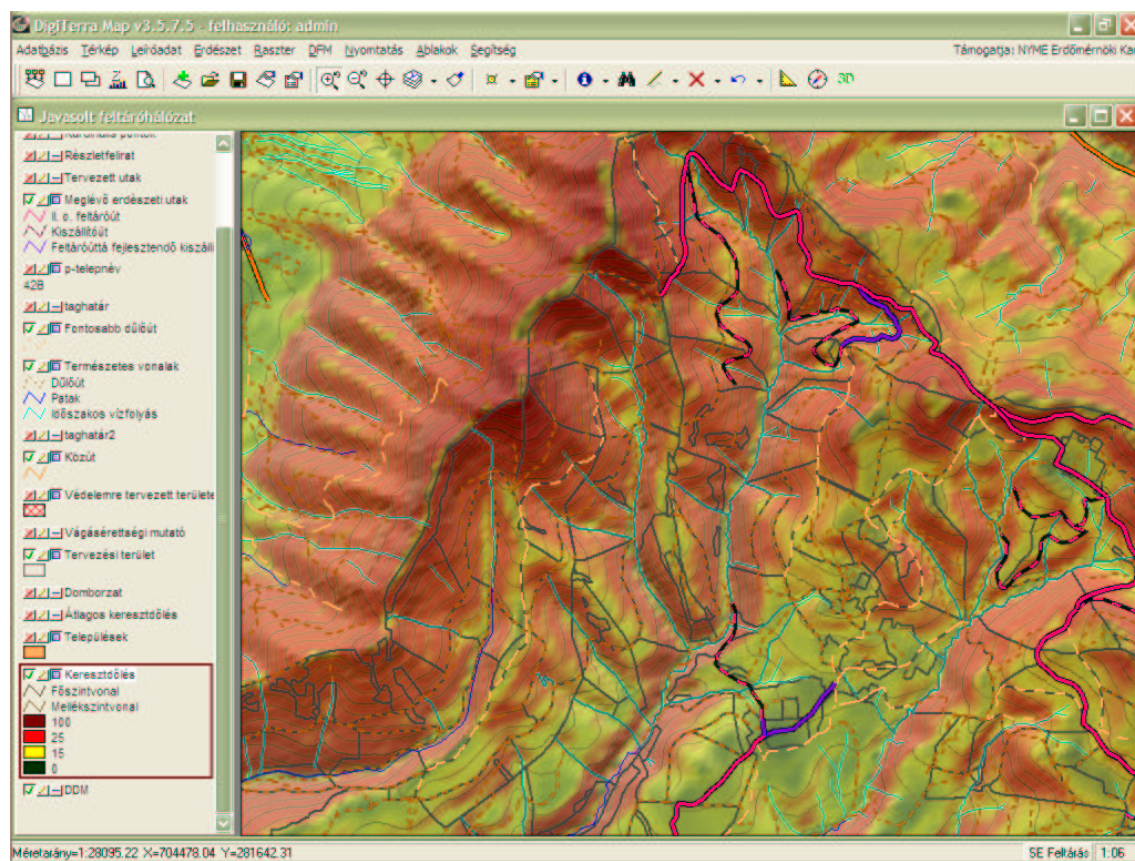
A feltárási koncepció kiválasztására bemutatott javaslat az elsődlegesen fatermesztési rendeltetésű területeken érvényes. Természetvédelmi területeken, ahol a termőterület védelme fokozottabb figyelmet igényel, a határérték lehet 15% és 25%. [Kosztka, 2001a]

A feltárási koncepció meghatározása a geoinformációs rendszerben a domborzatmodell felhasználásával történik. A 3-2. ábra a műszakilag indokolt, a 3-3. ábra az érzékeny területekre javasolt keresztdőlés-határok szerint színezett terepmodellt mutatja be.

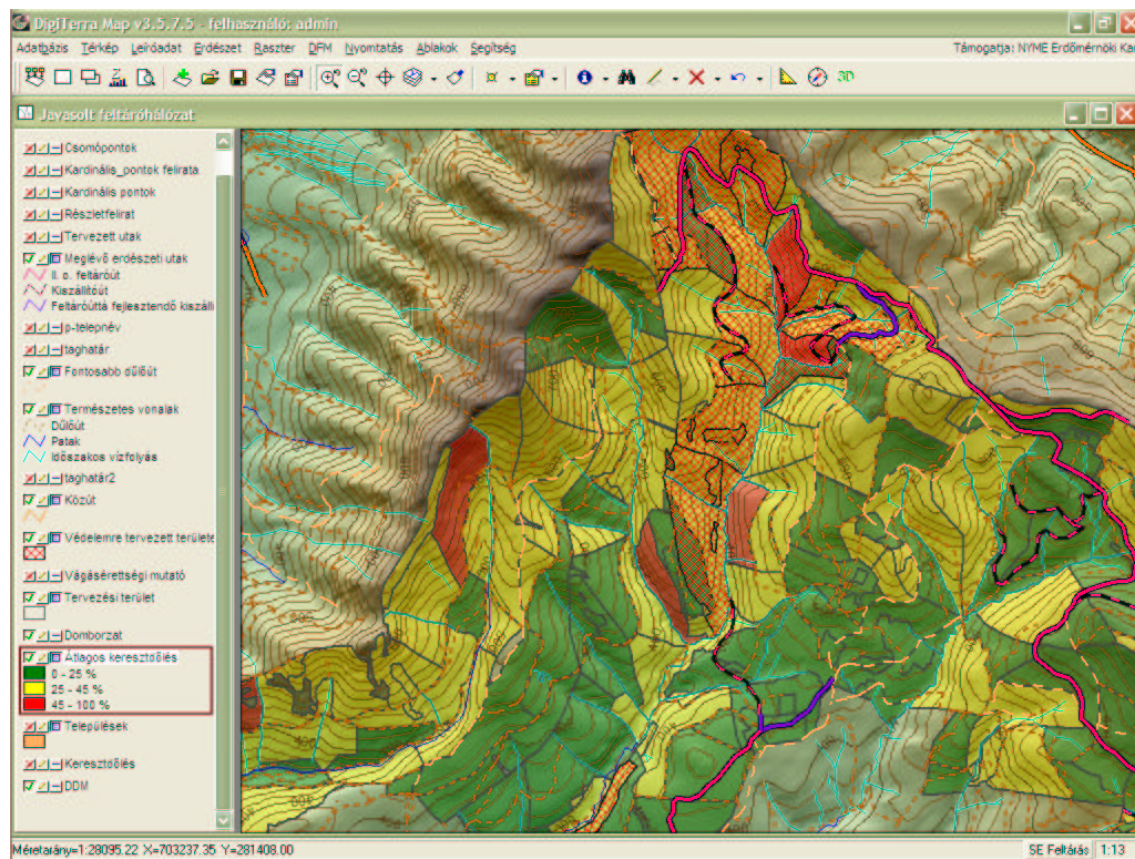


3-2. ábra. Gazdasági rendeltetésű terület feltárási koncepciója.

A feltárási koncepciót célszerű erdőrészlet szinten kimutatni. Ehhez minden erdőrészletnek meg kell határozni az átlagos keresztdőlését, majd az erdőrészleteket a megfelelő határértékek szerint kell osztályozni, ahogy az a 3-4. ábrán látható.



3-3. ábra. Természetvédelmi terület lehetséges feltárási koncepciója.



3-4. ábra. Erdőrészekletek átlagos keresztdőlése.

### 3.2.6. Feltáróhálózat-variációk tervezése

Az adatgyűjtést és az információs rendszer kialakítását követően az első terepi bejárások tapasztalatainak megfelelően, a geoinformációs rendszer adataira támaszkodva kidolgozunk több feltáróhálózat-variációt. A hálózat elemeit semleges vonal mélységig tervezzük meg, mivel a későbbiekben, az egyes utak tényleges tervezésekor – az erdészeti utak tervezési irányelveit követve – lehetőség van a semleges vonalhoz nagymértékben igazodó helyszínrajzi és magassági vonalvezetésű tengely tervezésére.

A semleges vonalak hatékony térképi felkeresése akkor valósítható meg, ha az a geoinformatikai szoftver grafikus felületén, az ábrázolt domborzatmodellen, valós időben történik. A DigiTerra Map geoinformatikai program speciális, az Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Tanszékkel együttműködve kifejlesztett semleges vonal felkereső eszközzel rendelkezik.

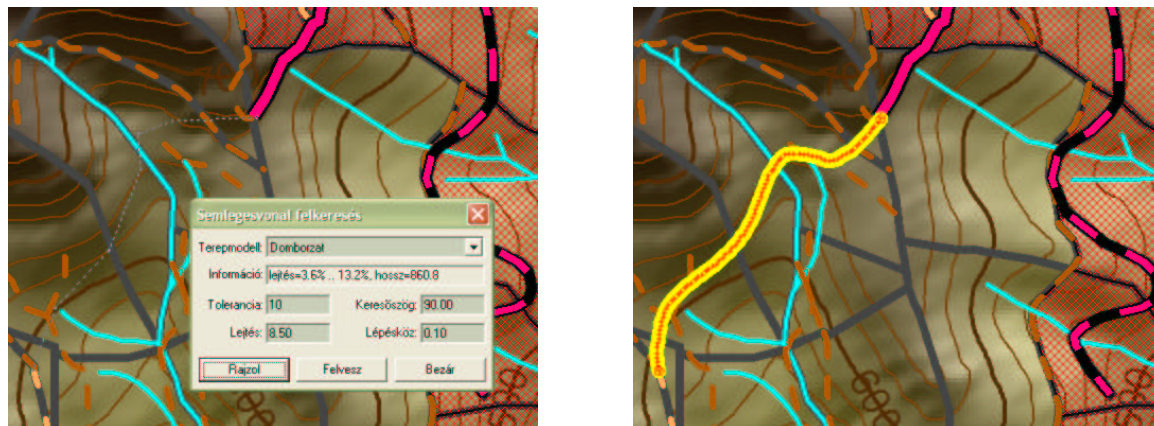
A szintvonalak és a digitális domborzatmodell megjelenítése után a semleges vonal felkeresését végző programrész a DigiTerra Map szoftverben azzal indul, hogy a már meghatározott kardinális pontok alapján, a terep tanulmányozásával a képernyőn a mutatóeszköz (egér) segítségével szükség szerinti számban meg kell adni azokat a pontokat ( $V_i$ ), amelyek az elképzelt vonal körülbelüli futását mutatják. Az  $R$  semleges vonal felkeresése a digitális domborzatmodell alapján a következő algoritmussal történik:

- A semleges vonal bemeneti változói egy  $D(x, y)$  függvény, amely a vizsgált domborzat magasságát adja vissza az  $x, y$  pozícióban és egy  $V_i$  pontokat tartalmazó adatsor, ahol  $i = 1 \dots n$ . A pontok magassági koordinátáját a  $D(x, y)$  függvény szolgáltatja. Az adatsor legtöbbször csak két elemet, egy kezdő- és egy végpontot tartalmaz.
- Az eljárás első lépésében meg kell határozni a  $V_i$  pontok közötti szakaszokra a lejtviszonyokat, a vízszintes távolságokat és a magasságkülönbségeket. Ezek ismeretében meghatározhatók a keresőalgoritmus paraméterei. A legfontosabb az  $R$  semleges vonal  $L$  lejtésének megadása, amely a vonal egészén azonos. További paraméter az  $s$  szakaszhossz, amely a semleges vonalat felépítő szakaszok hosszúságát határozza meg.
- Az algoritmus a  $V_1$  kezdőpontból indul ki és a  $V_2, V_3, \dots, V_n$  pontok irányában keresi a semleges vonal töréspontjait. A keresés az előző töréspont és az aktuális töréspont által kijelölt irányban történik egy adott  $\phi$  keresőszög alatt. A keresőszög növelésével növelhető a keresés rugalmassága. Nagyobb érték esetén az algoritmus számításigényesebb, de képes hegygerinceket, domborzati alakzatokat is megkerülni.
- A  $\phi$  keresőszög és a szakaszhossz egy  $s$  sugarú körívet határoz meg az aktuális pont körül, amely mentén a következő pontot keresni kell. A köríven  $l$  nagyságú távolságonként kell a terep magasságát meghatározni a  $D(x, y)$  függvény segítségével. A magassági pontok összekötésével egy  $T$  térbeli vonalláncot kapunk, amely pontosan a körív fölött húzódik. Az aktuális pont magassága és az  $L$  lejtés alapján meghatározható a következő pont  $z$  magassága, amely egy  $Z = z$  vízszintes síkot jelöl ki. A következő pont vízszintes koordinátáit a  $T$  vonallánc és a  $Z$  sík dőfpontjának koordinátái adják.



- A pontokat a  $V_n$  végpontig kell keresni. Ha a  $V_n$  térbeli pont közelébe érünk egy adott  $\epsilon$  toleranciával, akkor az algoritmus befejeződik. Ha a végpont alatt vagyunk, akkor az  $L$  lejtés értékét növelni kell, ha fölötte, akkor csökkenteni. Az iteratív eljárást addig kell folytatni, míg a végpont közelébe nem érünk a kívánt pontossággal.

A 3-5. ábra a semleges vonal felkeresésének digitális megvalósítását szemlélteti.



3-5. ábra. A DigiTerra Map semleges vonal felkereső eszköze.

### 3.2.7. Feltáráshálózat-variációk értékelése

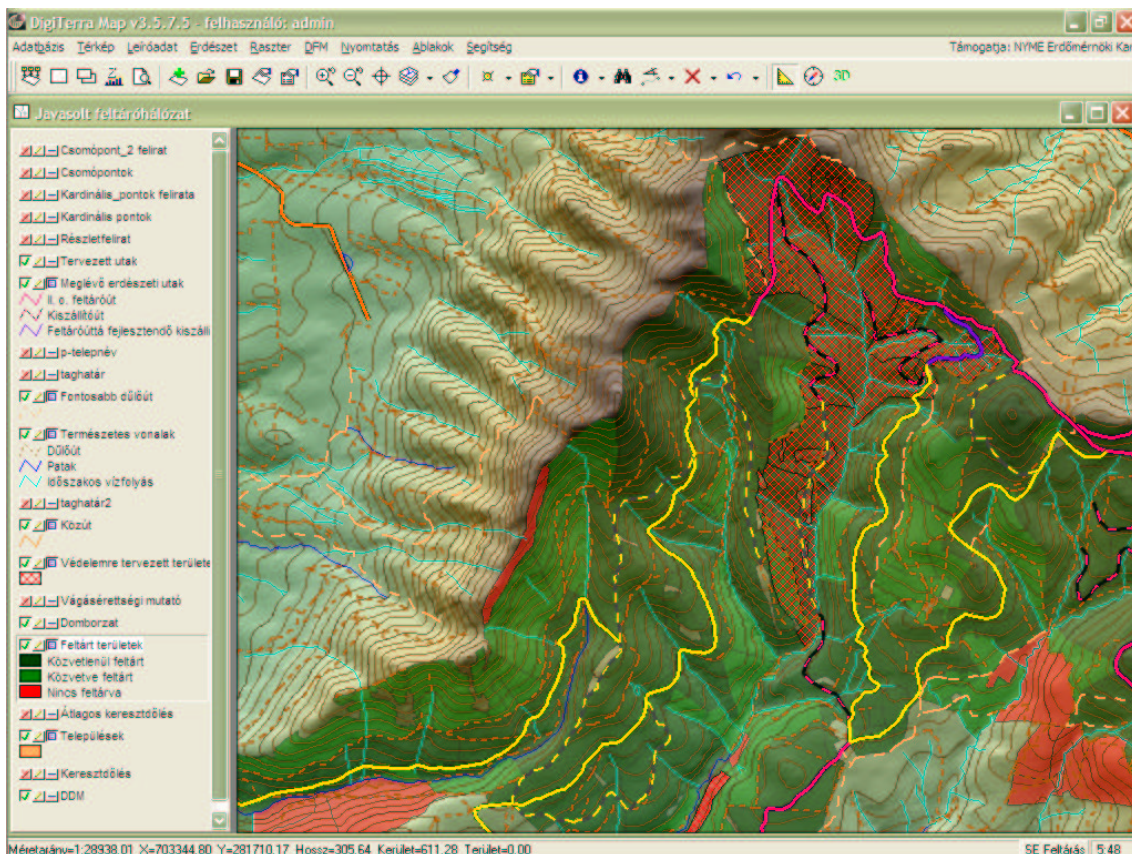
A feltáráshálózat-variációk összehasonlítása objektív mérőszámok alapján lehetséges, melyek a következők lehetnek:

- *Tervezett utak hossza*, útkategóriák szerint [m].  
A felkeresett semleges vonalak hosszát a geoinformatikai program automatikusan számítja, a tervezett hálózati elem kategóriáját pedig a vonal rögzítése után meg kell adni. Az elkészült hálózat-variáció különböző kategóriájú vonalainak teljes hosszát ezek után elő lehet állítani.
- *Tervezett utak feltárandó területen kívüli hossza* [m].  
A tervezett semleges vonalakat az erdőgazdaság határainál meg kell szakítani, és az *Idegen* adatmezőhöz „1” értéket rendelni; ez alapján az idegen területen haladó útszakaszok hossza összesíthető.
- *Tervezett utak negatív kardinális területet átszelő és érintő hossza*.  
Az előzőekhez hasonlóan a felkeresett semleges vonalak a negatív kardinális területek határain is szakaszolhatók, majd a *adatmező* megfelelő kitöltésével elkülöníthetők a területet átszelő vagy érintő szakaszok.
- *A vizsgált terület feltártsági mutatói*: közvetlen és komplex feltártsági mutató, [fm/ha] dimenzióban.  
A közvetlen feltártsági mutató a vizsgált területen haladó úthossz és a vizsgált terület hányadosaként, a komplex feltártsági mutató a teljes úthossz és a vizsgált terület hányadosaként számítható.

- *A vizsgált terület feltártsága ([ha] és [%] dimenziókban):*

Az erdőrészletet közvetlenül feltártnak tekintjük, ha valamelyik tervezett (vagy meglévő) út áthalad rajta. A geoinformatikai programmal leválogathatók azok az erdőrészletek, amelyeket út érint, az így kijelölt területek *Feltárt* adatmezőjébe a *Csoportos módosítás* eszközzel „1” értéket rendelünk; az összes közvetlenül feltárt erdőrészlet területe, valamint a teljes területhez viszonyított aránya ezek után számítható.

Az erdőrészletet közvetve feltártnak tekintjük, ha annak súlypontja a feltárási koncepció alapján meghatározott maximális közelítési távolságra kijelölt, az úttengelyt követő pásztába esik. A feltárási koncepciót a domborzatmodellből levezetett terepdőlés alapján a helyi specialitások figyelembe vételével határozzuk meg. A felkeresett semleges vonalakat az eltérő feltárási koncepciójú területek határán feldaraboljuk, majd a szoftverrel feltárási koncepciónak megfelelő szélességű pufferzónát generálunk; ezután azok az erdőrészletek, amelyek súlypontja a pufferzónába esik, leválogathatók. Az így kijelölt részletek *Feltárt* adatmezőjébe a *Csoportos módosítás* eszközzel „2” értéket rendelünk; az összes közvetve feltárt erdőrészlet területe, valamint a teljes területhez viszonyított aránya ezek után számítható.

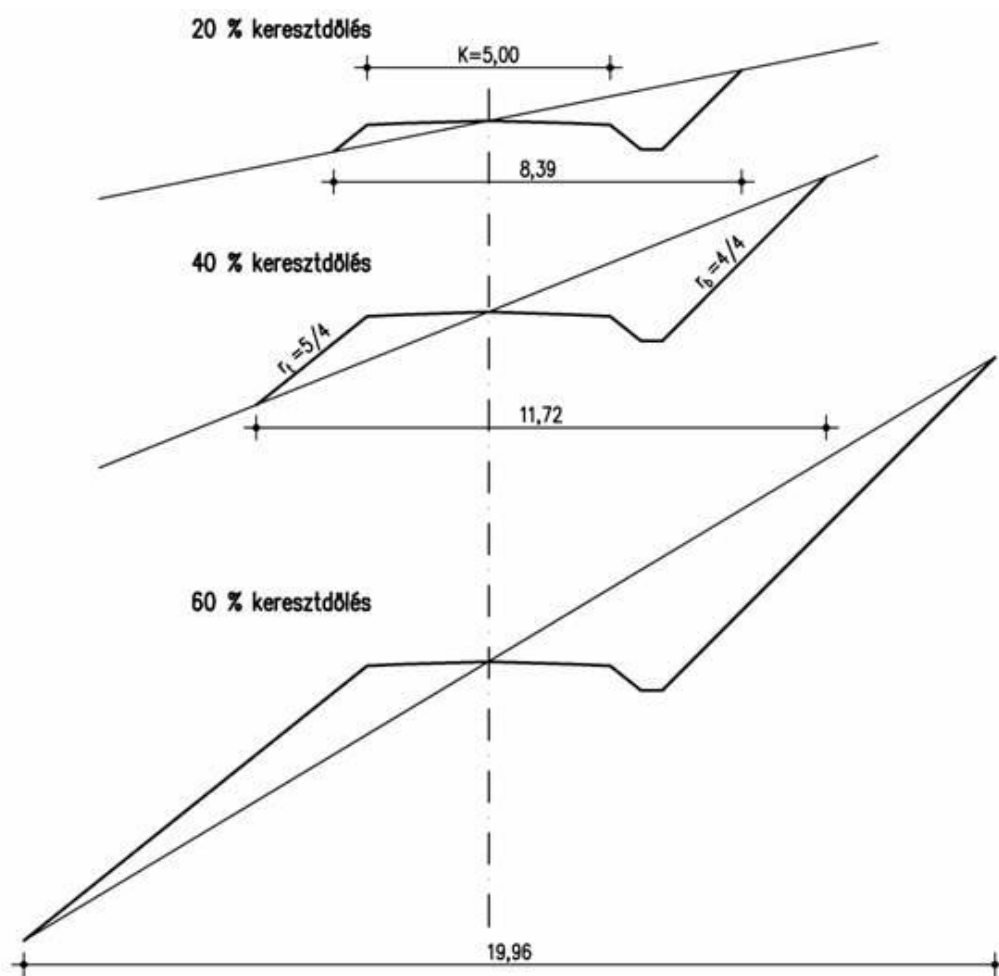


3-6. ábra. A tervezett feltáróhálózat és a feltárt területek.

- *A tervezett feltáróhálózat által elfoglalt erdőterület nagysága, [ha] dimenzióban.*

A tervezett utak műszelvénye által elfoglalt területeket erdőrészlet szinten mutatjuk ki. Ehhez meghatározzuk, hogy az egyes útszakaszok milyen hosszon haladnak egy-egy részleten belül, majd az adott szakasz felezőpontjában meghatározott

terep-keresztdőlés, valamint az útosztály függvényében egy átlagos műszelvény-szélességet állapítunk meg (3-7. ábra). A részleten belüli úthossz és az átlagos műszelvény-szélesség szorzata megadja az elfoglalt terület közelítő nagyságát.



3-7. ábra. II. o. feltáróutak műszelvényének szélessége a keresztdőlés függvényében.

A kiszámított mutatók alapján a tervező javaslatot tehet az optimális variációra, de a döntést a feltáróhálózat-tervet megrendelő erdőgazdaság szakembereinek kell meghozniuk, annak tudatában, hogy a dinamikus aktualizálható adattárolási megoldásoknak köszönhetően az a peremfeltételek megváltozása esetén módosítható.

### 3.2.8. Konzultáció az érintett szervezetekkel

A feltáróhálózat-terv akkor lesz hosszú távon az infrastrukturális fejlesztések koncepcióterve, ha az abban szereplő megoldásokat az erdőgazdálkodó mellett a többi érintett fél is elfogadja. A tervezésnek ebben a fázisában kell a partnereknek a tervbe betekintési lehetőséget biztosítani, hogy véleményüket annak ismeretében fogalmazhassák meg. Ebben a szakaszban a terv – a geoinformatikai megoldások hatékonyságának köszönhetően – a megvalósítható új javaslatoknak megfelelően még viszonylag egyszerűen módosítható.

Mindenképpen ki kell kérni az Állami Erdészeti Szolgálat véleményét, hiszen az erdészeti utak építésének engedélyezési eljárásában mint elsőfokú hatóság szerepelnek. A reális alapokon nyugvó, a Szolgálat szakemberei által előzetesen jóváhagyott terv az egyes utak jövőbeni engedélyezését jelentősen felgyorsíthatja.

A területileg illetékes természetvédelmi szervezet véleményét abban az esetben is érdemes megismerni, ha a terület nem áll természetvédelmi oltalom alatt, hiszen a jövőben is számolni kell további területek védetté nyilvánításával. A tartamos erdőgazdálkodás jól megfogalmazott céljai sok esetben megfelelhetnek a természetvédelmi elvárásoknak; a jövőben ezen közös pontok mentén kellene az együttműködés feltételeit megkeresni.

A feltárandó erdőterületeket jellemzően mezőgazdasági területek veszik körül, amelyeket az új utakkal sokszor kereszteznünk kell. Az igények előzetes felmérése után a tervezésnek ebben a szakaszában az érintett önkormányzatokat, gazdálkodókat is tájékoztatni kell az elképzeléseinkről. A közös célokat szolgáló útszakaszok megvalósulásához a társadalom egyéb szereplői is hozzájárulhatnak közvetlen anyagi ráfordításokkal, vagy a területhasználat engedélyezésével. Nem mellékes az a szempont sem, hogy az Európai Unió a fejlesztési pályázatok elbírálásánál előnyben részesíti a komplex kistérségi célokat megvalósító beruházásokat.

### **3.2.9. A javasolt variáció megvalósíthatóságának terepi vizsgálata**

A domborzatmodellen előállított semleges vonalakat meg kell kísérelni a terepen is felkeresni. Ilyenkor nem cél a semleges vonal precíz kitzúzése és állandósítása, célunk csupán annak eldöntése, hogy az irodában kiötlött megoldások a terepen is megvalósíthatók-e.

Az általában nagy méretarányú térkép szintvonalaiából levezetett felületmodell nem adja vissza a terep finomságait, a vízmosások, mellékvölgyek például csak elnagyoltan jelennek meg rajta, holott ezek megközelítése vagy keresztezése a tervező részéről nagy körültekintést igényel. Hasonlóképpen a területen lévő sziklák, suvadásos vagy vizenyős területek sem szerepelnek a digitális térképen, így ezek elkerüléséről a terepi munkák során kell gondoskodni. Ilyen esetekben – a semleges vonal felkeresésének megszakításával – a terepen ki kell jelölni azokat a pontokat, amelyeket a semleges vonallal érintve a kérdéses terepalakulat keresztezhető vagy elkerülhető. Ezen kardinális pontok kijelölése után a semleges vonalat módosítani kell.

A terepen felkeresett semleges vonal pontjait navigációs GPS-el vagy terepi térinformatikai adatrögzítővel be kell mérni azért, hogy a végleges terven majd a ténylegesen felkeresett semleges vonalat ábrázoljuk. A koordináták mérése után a pontokhoz megjegyzések (pl. emelkedő/esés értéke, digitális fénykép azonosítója stb.) fűzhetők, amelyek a későbbi irodai feldolgozást megkönnyítik.

### **3.2.10. A javasolt feltáróhálózat elemzése**

A terepi vizsgálatokat követően, a méréseknek megfelelően véglegesítjük az elméleti feltáróhálózat-tervet, majd a 3.2.7. alfejezetben ismertetett mutatók előállításával értékeljük azt.

Az ismertetett tervezési eljárással és annak geoinformatikai megvalósításával olyan feltáróhálózat-tervet hozunk létre, amely az aktuális viszonyok között megfogalmazott érdekek figyelembevételével tekinthető optimális megoldásnak. A feltáróhálózat megvalósulásának időben elhúzódó folyamata alatt azonban megváltozhatnak a körülmények, sőt a megváltozott körülményeket magunk hozzuk létre a hálózat szakaszos kiépítésével. Mindig meg kell vizsgálni, hogy

- célrendszerünk érvényesnek tekinthető-e,
- korábbi döntéseink megfelelnek-e a célrendszernek a változó körülmények között,
- a megvalósítással közelebb kerültünk-e az előre felvázolt céljainkhoz,
- a megvalósítással létrehozott új helyzet korábbi döntéseinket nem módosíthatja-e.

Ennek a folyamatnak az alapja a jól működő geoinformációs rendszer, amely naprakész információkat szolgáltat a meglévő állapotokról [Kosztka, 2001b].

### 3.3. Dinamikus feltáróhálózat-tervezés a gyakorlatban

A dinamikus feltáróhálózat-tervezési módszert 2000-ben, a *Börzsöny komplex, közjóléti feltárása* című tanulmány elkészítésekor alkalmaztuk első ízben. A Börzsöny mintegy 30 000 ha területének feltáróhálózatát két variációban készítettük el, összesen mintegy 600 km hosszban kerestünk fel semleges vonalakat. A tervezési munka megkezdése előtt megkíséreltük minél több érdekelt bevonásával a lehető legtöbb igényt, észrevételt és javaslatot felderíteni, ám a természetvédelem (Duna-Ipoly Nemzeti Park) elutasító magatartása miatt végül csak az erdőgazdálkodási érdekek, illetve a természetvédelmi korlátok jelentek meg. A tanulmány legfontosabb gyakorlati eredményének véleményem szerint az tekinthető, hogy a tervezési módszer hatékonyságát bizonyítani tudtuk.

2005-ben készítettük el a *Gyöngyöspata – Szurdokpüspöki erdőtömb feltáróhálózata* című tanulmánytervet. A korábbi munkánkhoz képest jóval kisebb terület feltáróhálózatának tervezésekor elsősorban erdőgazdálkodási érdekek figyelembe vételére volt lehetőségünk. Összesen mintegy 3000 ha terület feltáróhálózatát terveztük meg, a javasolt variációban 30 km semleges vonalat felkeresve. A semleges vonalak megvalósíthatóságát a terepen is ellenőriztük. A geoinformatikai módszerekkel készített feltáróhálózat-tervet az Állami Erdészeti Szolgálat is jóváhagyta; az Egererdő Zrt. tervei szerint a terület feltárása a jövőben a tanulmányban javasolt nyomvonalak szerint valósul meg.

A *Feltáróhálózatok tervezése* című tantárgy gyakorlati feladatát hallgatóink 2000 óta az ismertetett módszerrel, a DigiTerra Map program alkalmazásával oldják meg; a félév végére az erdőfeltárás alapelvein és tervezési megoldásain kívül az erdőmérnöki gyakorlatban széles körben kamatoztatható geoinformatikai tudásra is szert tesznek.



*„Az út földművének kialakítása során óhatatlanul »sebet ütünk« a természetes környezetbe. Az úttervező mérnök feladata az, hogy a természetes környezet megváltoztatását a lehető legkisebbre csökkentse és természetű megoldások alkalmazásával gondoskodjon a seb azon részének begyógyításáról, ahol az lehetséges.”*

Rácz József, 1981.

## 4. Erdészeti utak számítógéppel támogatott tervezése

A számítógéppel támogatott erdészeti úttervezés nem csak a hagyományos úttervezési algoritmusok digitális leképezését valósítja meg, hanem a korszerű geodéziai és számítástechnikai eszközökhöz igazodó tervezési módszer tudatos alkalmazásával hatékony, a 21. század kihívásainak megfelelő eszközt ad a tervező mérnök kezébe.

A tervezési eljárás finomításakor, illetve a számítógépes program megalkotásakor azt a gondolatmenetet igyekeztem konzekvensen követni, mely szerint a számítógép a szemantikus, ismétlődő feladatok – számítások, nagymennyiségű rajzok – elvégzésével segíti az úttervezőt abban, hogy az a kreatív, mérnöki feladatokra tudjon összpontosítani. A tervező mindeközben a teljes tervezési eljárás során ellenőrzése alatt tartja a folyamatokat, vagyis ő hozza meg a döntéseket. Ennek megfelelően nem törekedtem például olyan algoritmus kidolgozására, amely a semleges vonalat automatikusan követő helyszínrajzi tengely optimalizálását végezné el, ugyanakkor a helyszínrajzi tengely valós idejű grafikus tervezésének megalkotásával egy-egy variáns kidolgozásának idejét nagymértékben lecsökkentettem.

Ebben a fejezetben először az erdészeti úttervezés körülményeit próbálom meg érzékelteni, majd bemutatom az ezeknek megfelelően kidolgozott tervezési eljárást. Az Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Tanszéken végzett szoftverfejlesztői munka rövid bemutatása után a fejlesztések legújabb eredményét, a maCADam úttervező szoftvert ismertetem. Végül beszámolok az elért gyakorlati eredményekről, melyek alatt egyrészt a megvalósult útterveket, másrészt az oktatásba beépült elveket és módszereket értem.

### 4.1. Erdészeti utak tervezésének folyamata

A rendszerváltást követően az erdészeti útügy a természetvédelem kerettüzebe került, ami az erdőfeltárási támogatások megszűnésével együtt az erdészeti úttervezések leállítását okozta. A 90-es évek közepétől az újra beinduló támogatások megteremtették a feltételét annak, hogy új erdészeti utak épüljenek.

Az 1997-ben jogerőre emelkedő erdőtörvény az erdészeti úttervezési tevékenységet tervezői jogosultság meglétéhez köti, a tervezői jogosultságok kérdésének megnyugtató rendezése azonban csak a közelmúltban valósult meg. Az erdészeti utak *építésének* minőségét biztosító előírások, valamint a műszaki ellenőrzés jogi és személyi feltételei ugyanakkor mind a mai napig hiányoznak, ami a közeljövőben várható európai uniós támogatások elnyerését is kérdésessé teszi.

A tulajdonviszonyok megváltozása, illetve az Állami Erdészeti Szolgálat hatósági szerepének megerősödése és az engedélyezési eljárás gyakorlati megvalósulásának letisztulása a korábbtól eltérő tervezői (és terveztetői) szemléletet követel meg. Szakítani kellett a „mi vagyunk az utak az erdőben” hozzáállással, hiszen az erdőfeltárási tevékenységeknek, így az úttervezéseknek is egyre több szereplő követelményeinek kell megfelelnie.

Mind az erdőgazdálkodói, mind a hatósági tevékenység támogatásában rohamosan tért hódított az informatika. A digitális adatállományok és térképek összekapcsolását megvalósító geoinformatikai rendszerek – DigiTerra Map – megjelenésével és az új technológiák jelentőségének megértésével elkezdődött az üzemtervi térképek digitalizálása, melynek eredményeképpen gyakorlatilag az egész ország erdőterületére elkészültek a digitális erdőtérképek. Ennek megfelelően a geodéziai méréseket és a tervezést vetületi rendszerben célszerű elvégezni, hiszen a tervezett út térképbe illesztése így egyszerűbbé – és ellenőrizhetővé – válik. A „szép új digitális világ” azonban új ellentmondásokat is generál, amelyek a jövőben a digitális erdészeti térképek pontosításával (vagy az engedélyezési eljárás módosításával) oldhatók fel.

A korábban kialakított „hagyományos” módszerekkel a megváltozott feltételek között az úttervezési munkák végrehajtása nehézkessé vált. Az új eljárás kialakítását az egyre szélesebb körben elterjedt korszerű geodéziai eszközök – elsősorban a digitális mérőállomások és geodéziai pontosságú GPS-ek – is előmozdították, sőt megkövetelték.

A fentiek figyelembevételével az erdészeti utak tervezési rendszerével szemben támasztott legfontosabb új követelmények a következők szerint foglalhatók össze:

- Úttervezési munkák felgyorsítása.
- Rövid idő alatt több variáció kidolgozásának és összehasonlításának lehetősége.
- A tervezett létesítmény pontos térképi ábrázolása.
- A kivitelezői gyakorlatban megjelenő geodéziai műszereknek megfelelő kitűzési adatok szolgáltatása.

#### 4.1.1. Erdészeti utak építésének engedélyezési eljárása

Az erdészeti feltáróutak építési engedélyezési eljárását az Erdészeti Utak Tervezési Irányelvei [EUTI, 2001] rögzíti. Erdőterületen létesítendő erdészeti magánút engedélyezési eljárásakor az elsőfokú építési hatóság az Állami Erdészeti Szolgálat, amely az engedélyezési eljárásba bevonja az érintett szakhatóságokat. Az engedélyezési eljárás lépcsői a 4-1. ábrán láthatók. A következőkben a tervezési-engedélyezési eljárás egymást követő szintjeinek megfelelő tervtípusokat mutatom be:

A *tanulmányterv* a megrendelő elképzeléseinek megvalósíthatóságát vizsgálja; tartalmazza a keresztmetszeti kialakítást és a vízszintes vonalvezetést. A vonalvezetés tervezésekor a megadott pozitív kardinális pontok között *semleges vonal szinten* vonalvezetési variációkat dolgozunk ki. A semleges vonalak térképi felkeresése a tervezett út tágabb környezetét lefedő digitális terepmodellen történik. A kiválasztott variáció megvalósíthatóságáról a semleges vonal terepi felkeresésével győződünk meg. Ideális esetben az erdőgazdaság rendelkezik feltárási alaptervvel (lásd 3. fejezet), ami betölti a tanulmányterv funkcióját is.





4-1. ábra. Erdészeti útépités engedélyezési eljárása.

A *területigénybevételi terv* az engedélyezési eljárás első tervfázisa. A vízszintes és magassági vonalvezetés, valamint a keresztmetszeti kialakítás nagyvonalú ábrázolása mellett a tervezett létesítmény által elfoglalt terület kimutatását is tartalmazza, erdőrészletenként 0,01 ha (!) pontossággal. Készülhet az engedélyezési terv részeként, vagy külön tervdokumentációként. A gyakorlatban jellemzően mint külön terv készül el, és az építendő az előzetes terület-felhasználási és művelési ág változás iránti kérelem mellékleteként nyújtja be az elsőfokú építési hatósághoz.

Az *engedélyezési terv* azokat a munkarészeket tartalmazza, amelyek alapján az engedélyező hatóság a tervezett létesítményt részleteiben is megismerheti, így az engedélyezési eljárás lefolytatható. Az engedélyezési terv az út műszelvényét és környezetét nagy pontossággal ábrázolja, bemutatja a vízelvezetési megoldásokat, tartalmazza a műtárgyak, csomópontok, rakodók, lejárók részletterveit, a pontos földtömegszámítást és elosztást.

Az *építési terv* tartalmazza az út részletes műszaki terveit, mennyiségi adatait, minőségi előírásait és költségvetését, amelyek alapján a kitérés és az építés lebonyolítható.

A *megvalósulási terv* a megépült út geodéziai felmérését tartalmazza, amely alapján az erdőtervi és kataszteri térképek módosítása végrehajtható [Kovács, 2003].

#### 4.1.2. Előkészítő tevékenységek

Az előkészítő tevékenységek közé a következőket sorolhatjuk:

- *A tervezendő út funkciójának meghatározása.* Minden mérnöki létesítmény tervezésekor alapvető fontosságú a tervezési folyamat elején az elérendő célok meghatározása, amelyről azonban a gyakorlatban gyakran megfeledezünk. A célok tudatos megfogalmazásával sok jövőbeni vita és probléma megelőzhető.

- *A tervezéshez szükséges térképek és egyéb alapadatok beszerzése.* Az üzemtervi és kataszteri térképeket a tervezéshez felhasznált térinformatikai rendszernek megfelelő *vektoros* formátumban kell beszerezni. Lehetőség szerint meg kell vásárolni a tervezési terület digitális domborzatmodelljét. Ha ez nem lehetséges, akkor valamilyen szintvonalas (pl. 1:10 000 méretarányú topográfiai) térkép felhasználásával kell a terepmodellt elkészíteni. A terepi geodéziai mérések megkezdése előtt tájékozódnunk kell a tervezési terület közelében található vízszintes és magassági alappontok elhelyezkedéséről vagy a legközelebbi permanens GPS állomás távolságáról, hogy méréseinket be tudjuk kötni az országos vetületi rendszerbe.
- *A várható forgalom közelítő becslése.* Az erdészeti utakon megjelenő forgalom alapvetően kétféle lehet: teher- és személyforgalom. Míg a pályaszerkezet méretezése a nehézgépjármű forgalom ismeretében végezhető el, addig az utazáskényelmi szempontok fontosságát a személyforgalom mértéke határozza meg. A pálya járhatóságának biztosítása (pl. szükséges szélesítések nagysága, burkolatszéllekerekítések sugara), valamint a pályaszerkezet méretezéséhez szükséges 100 kN egységtengely-áthaladásban kifejezett forgalom meghatározhatóságának érdekében a jellemző járműtípusokat is meg kell adni.
- *A keresztmetszeti kialakítás legfontosabb jellemzőinek meghatározása.* A tervezett létesítmény funkciója, illetve a fatérfogatban kifejezett forgalom függvényében határozható meg a tervezett út kategóriája (I. vagy II. osztályú feltáróút, illetve kiszállítóút). A személyforgalom nagysága és összetétele, valamint az anyagi lehetőségek függvényében kiválasztható a burkolati réteg(ek) anyaga (aszfalt vagy kötőanyag nélküli makadám). A forgalmi sávok számának és a pályaszerkezet felépítésének (függőleges vagy lépcsős pályaszerkezetszél) ismeretében tervezhető a burkolat, valamint a korona szélessége. A pályaszerkezet rétegeinek kiválasztása után azok vastagsága a forgalmi adatok és az anyagjellemzők alapján tervezhető.
- *Pozitív és negatív kardinális pontok kijelölése.* A vonalvezetés tervezése az út által érintendő pozitív kardinális pontok, illetve az út által nem érinthető negatív kardinális pontok és területek kijelölésével kezdődik. Míg a pozitív kardinális pontok meghatározásánál alapvetően az erdőgazdálkodási érdekek, esetleg a közjóléti célok dominálnak, addig a negatív kardinális pontok és területek kijelölésekor az Állami Erdészeti Szolgálat és a helyi természetvédelmi hatóság állásfoglalását kell kérni. Ugyancsak negatív kardinális területként jelenhetnek meg az idegen tulajdonban lévő területek. Az idegen területek igénybevétele esetenként hosszú egyeztetési feladatot jelenthet, amelyet az erdőgazdaságok általában nem vállalnak fel – bár a komplex kistérségi igények kielégítése és a többtulajdonosú erdőgazdálkodás alapelvei esetenként megkövetelnék azt.
- *A semleges vonal térképi felkeresése.* Hegy- és dombvidéki erdészeti utak tervezésekor a terepbe és tájba illeszkedő, nyugodt magassági vonalvezetésű, a termőhelyből fajlagosan a legkisebb területet elfoglaló, építési és fenntartási szempontból (vízelvezetés) egyaránt kedvező vonalvezetés a semleges vonal megfelelő alkalmazásával alakítható ki. A semleges vonal térképi felkeresése célszerűen a térinformatika eszközeivel oldható meg. [Markó, 2004]

Síkvidéki utak tervezésekor, valamint jelentős helyszínrajzi kötöttségek esetén a semleges vonal felkeresése helyett az út közelítő vonalvezetését a meglévő dű-

lőutak, nyiladékok stb. figyelembevételével alakítjuk ki. A semleges vonal alkalmazásának mellőzésekor is tekintettel kell lennünk azonban a magassági vonalvezetésre, vagyis hegy- és dombvidéki utak közelítő nyomvonalának kijelölésekor minden esetben szintvonalas térképen (digitális terepmodellen) kell az elképzelések megvalósíthatóságát ellenőrizni.

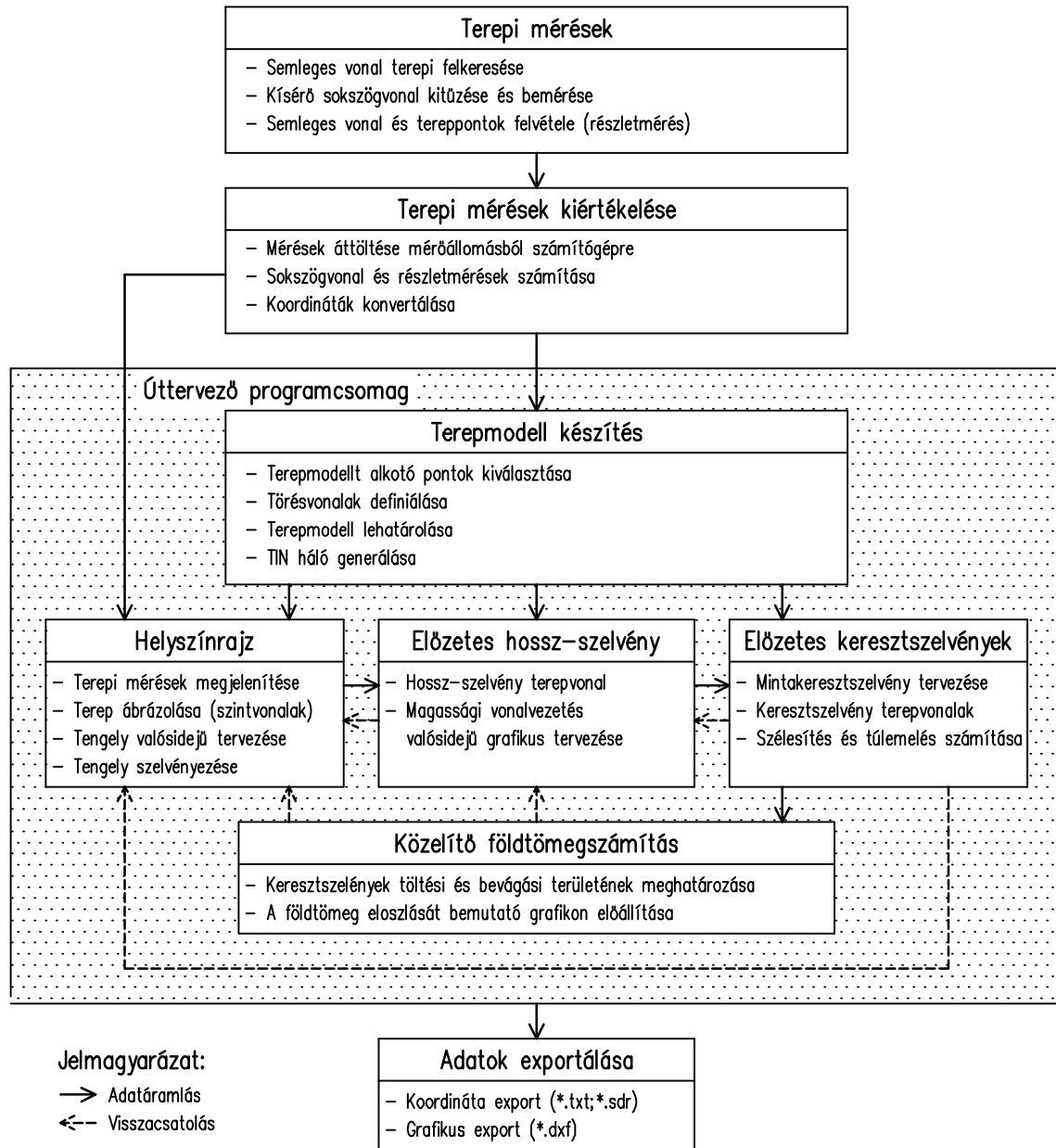
- *Előzetes konzultáció az érintett felekkel.* Az úttervezési folyamat előkészítő tevékenységeit a tervező a megrendelő erdőgazdaság szakembereivel folytatott folyamatos konzultáció mellett kell, hogy végezze. A megrendelő elvárásai és a tervező által megfogalmazott műszaki feltételek figyelembevételével kialakított vonalvezetést célszerű még a terepi mérések megkezdése előtt (esetleg a semleges vonal terepi kitűzését követően) az Állami Erdészeti Szolgálat, a helyi természetvédelmi hivatal, az esetlegesen érintett egyéb tulajdonosok, közúti csatlakozás esetén a közútkezelő, vagyis minél több érintett féllel egyeztetni. Az előzetes egyeztetések elmulasztása esetén a tervezett létesítményt az érintett felek csak az engedélyezési eljárás során, a kész tervek alapján ismerhetik meg. Az általuk megfogalmazott igényeket ilyenkor a tervbe beépíteni már nem lehet, azok csak új terv készítése során vehetők figyelembe.

A fent megfogalmazott tevékenységek elvégzésével, esetenként több variáció tanulmányozásával előállítjuk az optimális megoldást tartalmazó tanulmánytervet.

### 4.1.3. Előtervezés

Az előtervezés során célunk az, hogy – terepi mérések után – az optimális helyszínrajzi tengelyt előállítsuk, majd *az út kitűzése nélkül* hossz- és keresztmetszvényeket tudjunk rajzoltatni, ami alapján a közelítő földtömegszámítás elvégezhető és az előzetes területigénybevétel meghatározható.

Az előtervezés folyamatát a 4-2. ábra mutatja be.



4-2. ábra. Az előtervezési fázis folyamatábrája.

A geodéziai mérések hegy- és dombvidéken a semleges vonal terepi felkeresésével kezdődnek. A semleges vonal egyenlejtésű szakaszait és azok esését a terepmodell felhasználásával az előkészítő tevékenységek során kijelöltük, így a feladat tulajdonképpen ezen egyenlejtésű szakaszok terepi reprodukálása. A semleges vonal hatékony terepi

felkereséséhez Boose-féle lejtűző keretet vagy Möller-féle zseblejtűzőt használhatunk. Tapasztalataim szerint az 1:10 000 méretarányú topográfiai térkép szintvonalainak digitalizálásával készített terepmodellen előnyomozott semleges vonal  $\pm 0,5\%$  esésbeli eltéréssel a terepen is felkereshető.

A következő lépés a semleges vonalat – vagy a leendő út nyomvonalát meghatározó nyiladék, dűlőút stb. vonalat – követő sokszögvonala kitűzése és bemérése. Ezen általános sokszögvonala sarokpontjait úgy kell kitűzni, hogy azokról a semleges vonal – nyiladékok, dűlőutak stb. – pontjai, a keresztezett terepalakulatok jellemző pontjai, valamint az út elképzelt nyomvonalát követő mintegy 20–40 m széles sávról készítendő terepmodellt alkotó pontok bemérhetők; majd (a végleges tervezés során) a beszelvényezett tengely fő- és részletpontjai kitűzhetők legyenek.

Erdővel borított terepen a sokszögvonala és a részletpontok bemérése hatékonyan mérőállomás alkalmazásával oldható meg. A sokszögvonala országos vetületi rendszerbe történő bekötése kétféleképpen oldható meg:

1. A tervezési terület közelében fellelhető alappontok felhasználásával.
2. GPS technológiával meghatározott koordinátájú alappontokra támaszkodva.

Erdészeti utak tervezésekor a tervezési terület közelében megbízható alappontok általában nem lelhetők fel. A GPS technológia utóbbi évtizedben tapasztalt robbanásszerű fejlődése és elterjedése azonban lehetőséget biztosít arra, hogy gyakorlatilag tetszőleges helyen mind vízszintes, mind magassági értelemben cm-es pontosságú koordinátákkal rendelkező alappontokat létesítsünk.

A GPS-technológiával meghatározott alappontok helyének kijelölésekor a következőkre kell tekintettel lenni:

- Az alappont a mérési terület közvetlen közelében helyezkedjen el – lehetőleg a kitűzött sokszögvonalba illeszkedjen.
- Méréskor a GPS készülék a mérés folyamán folyamatosan megfelelő számú (minimum 4, inkább 5) műholdat „lásson”.

Tapasztalataim szerint egy szélesebb nyiladék, vagy nagyobb tisztás már elég nyitott ahhoz, hogy a mérést a megkívánt megbízhatósággal végre lehessen hajtani. Az alappont helyét célszerű a nyiladék északi oldalához közelebb kijelölni, mert a műholdpályák többsége déli irányban helyezkedik el.

A GPS alappontok száma a tervezett út hosszától függ. Alappontot célszerű elhelyezni:

- az út kezdő- és végpontja közelében,
- a sokszögvonala nagyobb töréspontjaiban,
- kilométerenként egyet.

Az alappontok koordinátáinak cm-es nagyságrendű pontossága differenciális GPS méréssel biztosítható. A differenciális GPS mérés végrehajtásakor az ismert koordinátájú bázisállomás lehet a tervezési terület közelében elhelyezkedő országos GPS alapponton elhelyezett készülék, vagy felhasználhatjuk a legközelebbi permanens GPS állomás adatait is. Az országos GPS alapponthálózatot és a permanens állomásokat a FÖMI

üzemelteti. Az alappontok koordinátái és a pontleírások, valamint a permanens állomások mért adatai az interneten keresztül megvásárolhatók. A permanens állomások méréseinek felhasználása előnyös abból a szempontból, hogy egyszerre csak egy GPS készüléket kell működtetnünk. A hálózat üzemeltetője szerint kétfrekvenciás GPS vevő használatának esetében a permanens állomás 60 km-es körzetében számíthatunk megfelelő pontosságú eredményre [www.gpsnet.hu].

A differenciális GPS mérés adatait valós idejű, vagy utólagos feldolgozással értékelhetjük ki. A valós idejű feldolgozás előnye, hogy már a mérés végrehajtásakor meggyőződhetünk annak megbízhatóságáról; hátránya, hogy végrehajtása körülményesebb és eszközigénye nagyobb.

A GPS alappontok között vezetett sokszögvonalat – tájékozó irányok hiányában – beillesztett sokszögvonalként számítjuk. Mivel a felhasznált alappontok koordinátáit ismert pontossággal határoztuk meg, továbbá a sokszögpontok közötti törésszögek és távolságok a mai mérőállomások használatával nagy megbízhatósággal meghatározhatók, a sokszögvonal beillesztett vonalként történő számítása is biztosítja a megkívánt pontosságot.

A készítendő terepmodell megfelelő pontosságának biztosítása érdekében a kitézött semleges vonal pontok a terep szabdaltságától függően 10...20 m távolságra követik egymást. Egyenletes terep későbbi számítógépes ábrázolásához a terepmodellt alkotó pontokat célszerű a semleges vonalra nagyjából merőlegesen kijelölni, a terepet keresztaszelvény-szerűen felvenni. Ezen pontok közötti távolság sem haladja meg a 10...20 métert. Különböző jellemző terepalakulatok – vízfolyás, vízmosás, mélyút stb. – keresztezésekor vagy megközelítésekor a bemérendő pontok helyét úgy kell kijelölni, hogy azok összekötésével a terepmodell a valós terepalakulatot tükrözze. A terepmodell-törésvonalak későbbi korrekt kijelölésének megkönnyítése érdekében a bemért tereppontokat egyértelmű azonosítóval kell ellátni. Bonyolult terepalakulat esetében részletes manuálét kell készíteni. Célszerű, ha a bemérendő tereppontokat a terepmodellt létrehozó mérnök jelöli ki.

A terepi mérések eredményeinek utólagos feldolgozása arra alkalmas számítógépes szoftverek felhasználásával történik. A GPS alappontok koordinátáinak meghatározása után azokra támaszkodva a beillesztett sokszögvonalakat, majd végül a részletméréseket számíttatjuk. A sokszögpontok és tereppontok koordinátáit az úttervező szoftver által kezelhető formátumba exportáljuk.

Az alap-, sokszög-, semleges vonal és tereppontok koordinátáinak importálása után a bemért pontok a helyszínrajzi tervezésre szolgáló ablakban megjeleníthetők. Az úttengely tényleges tervezése előtt létre kell hoznunk a tervezési terület domborzatát leképező terepmodellt. A legtöbb úttervező szoftver szabálytalan háromszögháló (TIN) típusú vektoros felületmodellt alkalmaz, hiszen a részletes terepi felmérés eredményeképpen előállított ponthalmazra generált felületmodellek közül ez adja vissza a legjobban a terep jellegzetességeit [Markó–Péterfalvi, 2004]. Mivel a háromszögháló csúcspontjai közötti távolság kicsi, egy-egy háromszögon belül a felület síkkal helyettesíthető.

A terepmodell a helyszínrajzon szintvonalak generálásával és/vagy magassági színezéssel jeleníthető meg. A domborzat, valamint a bemért tereppontok és a semleges vonal pontjainak megjelenítése után megtervezhető a vízszintes úttengely első variációja. A

helyszínrajzi tervezés gyakorlati megvalósítása az alkalmazott úttervező programtól függ, azonban jellemzően a következő lépések követik egymást:

1. Egyenesek elhelyezése.
2. Egyenesek közötti körívek elhelyezése.
3. Ahol szükséges, egyenesek és ívek közötti átmeneti ívek elhelyezése.
4. Egyenesek helyzetének, ívek sugarának és átmeneti ívek paramétereinek felülvizsgálata-módosítása.
5. Szélesítések és túlemelések számíttatása, kifuttatásukhoz szükséges hossz meglétének ellenőrzése.
6. Tengely beszelvevényezése, tengelypontok vízszintes koordinátáinak számítása.

Az erdészeti utak tervezésekor a kis tervezési sebességből adódó viszonylag szerény műszaki paraméterek (minimális körívsugár, megengedhető legrövidebb egyenes stb.) a helyszínrajzi tervezéskor a tervező mérnök számára meglehetősen nagy szabadságot biztosítanak. Hegy- és dombvidéki utak esetében a helyszínrajzi tervezés elsődleges szempontja jellemzően az, hogy az út tengelye minél jobban simuljon a semleges vonalhoz; így erdészeti utak tervezésére azok a szoftverek alkalmazhatók előnyösen, amelyek a tengelytervezés során ezt a rugalmasságot biztosítani tudják.

Az út magassági értelmű megtervezése a hossz-szelvény terepvonal előállításával kezdődik, ehhez a beszelvevényezett tengelypontokban a terepmodell segítségével számíttatni kell a terepszinteket. A hossz-szelvény terepvonal tanulmányozása után – amennyiben elégedettek vagyunk az eredménnyel – következhet a magassági vonalvezetés (pályaszint) megtervezése. Ha a hossz-szelvény terepvonal nem megfelelő, módosítanunk kell a helyszínrajzi vonalvezetést, majd a módosítások után újra kell generáltatnunk a hossz-szelvény terepvonalat. A pályaszint tervezése a következő lépésekből áll:

1. Egyenlejtésű egyenesek elhelyezése.
2. Lekerekítő ívek elhelyezése.
3. Egyenlejtésű egyenesek helyzetének, lekerekítő ívek sugarának felülvizsgálata, módosítása, helyszínrajz és hossz-szelvény összehangolása.
4. Beszelvevényezett tengelypontok pályaszintjének számítása.

A kereszt-szelvények tervezése előtt meg kell adnunk az egyenesben lévő mintakereszt-szelvény legfontosabb adatait (burkolatszélesség, padkaszélesség, rézsűk meredeksége, árokmélység, árokfenék-szélesség, pályaszerkezet felépítése, földműszint-pályaszint távolság). A kereszt-szelvény-terepvonalak a tervező által megadott szélességben a terepmodell felhasználásával generálhatók. A kereszt-szelvény-terepvonalak, a pályaszintek, az egyenesben lévő mintakereszt-szelvény, valamint a kiszámított szélesítések és túlemelések ismeretében a kereszt-szelvények ábrái elkészíthetők. A hosszirányú vízelvezés előzetes tervezése azon szakaszok kijelölését jelenti, ahová oldalárkot tervezünk. Ezeket a szakaszokat az alkalmazott programtól függően vagy manuálisan kell kijelölnünk, vagy a program által kijelölt szakaszokat kell csak ellenőriznünk-módosítanunk. Amennyiben az előzetes kereszt-szelvények valamilyen okból nem felelnek meg, visszatérhetünk a hossz-szelvény, esetleg a helyszínrajzi tervezéshez.

Az előzetes keresztaszelvények előállítását után számítható a közelítő földtömegszámítás. Erdészeti utak tervezésekor általában kiegyenlített földtömeg-mozgatás megvalósítására törekszünk. Célszerű ezért, ha az úttervező program könnyen áttekinthető – lehetőleg grafikus – formában be tudja mutatni a földtömegszámítás alakulását. A földtömegszámítás ellenőrzése után ismét visszatérhetünk a hossz-aszelvény tervezéséhez, ahol a pályaszint módosításával, majd a keresztaszelvények újbóli előállításával tudjuk a földtömeg-eloszlás szempontjából optimalizálni a tervet. Amennyiben a hossz-aszelvény változtatásával nem tudunk kellő eredményt elérni, lehetőségünk van a helyszínrajzi vonalvezetés módosítására is – ebben az esetben természetesen a hossz-aszelvény, majd a keresztaszelvények újbóli tervezését is el kell végezni.

Az előtervezési folyamat végeredménye a különböző szempontoknak egyaránt megfelelő, optimális helyszínrajzi tengely, illetve az előzetes hossz-aszelvény és keresztaszelvények, valamint a közelítő földtömegszámítás előállítását. A terepmodellt felhasználó számítógéppel támogatott tervezési eljárás legnagyobb előnye az előtervezés során domborodik ki a „hagyományos” módszerekkel szemben, hiszen a tervezési folyamat során tetszőleges helyen és számban végezhetünk módosításokat úgy, hogy azok eredményei az összes munkarészen szinte azonnal érzékelhetőek. Az erdészeti úttervezés igényeinek azok a szoftverek felelnek meg, amelyek a munkarészek közötti közvetlen információáramlás megvalósításával lehetőséget biztosítanak a tervező által eszközölt változtatások azonnali, többirányú ellenőrzésére.

Az előtervezési folyamatot az úttervező programcsomag által előállított rajzok, illetve a kitézési adatok exportálása zárja. A rajzos munkarészek exportjával majd kiegészítésével lehetőség nyílik a megkívánt formátumok véglegesítésére és a rajzok kinyomtatására. Amennyiben az úttervező program rajzoló és nyomtatási funkciókkal is rendelkezik, a rajzok exportálása elmaradhat. A tengelypontok koordinátáinak megfelelő formátumú exportálása után azok mérőállomásba áttöltethetők, majd a végleges tervezési fázis első lépéseként a terepen kitézhetőek.

A területigénybevételi terv legfontosabb munkarésze, az előzetes területigénybevétel a következő lépéseken keresztül határozható meg:

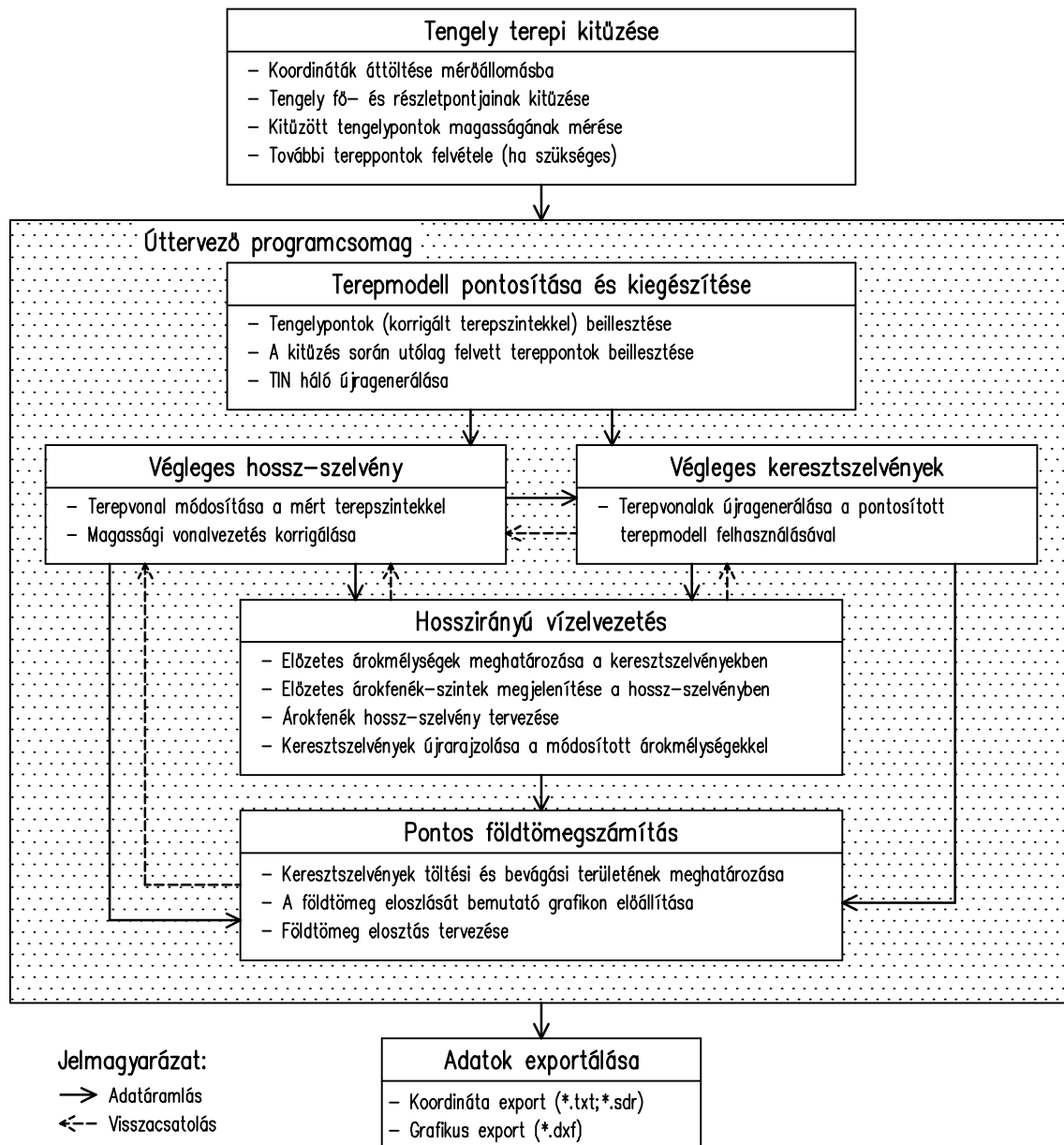
1. Az úttervező programmal „dxf” formátumban elő kell állíttatni az útpászta (műaszelvény + 1-1 méter) által elfoglalt területet határoló poligont.
2. A rendelkezésünkre álló digitális térképek és terepi méréseink azonos vetületi rendszere (EOV) lehetővé teszi, hogy az előzőek szerint előállított zárt vonallancot – importálást követően – a térinformatikai szoftver segítségével rá tudjuk illeszteni az erdészeti üzemtervi (majd a kataszteri) térképre.
3. Az átfedő területek részben automatizált megfeleltetésével az útpászta által az egyes erdőrésztetekből (helyrajzi számú területekből) elfoglalt területek a digitális térkép pontosságának megfelelően számíthatók.

Az így kapott értékek kellő kritikával kezelendők, hiszen digitális térképeink megbízhatósága nincs összhangban a tervezőtől megkövetelt pontosságú területkimutatással. Ez akkor okoz jelentős eltérést, ha a tervezett út hosszabb szakaszokon erdőrésztet-határokkal párhuzamosan halad (például nyiladékon vezetett út). Ezeket az ellentmondásokat a tervezési-engedélyezési folyamat végén készülő megvalósulási terv szünteti meg, amikor is az Állami Erdészeti Szolgálat szakemberei a pontos geodéziai mérések feldolgozása után alakítják ki az erdőrésztetek új határát.



#### 4.1.4. Végleges tervezés

A végleges tervezés során a tengely terepi kitűzése, majd kiegészítő mérések elvégzése után a cél az előtervezési fázisban előállított munkarészek pontosítása, kiegészítése.



4-3. ábra. A végleges tervezési fázis folyamatábrája.

A végleges tervezés az előtervezéskor kialakított helyszínrajzi tengely beszelvényezett tengelypontjainak kitűzésével kezdődik. A tengelypontok kitűzése a terepi felvételekhez is felhasznált sokszögvonallra támaszkodva, mérőállomással történik. Az egyes tengelypontok kitűzése után a levert talajkaró koordinátáit részletméréssel meghatározzuk, így megkapjuk a tengelypontok tényleges terepszintjét. Ahol szükséges, további tereppontokat is felveszünk, hogy a terepmodell kiegészítésével pontosabb keresztmetszvény-terepvonalakat kapjunk.

A terepi mérések feldolgozása a koordináták mérőállomásból történő letöltésével kezdődik. A letöltött tereppontokat az úttervező programmal importáljuk, majd a terepmodellt kiegészítjük. Ehhez a terepmodell határvonalát és törésvonalait felülvizsgáljuk, ha kell módosítjuk, majd a háromszöghálót újra generáltatjuk.

A végleges hossz-szelvény terepvonala a kiegészített terepmodell felhasználásával állítható elő. A megváltozott terepvonalhoz alkalmazkodva a magassági vonalvezetés módosítására is szükség lehet. A végleges kereszt-szelvények előállításához szintén újra kell generáltatni a terepvonalakat. A kereszt-szelvények módosítása után ellenőrizni kell a földtömegeloszlás alakulását, ami ha nem megfelelő, a hossz-szelvény pályaszintjének további finom változtatásával korrigálható.

A végleges pályaszint megtervezése után a hosszirányú vízelvezetés megtervezése következik, aminek lépései a következők:

1. A kereszt-szelvényeken – ahol szükséges – megtervezzük az árokfenék előzetes mélységét.
2. Kijelöljük azokat a szakaszokat (sekély, hófúvásveszélyes bevágások), ahol a völgy felé kinyitjuk a kereszt-szelvényeket.
3. A program a kereszt-szelvényeken előzetesen megtervezett árokfenék-szinteket a hossz-szelvényre felhordja.
4. A hossz-szelvényen megtervezzük a bal és jobb oldali árokfenék magassági vonalvezetését.
5. Az árokfenék hossz-szelvényeknek megfelelően módosulnak a kereszt-szelvények.

A kereszt-szelvények módosítása után a földtömegszámítást újra ellenőrizzük. Ha egyetlen szükséges, a pályaszinten ismét változtathatunk, de ilyenkor a módosított szakaszon az árokfenék-kiegyenlítést is újra el kell végezni.

A végleges hossz-szelvény és végleges kereszt-szelvények megtervezése után a lejárók, rakodók, útcsatlakozások többlet földtömegének figyelembevételével előállítható a pontos földtömegszámítás, majd megtervezhető a földtömegelosztás is.

Az úttengely végleges tervezését követően – amennyiben a rajzok véglegesítéséhez külső programot (AutoCAD) alkalmazunk – a rajzos munkarészek „.dxf” formátumú exportálása történik. A szöveges munkarészek alapadatait képező számítógépes listák (koordináta állományok, ív adatok, szélesítések és túlemelések adatai, méret- és mennyiségi kimutatások stb.) exportálására is ilyenkor van lehetőség.

#### 4.1.5. Befejező tevékenységek

A befejező tevékenységek közé azokat a tervezési lépéseket sorolom, amelyeken keresztül a megtervezett végleges úttengely rajzos és szöveges munkarészeit az engedélyezési vagy építési terv formai követelményeinek megfelelő formátumra hozzuk:

- Rajzos munkarészek kiegészítése.
- Földtömegszámítás és elosztás formatizálása.
- Műszaki leírás, méretjegyzék, költségvetés elkészítése.
- Rajzos és szöveges munkarészek nyomtatása, sokszorosítása.

## 4.2. Erdészeti utak tervezéséhez felhasználható szoftverek

### 4.2.1. Az AutoCAD általános tervező program

Az AutoCAD szoftver az AutoDesk cég terméke, jelenlegi verziószáma 2006. Kis túlzással kijelenthetjük, hogy a mérnöki tervező programok etalonjává vált, mind a grafikus felület, mind a fájlformátum tekintetében. A legtöbb konkurens program az AutoCAD-ben megismert ötletekhez hasonlóan valósítja meg saját szerkesztési-megjelenítési eljárásait. A „.dxf” rajzcsere formátum a CAD és GIS rendszerek általánosan használt (szinte szabványos) fájlformátuma lett.

A CAD mozaikszó (Computer Aided Design = számítógéppel támogatott tervezés) jelentésével ellentétben az AutoCAD önmagában „csak” egy (professzionális) digitális rajztábla – ilyenkor inkább a Computer Aided Drawing (számítógéppel támogatott rajzolás) a megfelelő fordítás. A szoftver egyik nagy erőssége azonban az, hogy tervezésekor elsődleges szempontként szerepelt a programozhatóság. Ennek köszönhetően a legkülönbözőbb mérnöki területek (építészet, mélyépítés, geodézia, térinformatika, vasbetonszerkezetek, gépészet, stb.) céljainak és elvárásainak megfelelő, AutoCAD környezetben futó alkalmazást fejlesztettek ki.

Az (erdészeti) úttervezésben tehát az AutoCAD önálló alkalmazása csak a rajzolási munkát könnyíti meg, a valódi számítógépes támogatás megvalósításához kiegészítő szoftverekre van szükség. A tervek rajzos munkarészeinek kiegészítésében, majd nyomtatásában azonban használata megkerülhetetlen.

### 4.2.2. A piacon elérhető úttervező programok

Habár a szoftverpiacon elérhető úttervező alkalmazások száma meglehetősen nagy, az erdészeti úttervezés speciális követelményeinek megfelelő program kiválasztása mégis gondot jelenthet. A magyar nyelvű kezelőfelület hiánya, az erdészeti úttervezés igényeihez mérten túlbonyolított megoldások, az erdészeti úttervezési szabványoktól eltérő formátumú rajzok, a fejlesztési lehetőségek nehézkessége és a magas szoftverárak indokolttá teszik, hogy az Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Tanszék folyamatosan foglalkozzon erdészeti úttervező szoftverek fejlesztésével.

### 4.2.3. Fejlesztések az Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Tanszéken

Tanszékünk az 1980-as évek eleje óta foglalkozik erdészeti úttervező programok fejlesztésével. Ifj. Gál János 1979-ben HP-67 programozható számológépre írt a helyszínrajzi tervezést támogató programot. 1982-ben Báthory Tibor az Egyetem első IBM 5110-es személyi számítógépére írt úttervező programcsomagot. A korai fejlesztések különböző okok miatt megszakadtak, majd 1988-ban, az IBM PC-k elterjedésével indultak újra.

A Dr. Péterfalvi József által írt EUTESZ (Erdészeti Utak Tervezése Elektronikus Számítógéppel) program az első tanszéki fejlesztés, amely erdészeti utak tervezésére a gyakorlatban valóban hatékonyan felhasználható alkalmazássá vált. A program DOS

operációs rendszerben íródott; saját grafikus felülettel nem rendelkezik, így a számítási és rajzos feladatok megoldása egymástól elkülönül. A felhasználó a grafikus tervezést célszerűen AutoCAD alkalmazásával oldja meg, majd a számításokhoz szükséges adatokat (egyenesek koordinátái, ívek sugara stb.) manuálisan viszi be az úttervező programba. A számítások elvégzése után a program „.dxf” exporttal elkészíti az adott munkarészt a tervezési fázisnak megfelelő készültségi fokon, majd a tervező ismét az AutoCAD segítségével ellenőrizheti az eredményeket. A végleges verzió egy többlépcsős grafikus-numerikus folyamat eredményeképpen áll elő. A tervezési folyamat végén az erdészeti úttervezés követelményeinek megfelelő részletességű rajzokat, valamint a tengely terepi kitűzéséhez szükséges adatokat a programból exportálással elő lehet állítani. Szintén exportálhatók a Számítógépes listák munkarész adatai is.

A program alkalmazásával az Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Tanszék mintegy 30 km erdészeti feltárási út építési tervét készítette el. A programot a Tanszéken diplomatervüket készítő hallgatók is alkalmazták; összesen mintegy 30 km-nyi erdészeti feltárási út építési tervét készítve el. Ez a programcsomag teremtette meg a lehetőségét az „Erdészeti utak számítógépes tervezése” című tantárgy beindításának. A programot a környezetmérnök hallgatók is felhasználták „Mélyépítés” című tantárgyuk gyakorlati feladatának megoldásához. A program felépítése logikus, kezelése a tervezési filozófia megértése után könnyen elsajátítható. Didaktikai szempontból előnyös, hogy az EUTESZ programmal történő úttervezés során az egymást követő, egymásra épülő tervezési lépések a gyakorlati megvalósítás szempontjából szétválnak; így a munkarészek közötti információáramlás a tervező előtt nincs elrejtve. A programcsomag dokumentációja [Péterfalvi, 1996] a program kezelésén túl az alkalmazott számítási eljárásokat is részletesen bemutatja.

### 4.3. A maCADam erdészeti úttervező program

Erdőmérnök hallgatóként természetesen magam is megismerkedtem az EUTESZ programcsomag használatával. A tervezési segédletben részletesen leírt számítási eljárások egy részének adaptálásával tudtam elkezdni egy saját úttervező program fejlesztését.

A fejlesztés elején a következő célokat tűztem ki magam elé:

- Az erdészeti úttervezés speciális körülményeinek és követelményeinek megfelelő alkalmazás létrehozása.
- Interaktív, grafikus felület kidolgozása, amely lehetővé teszi a valószerű grafikus tervezést, különös tekintettel a helyszínrajzi vonalvezetésre.
- Egyszerű kezelhetőség, hogy a program működése rövid időn belül elsajátítható legyen.
- Rajzos munkarészek közötti közvetlen információáramlás megvalósítása, hogy az egyes nézeteken végrehajtott változtatások a többi nézeten is azonnal kifejtsék hatásukat.
- A földtömegeloszlás gyors és szemléletes ábrázolhatósága, hogy tervezés közben a földmunka szerinti optimalizáció könnyen megvalósítható legyen.

- Szabálytalan háromszögháló (TIN) felületmodell alkalmazásának lehetősége, a felületmodell generálását is beleértve.
- Kommunikáció megteremtése a geodéziai, térinformatikai és mérnöki tervező szoftverekkel és geodéziai eszközökkel.
- Koordináta import mellett a manuális adatbeviteli lehetőségek biztosítása, hogy a hagyományos eljárásokkal (pl. részletmérés derékszögű összrendezőkkel) és eszközökkel (mérőszalag, szintező, libellás lécz) mért adatok is felhasználhatók legyenek.
- Alsóbbrendű közutak tervezésének irányába történő továbbfejlesztés lehetőségének biztosítása.

A fejlesztés kezdetekor alapvető fontosságú döntést kellett hoznom: az úttervező program önálló, saját grafikus felületű alkalmazás legyen, vagy az AutoCAD alatt futó, annak robusztus rajzoló-szerkesztő parancsait és kész megjelenítési megoldásait kihasználó szoftvert fejlesszek. Mindkét irányba történtek fejlesztési kísérletek, majd a kezdeti tapasztalatok alapján a saját grafikus felület mellett döntöttem, mivel a valós idejű grafikus tervezés, valamint a munkarészek közötti közvetlen adatcsere így tűnt megvalósíthatónak.

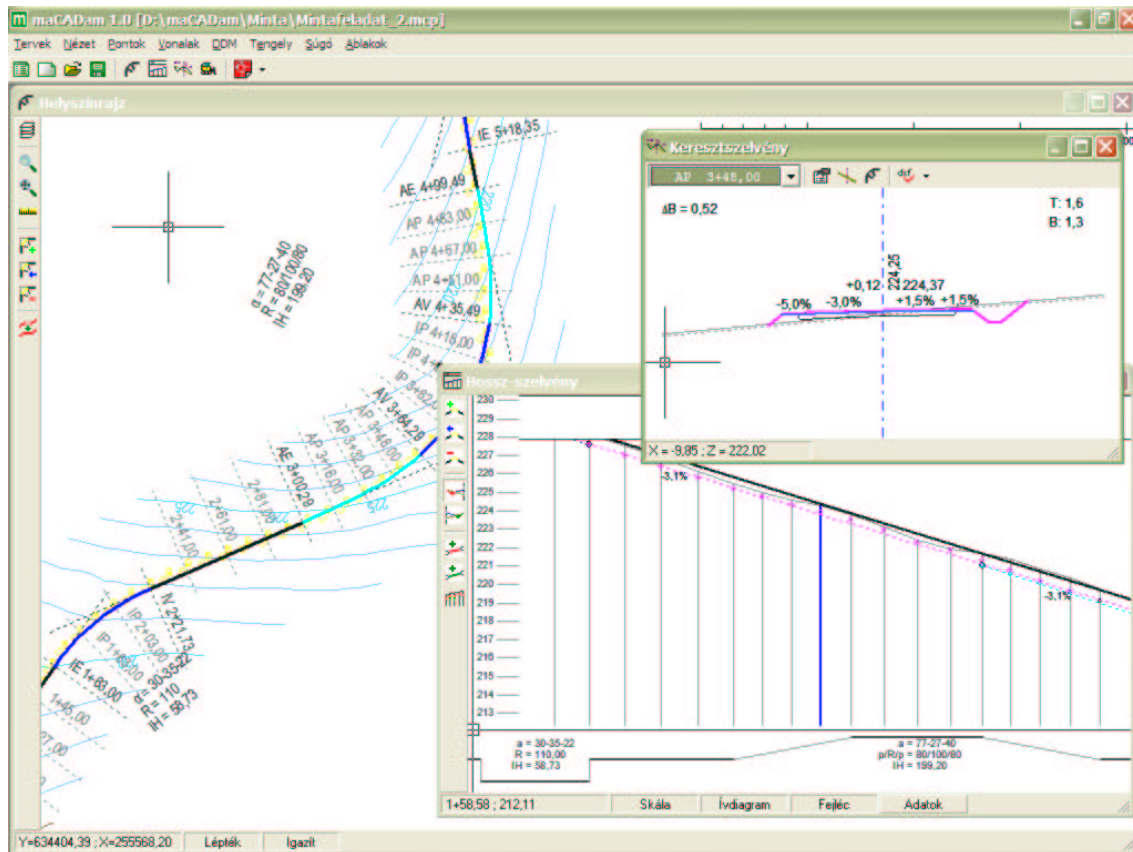
A program írását Microsoft Visual Basic fejlesztőkörnyezetben, 1999-ben kezdtem el Erdűtterv néven. A fejlesztés folyamatos, az évek során a jelentkező problémákra, kihívásokra adott megoldásokat a programba építve fokozatosan bővült annak tudása. A programkódot 2003-ban új ötleteim megvalósíthatóságának, valamint bizonyos hibák kiküszöbölésének érdekében gyakorlatilag újraírtam. A szoftver nevét 2004-ben maCADam-ra változtattam.

#### 4.3.1. A program felépítése

A program egy 32 bites, a különböző Microsoft Windows operációs rendszerek (9x, NT, 2000, XP) alatt futó alkalmazás. Rendszerkövetelményei szerények, egy mai átlagos PC-n hosszabb (5...10 km) utak tervezése is zökkenőmentesen megoldható vele. A telepítést követően körülbelül 1 Megabyte tárterületet foglal el. A program kétféle verzióban érhető el; a teljes értékű verzió mellett létezik egy oktatási verzió, amelyben a „.dxf” export kivételével minden funkció elérhető.

A program egy fő ablakból, valamint az azon belül megnyíló alablakokból épül fel (4-4. ábra). A fő ablakban az általánosan használható eszközöket tartalmazó menüsor és eszköztár található, az egyes munkarészek saját eszközei az adott alablakban megjelenő eszköztárból érhetők el. A fontosabb alablakok:

- Helyszínrajz
- Hossz-szelvény
- Keresztszelvény
- Mintakeresztszelvény
- Földtömegszámítás



4-4. ábra. A maCADam program felülete.

A grafikus ablakokban a tervezési–szerkesztési parancsok az AutoCAD-ben megszokott módon működnek, ezért a program használata az AutoCAD-ben járatos mérnökök számára gyorsan elsajátítható. A parancsok kiadása után az aktuális ablak státuszsorában a parancshoz tartozó megjegyzés vagy további alparancsok elérése látható. A legfontosabb parancsok gyorsbillentyűkkel is kiadhatók.

#### 4.3.2. Tervek használata

A programban úgynevezett *tervekkel* dolgozunk. Célszerű minden új tervnek saját könyvtárat létrehozni, hogy a tervezéshez felhasznált fájlok egy helyen legyenek. Új terv létrehozása, meglévő terv betöltése vagy a megnyitott terv mentése a Windows operációs rendszerek alkalmazásainál megszokott módon, a [Fájl] menü megfelelő parancsaival történhet. A maCADam programban ezen kívül egy Terv intéző segít a tervek rendszerezésében és gyors elérésében.

#### 4.3.3. A Helyszínrajz ablak felépítése

A Helyszínrajz ablak – nevéből adódóan – az úttengely vízszintes értelmű tervezésére, valamint a terepi mérések során bemért pontok, továbbá terepmodellek, vektoros háttérterképek megjelenítésére szolgál.

A Helyszínrajz ablakban a különböző rajzelemeket fóliákon helyezzük el. A különböző típusú elemeknek a következő fóliatípusokat különíti el a program:

- *Tengely* - ezeken a fóliákon vonalas létesítmények tengelyvonalát lehet definiálni. Lehetőségünk van több tengely egyidejű tervezésére is, ami hasznos lehet csomópontok tervezésekor, de alkalmas lehet egy terven belül az úttengely mellett akár mederkorrekció tervezésére is. Minden egyes tengelyhez saját Hossz-szelvény, Keresztszelvény, Földtömegszámítás ablak társul.
- *Pont* - a terepen bemért – vagy más forrásból származó – pontok megjelenítésére és kezelésére alkalmas.
- *Vonal* - vonalak (vonalláncok) megjelenítésére és szerkesztésére szolgáló fóliatípus. Vonalakat rajzolhatunk a képernyőn (pl. összetartozó tereppontok összekötése), vagy származhatnak „.dxf” importból (háttértérkép) is.
- *Sokszögvonala* - az összetartozó sokszögpontok által alkotott sokszögvonala megjelenítése.
- *TIN* - szabálytalan háromszögháló típusú felületmodell megnyitása, importálása, létrehozása, módosítása.
- *GRID* - „.ers” formátumú raszteres felületmodell megnyitása–megjelenítése.

A képernyőn az egér segítségével szálkereszt mozgatható, melynek koordinátái az ablak bal alsó sarkában láthatók. A kép eltolása (pan) a jobb egérgomb lenyomásával és az egér mozgatásával történik. Dinamikus nagyítás (zoom) a SHIFT gomb és a jobb egérgomb egyidejű lenyomásával és az egér fel-le történő mozgatásával, vagy az egér görgőjével lehetséges. További zoom funkciók érhetők el az ablak bal szélén lévő eszköztár megfelelő nyomógombjai, valamint gyorsbillentyűk segítségével.

#### 4.3.4. Terepi mérések importálása és megjelenítése

A terepi mérések feldolgozása után előállított koordináta listák importálása a [Pontok] / [Pontok importálása] menüparancs kiadása után megjelenő párbeszédablak segítségével történik. Itt megadható, hogy a koordináta listában az egyes mezők (pontazonosító, Y, X, Z, pontleírás) milyen sorrendben követik egymást. A program a szóközzel, tabulátorral vagy vesszővel elválasztott szöveges listákat egyaránt értelmezi, így a különböző geodéziai programok koordináta állományait egyaránt különösebb konverzió nélkül be tudjuk olvasatni. A beolvasott pontok vagy egy kijelölt (pont típusú) fóliára kerülnek, vagy azt is megadhatjuk, hogy a különböző pontleírásoknak megfelelő fóliákat a program automatikusan készítse el, majd a pontokat a megfelelő fóliákra helyezze el.

Pont típusú fólia létrehozásakor létrejön egy úgynevezett pontcsoport is. A tereppontok pontcsoportok közötti mozgatása, illetve pontok törlése a Pontcsoport intéző ablakban lehetséges. Sokszögvonala definiálása a Sokszögvonala intéző ablakban történik.

### 4.3.5. TIN terepmodell generálása

A háromszögháló generálásához a Helyszínrajz ablakon belül az adott terepmodell fóliájának beállításaira szolgáló párbeszédablakot kell megnyitni. Itt ki kell választani a terepmodellt alkotó pontokat, a törésvonalakat, továbbá a terepmodell határvonalát tartalmazó fóliákat. Ezután a háromszögháló automatikusan felépíttethető. A terepmodell elkészítése után a szintvonalak előállítását a felhasználó által megadott szintközök szerint, automatikusan végrehajtható. A kész terepmodell önálló fájlba menthető, így több variáció készítésekor a különböző tervek ugyanazt a terepmodellt használhatják.

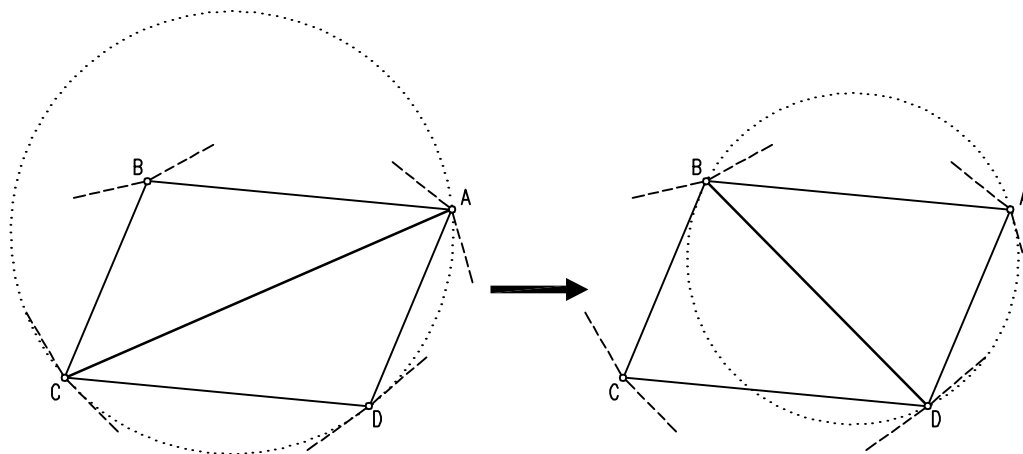
A háromszögháló generáló algoritmust jórészt [Czimer, 2002] alapján valósítottam meg, a törés- és határvonalak figyelembevételének módja azonban saját fejlesztés.

A TIN terepmodell generálása a következő lépéseken keresztül valósul meg :

1. A terepmodell-generáláshoz kijelölt pontok közül kiválasztjuk azokat, amelyek a terepmodell hataraként definiált zárt vonalláncon belül helyezkednek el; a felület építéskor csak ezeket vesszük figyelembe.
2. A terepmodellt alkotó pontokat a keleti (Y) koordináta szerint növekvő sorrendbe rendezzük. A pontok 1-től  $n$ -ig tartó sorszámot kapnak, ahol  $n$  a terepmodellt alkotó pontok száma. A „0” sorszámot a „végtelenben” lévő elméleti pont kapja.
3. A háromszögek számát beállítjuk a pontok kétszeresére.
4. „Legyező” háromszögeket alakítunk ki: Háromszög élt alkot az  $i$ . és az  $i + 1$ . pont, amelynek bal és jobb oldalához egyaránt hozzárendeljük a „végtelenben lévő” 0. pontot. Ha  $i$  értékét 1 és  $n - 1$  között végigfuttatjuk, akkor  $n \cdot 2$  db háromszöget kapunk. A 0. sorszámú pontot tartalmazó háromszögeket „árnyék” háromszögnek hívjuk – jelenleg az összes háromszög ilyen.
5. A háromszögháló topológiáját a következő elvek szerint alakítjuk ki:
  - A háromszögeken belül indexeléssel definiáljuk a 3 csúcspontot (vagyis megadjuk, hogy az  $i$ . háromszög 1., 2. és 3. csúcspontja a terepmodellt alkotó pontok között milyen sorszámmal szerepel).
  - A háromszögek körüljárási iránya az óramutató járásával ellentétes, azaz a háromszög 1. és 2. pontját összekötő oldal irányához képest a 3. pont balra helyezkedik el.
  - Minden háromszög minden éléhez hozzárendeljük az adott éllel szomszédos háromszög sorszámát (vagy a 0-át, ha a felületmodell szélén lévő élről van szó).
6. A háromszögháló összes élére lefuttatjuk a következő vizsgálatot:
  - A vizsgált élhez két szomszédos háromszög tartozik. A két háromszög egy négyszöget alkot, melynek átlója a vizsgált él. A feladat annak eldöntése, hogy az átló a megfelelő két csúcspontot köti össze, vagy az élt át kell „billenteni”.
  - Ha „A” csúcspont a végtelenben van, az élt akkor kell átbillenteni, ha a „C” csúcspont „BD” éltől jobbra van.



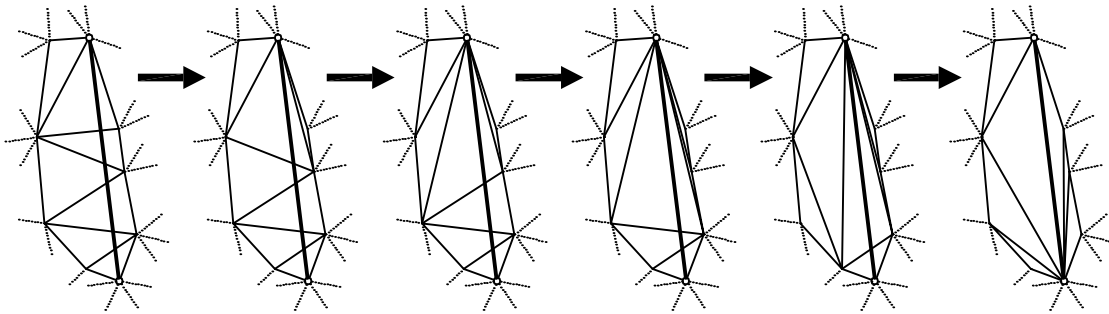
- Ha „C” csúcspon t a végtelenben van, az élt akkor kell átbillenteni, ha az „A” csúcspon t „BD” éltől balra van.
- Ha „A” és „C” csúcspon t egyike sincs a végtelenben, akkor a Delaunay-vizsgálatot végezzük el: Ha „B” az „ACD” háromszög köré írható körön belül van, akkor a vizsgált élt át kell billenteni. (4-5. ábra)
- Amennyiben a vizsgált élt át kellett billenteni, akkor a négyszög oldalait alkotó élkre is lefuttatjuk az előző vizsgálatot.



4-5. ábra. Delaunay-vizsgálat.

A lefuttatott vizsgálatok eredményeképpen előáll a terepmodell „0.” verziója, amelyben sem a törésvonalakat, sem a határvonalat nem vettük még figyelembe; a terepmodell határa ekkor az összes pon t körülhatároló legkisebb konvex burkolósokszög.

7. A törésvonalakat ábrázoló vonalláncokat 2–2 pon t összekötő szakaszokra „feldaraboljuk”, majd a szakaszokra lefuttatjuk a következő vizsgálatot: (4-6. ábra.)
  - Megkeressük azt a háromszöget, amelynek valamelyik csúcspon tja a vizsgált szakasz kezdőpon tja, és amelynek a kérdéses pon ttal szemközti oldalát metszi a törésvonal-szakasz. (Ha nem találunk ilyen háromszöget, akkor a vizsgált törésvonal-szakasz háromszög élre esik.)
  - A törésvonal-szakasz által elmetesztett élt „átbillentjük”, majd a szomszédos négy élre lefuttatjuk a Delaunay-vizsgálatot azzal a kikötéssel, hogy törésvonallal egybeeső él nem módosítható.
  - A vizsgálatot mindaddig újramezdjük, amíg a törésvonal egybe nem esik egy háromszög éllel.
8. Azok a háromszögek, amelyeket a felületmodell határvonala elmetesz, „láthatatlan” megjelölést kapnak. (Mivel határvonalon kívüli pon t nem vettünk figyelembe a felület generálásánál, ezért nincs olyan háromszög, amely teljes terjedelmével kívül esne a határvonalon.) A „láthatatlan” háromszögek a felületmodellből fizikailag nem törlődnek, de a későbbi vizsgálatokban (pl. terepszint meghatározás, szintvonalak generálása) nem vesszük figyelembe őket.



4-6. ábra. Törésvonal kialakítása.

#### 4.3.6. Mintakeresztzelvények tervezése

A helyszínrajzi tengely tervezése előtt célszerű megadni az egyenesben lévő mintakeresztzelvény adatait a Mintakeresztzelvény jellemzői párbeszédablakban (4-7. ábra).

Mintakeresztzelvény-típus neve...	Pályaszerkezet...	Mintakeresztzelvény-típus törlése
Burkolatfelek szélessége (m)	1,50	1,50
Padkaszélességek (m)	1,00	1,00
Töltési részű	1,25	<input checked="" type="radio"/> Kifelé <input type="radio"/> Befelé
Bevágási részű	1,00	Földmű kialakítása
Árok részű	1,25	<input checked="" type="radio"/> Burkolattal párhuzamosan <input type="radio"/> Koronával párhuzamosan
Javított földmű vastagsága (m)	0,00	
Pályaszint-földmű szint (d) (m)	0,10	
Árokmélységek (m)	0,50	0,50
Ároktérnek szélessége (m)	0,40	0,40
Burkolat dőlése (%)	-3,00	
Padka dőlések (%)	-5,00	-5,00
Keresztzelvény kialakítása	Tetőszelvény	
Humuszvastagság (m)	0,20	

4-7. ábra. A Mintakeresztzelvény jellemzői párbeszédablak.

Egy tervben több különböző kialakítású mintakeresztzelvényt is definiálhatunk, ennek segítségével egyrészt az egy terven belüli úttengelyekhez egyedi mintakeresztzelvény-típusokat rendelhetünk, másrészt egy úttengelyen belül is több különböző mintakeresztzelvény-típust alkalmazhatunk.

A pályaszerkezet tervezett rétegrendje a Pályaszerkezet felépítése párbeszédablakban (4-8. ábra) rögzíthető, ahol meg kell adni az egyes rétegek nevét, vastagságát és a bal oldali pályafélben a réteg felső, illetve alsó síkjának szélességét. Így megjeleníthetők a többretegű pályaszerkezetek is, az alaprétegek túlnyúlásának, valamint az egyes rétegek szélének (függőleges vagy ferde) korrekt ábrázolásával.

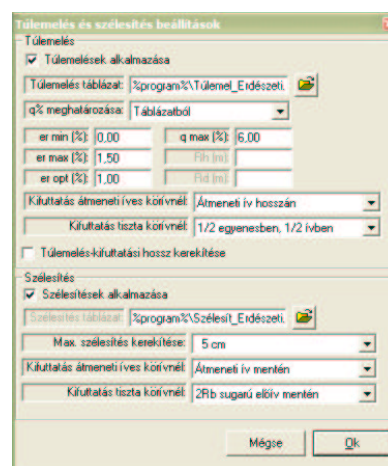
#### 4.3.7. Túlemelés és szélesítés számításának beállításai

A helyszínrajzi tengely tervezése előtt kell megadni a szélesítések és túlemelések számítási algoritmusát befolyásoló paramétereket. A beállítások elvégzése után a tengely tervezésekor, a helyszínrajzi elemek elhelyezésénél és módosításánál a program automatikusan ellenőrzi, hogy a kifuttatások elhelyezésére elegendő hely áll-e rendelkezésre.



4-8. ábra. A Pályaszerkezet felépítése párbeszédablak.

A beállítások a 4-9. ábrán látható párbeszédablakban eszközölhetők.



4-9. ábra. A Tülemelés és szélesítés beállítások párbeszédablak.

A megfelelő beállításokkal mind az erdészeti feltáróutak, mind az alsóbbrendű ( $2 \times 1$  sávós) közutak előírásainak megfelelően automatikusan előállítható a szélesítések és túlemelések kifuttatása. A program figyelembe veszi az ívkombinációk (kosárívek, inflexiók ellenívek) speciális kifuttatási követelményeit is.

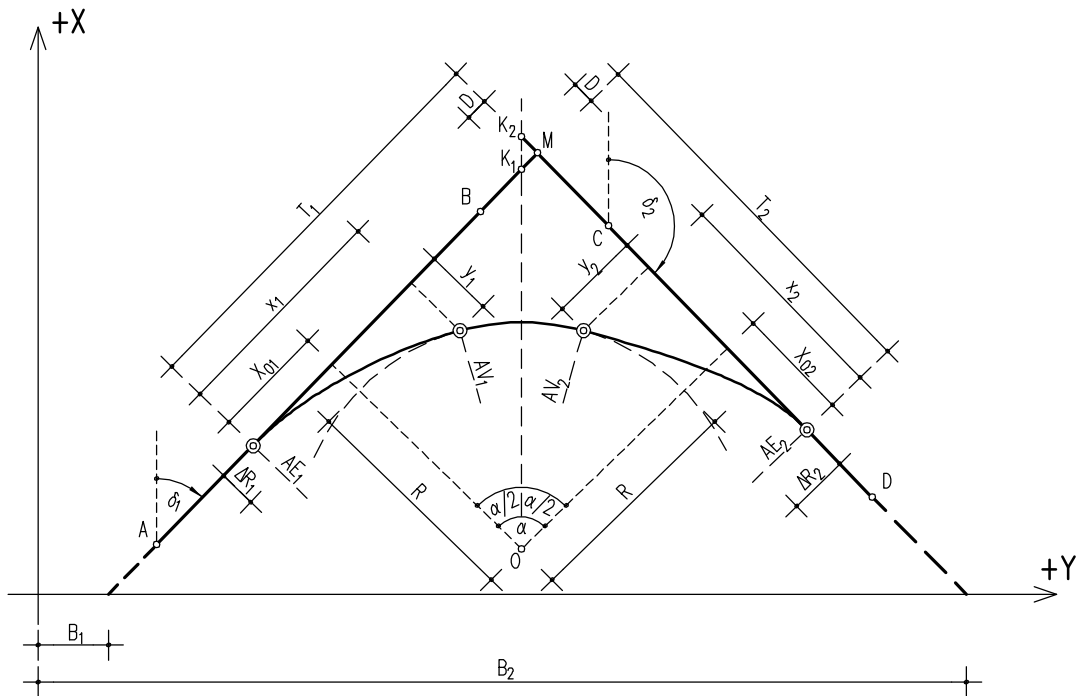
### 4.3.8. Helyszínrajzi tervezés

#### 4.3.8.1. A helyszínrajzi tengely számításának elve

Helyszínrajzi főpontoknak az út eleje és vége („UE” és „UV”), tiszta körív eleje és vége („IE” és „IV”), valamint az átmeneti ívek eleje és vége („AE” és „AV”) pontokat nevezzük.

A helyszínrajzi tengely számítását a korábbi úttervező programok (UTESZ, EUTESZ) úgynevezett alapesetekre bontva oldották meg. A tengelyt fő- (egyenes, ív) és mellékelemek (egyenes, ív, átmeneti ív) sorozatára bontva rögzítették. A főelemek helyzetét egyenes esetén két pont koordinátaival, ív esetén két pont koordinátaival és a sugár megadásával rögzítették. A mellékelemek számítását a szükséges adatok (pl. átmeneti ív paramétere, ív sugara és iránya) megadása után az úttervező szoftver végezte. A tengelyt koordinátahálós térképen tervező mérnök feladata volt, hogy a tervezett ívek-ívkombinációnak leginkább megfelelő alapesetet kiválassza. Ez a módszer az alkalmazott tervezési módszerhez (grafikus és numerikus tervezési lépések elválasztása a kezdetleges grafikai lehetőségek miatt) jól illeszkedett. [Nemesdy, 1986], [Péterfalvi, 1996]

A programfejlesztés elején megvalósítandó célként kitűzött interaktív, valós idejű grafikai tervezés kívánalmainak az előbbieken felvázolt módszer nem felel meg; ezért a különböző alapesetek adatbeviteli és számítási eljárásait megvizsgálva kiválasztottam azt az alapesetet, amelyet a grafikus tervezéshez a leginkább megfelelőnek tartottam. A maCADam helyszínrajzi főpontszámító algoritmus az EUTESZ program által 4. számmal ellátott alapesetet (4-10. ábra) használja.



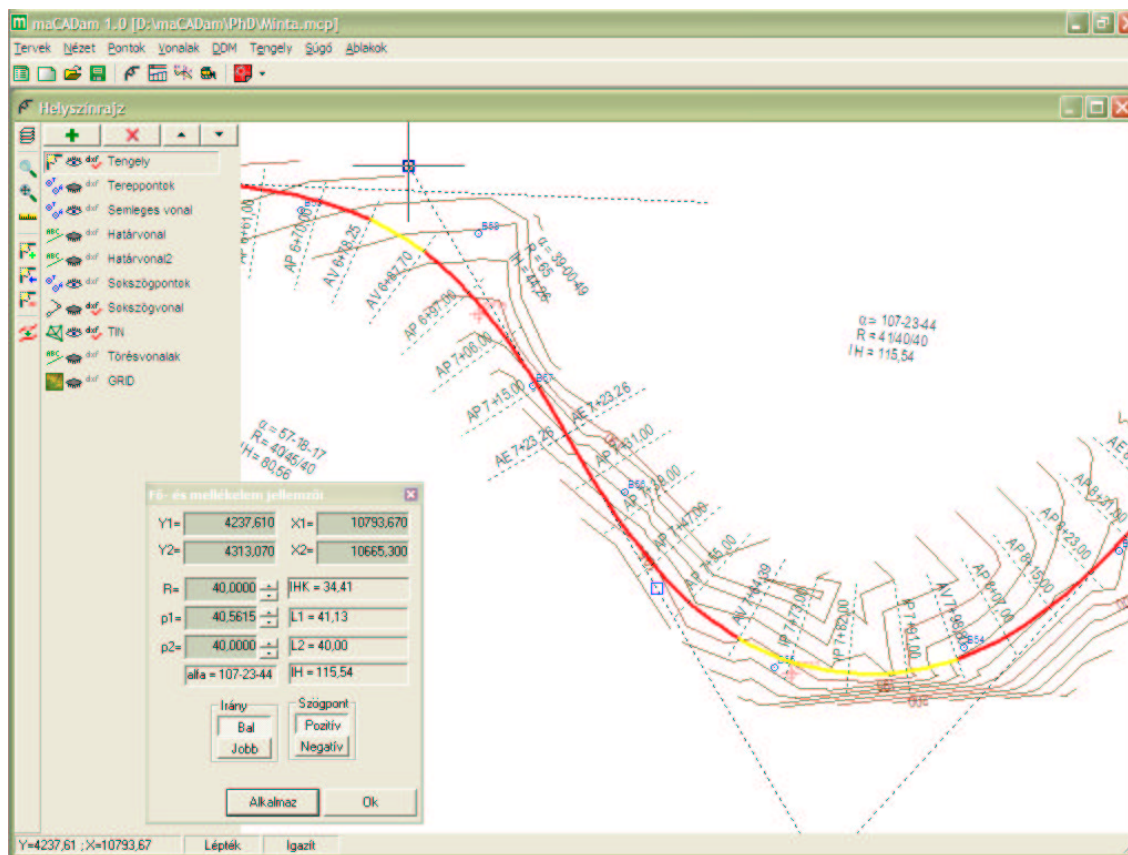
4-10. ábra. A helyszínrajzi főpontszámítás geometriai tartalma.

A számítás röviden összefoglalva a következő elveket követi: [Péterfalvi, 1996]

- Főelemeknek az egyeneseket tekintjük. A számítás bemenő adata az egymást követő két egyenes kezdő- és végpontjának koordinátái.
- Mellékelemnek tiszta körív tervezésekor az egyenesek között elhelyezkedő körívet, átmeneti íves körív tervezésekor az átmeneti ívet és a körívet tekintjük. A körívet sugarával és irányával, az átmeneti ívet paraméterükkel definiáljuk.
- A szoftver bármely érték megváltoztatása esetén automatikusan újraszámítja az ív főpontjainak koordinátáit és szelvényezési értékét.
- A főpontszámítás után a program a szelvényezési tömb és a speciális pontok listája alapján meghatározza a részletpontok szelvényezési értékét, majd a pontok koordinátáit is. A szelvényezési tömb a különböző ívsugarak esetén alkalmazandó részletpont-távolságokat tartalmazza. A speciális pontok listájában azokat a szelvényértékeket adhatjuk meg, amelyekben mindenképpen részletpontot kívánunk elhelyezni (nyiladék vagy vízfolyás keresztezése, éles tereptörés stb.).

#### 4.3.8.2. A helyszínrajzi tengely valós idejű grafikus tervezése

A helyszínrajzi tengely tervezése a főelemek (egyenesek) elhelyezésével kezdődik. Az egyenesek kezdő- és végpontjának kijelölése a Helyszínrajz ablak grafikus felületén, az



4-11. ábra. A Helyszínrajz ablak felülete, fő- és mellékelemek módosítása.

egér segítségével történik. A pontok megadásánál figyelembe kell venni a szelvényezési irányt, vagyis az egyenes kezdőpontjának rögzítése meg kell, hogy előzze a végpont definiálását. Az első egyenes kezdőpontja egyben az út eleje, az utolsó egyenes végpontja egyben az út vége szelvényt is rögzíti. Az egyenesek helyzete a későbbiekben tetszőlegesen módosítható a végpontok „megfogásával” és elmozgatásával. A főelemek beillesztésének sorrendje kötött, de lehetőség van új főelem meglévő főelemek közé történő beszúrására is. Az elhelyezett főelemek természetesen később törölhetők is.

A főelemek elhelyezését követően (vagy azzal párhuzamosan) megadhatók a mellékelemek (ív és átmeneti ívek) jellemzői. A mellékelemek adatai (sugár, irány, szögpont, paraméterek) az ívet megelőző főelemhez rendelve tárolódnak. Az ívek és hozzájuk csatlakozó átmeneti ívek tervezése a Fő- és mellékelem jellemzői párbeszédablak megnyitásával, majd a megfelelő adatmezők módosításával (manuális adatbevitellel vagy az adatmezők melletti nyilakkal) történik (4-11. ábra). Az **Alkalmaz** gomb megnyomására (vagy az «Enter» leütésére) a módosítások azonnal érvénybe lépnek, ami az úttengely ábrájának megváltozásán is nyomon követhető.

Az egyenesek helyzete a hozzájuk csatlakozó ívek, átmeneti ívek megtervezése után is módosítható. Az egyenes végét „megfogva”, majd az egeret mozgatva automatikusan újraszámítódnak az érintett mellékelemek főpontjainak koordinátái, valamint a főpontok szelvényezési értékei. A főelem végpontjának „elengedését” követően a részletpontszámítás is automatikusan végbemegy.

Az eszköztár megfelelő ikonjainak segítségével az egymást követő ívek összetolhatók,

így kosárívek vagy inflexiós átmeneti íves ívkombinációk is egyszerűen kialakíthatók.

A Helyszínrajz ablakban beépített ellenőrző rendszer segíti a tervező munkáját. A képernyőn a megfelelő helyen villogó figyelmeztető üzenet jelenik meg, ha valamelyik átmeneti ív hossza rövidebb, mint a dinamikailag szükséges minimum, illetve ha a tervezett átmeneti ívek nem férnek el ( $\alpha < \tau_1 + \tau_2$ ). A program ugyancsak figyelmeztet, ha az egymást követő ívek között a túlemelés vagy a szélesítés kifuttatása nem helyezhető el.

A felvázolt grafikus tervezési eljárásnak köszönhetően a semleges vonalhoz (vagy egyéb vonalakhoz) illeszkedő helyszínrajzi tengely gyorsan és egyszerűen megtervezhető.

#### 4.3.9. Hossz-szelvény tervezés

##### 4.3.9.1. Hossz-szelvény terepvonal előállítás

A hossz-szelvény terepvonal előállításához minden beszelvényezett tengelypontban meg kell határoznunk a terepszintet. TIN típusú digitális terepmodell használata esetén minden fő- és részletpontra a következő számításokat kell elvégezni:

1. Ki kell választani azt a háromszöget, amelyen belül a tengelypont elhelyezkedik:

- A háromszögháló topológiájából következően a pont azon a háromszögon belül van, amelynek mindhárom oldalától balra helyezkedik el.
- Az első tengelypont esetén a keresés az 1. számú háromszög oldalainak vizsgálatával kezdődik.
- Ha a tengelypont a háromszög egyik élétől jobbra helyezkedik el, akkor a vizsgálat azzal a háromszöggel folytatódik, amelyik a kérdéses éllel szomszédos. Ha a kérdéses él mellett „árnyék” háromszög van, a pont kívül esik a felületmodellel.
- A háromszögek vizsgálatát addig folytatjuk, míg meg nem találjuk a tengelypontot tartalmazó háromszöget.
- A további tengelypontok esetében a háromszöghelyesítést mindig a megelőző tengelypontot tartalmazó háromszöggel kezdjük.

2. A megfelelő térbeli háromszög három csúcspontjára illesztett síkon számítandó a tengelypont magassága.

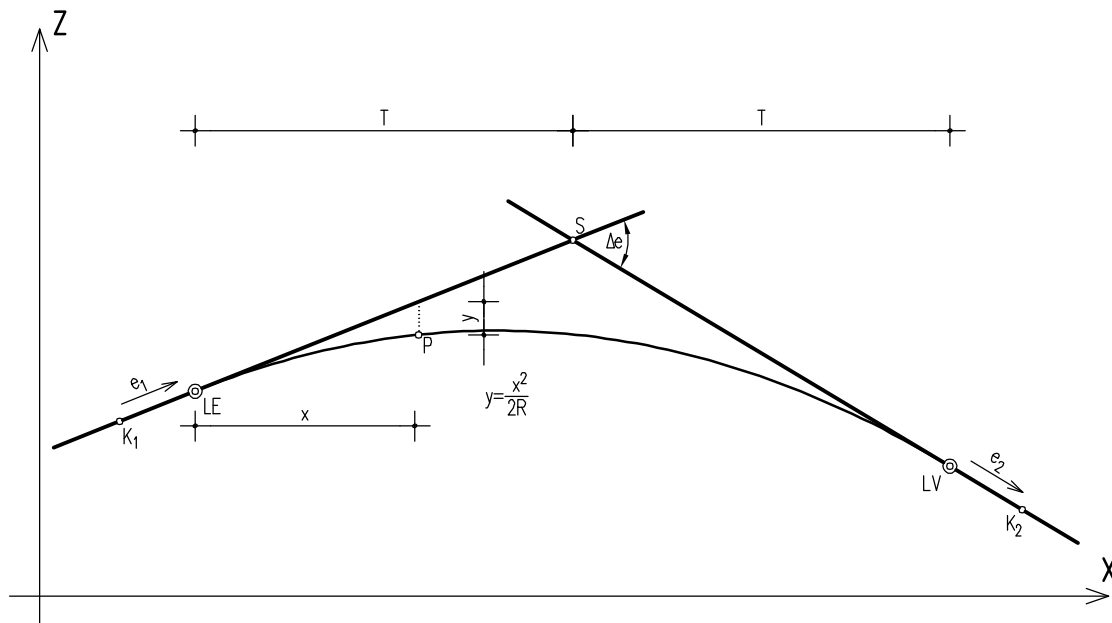
##### 4.3.9.2. Pályaszint számítása

A pályaszint egyenlejtésű egyenesekből (hossz-szelvény főelemek) és a közöttük elhelyezkedő magassági lekerekítő ívekből (hossz-szelvény mellékelemek) áll. A főelem helyzetének rögzítése az egyenes egy pontjának (kontrolpont) szelvényezési értéke és magassága, valamint az egyenes %-ban kifejezett meredekségének megadásával történik.

A lekerekítő íveket a sugár értékével rögzítjük, és mindig a megelőző főelemhez rendelve tároljuk. A lekerekítő ívek számítása körívpoótló másodfokú parabola felhasználásával

történik, mivel így – az esésváltató módszerrel ellentétben – az egymást követő főelemek valósídejű grafikus tervezésekor nem kell tekintettel lenni a töréskülönbségre.

Hossz-szelvény főpontoknak az út eleje és vége ( $UE$ ,  $UV$ ), valamint a magassági lekerékítő ívek eleje ( $LE$ ) és vége ( $LV$ ) pontokat nevezzük. A hossz-szelvény fő- és részletpontszámítást egy magassági lekerékítőív ábrázolásával a 4-12. ábra illusztrálja.

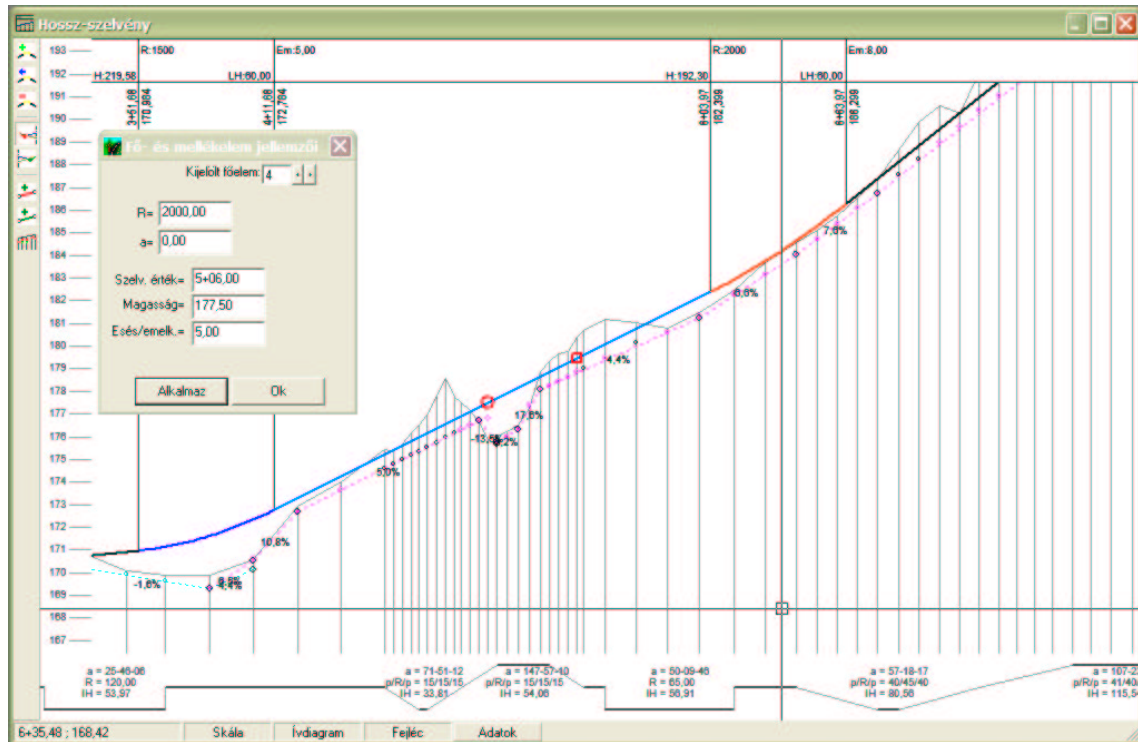


4-12. ábra. Hossz-szelvény fő- és részletpontok számítása.

#### 4.3.9.3. Tervezés a Hossz-szelvény ablakban

A Hossz-szelvény ablak középső, legnagyobb részét a hossz-szelvény tízszeres magassági torzítású ábrája foglalja el. Bal oldalon magassági skála, alul a vízszintes ívviszonyokat bemutató diagram és a magassági vonalvezetés legfontosabb adatai, a fejlécben a hossz-szelvény fő- és mellékelemek jellemzői láthatók. A magassági skála, az ívdiagram, az adatok és a fejléc megjelenítése egymástól függetlenül ki- vagy bekapcsolható annak érdekében, hogy a pályaszint (vagy a hosszirányú vízvezetés) tervezésekor minél nagyobb rajzterület álljon rendelkezésre (4-13. ábra).

A magassági vonalvezetés tervezése a helyszínrajzi tervezéshez hasonló elvek szerint történik. A hossz-szelvény terepvonalat követő egyenlejtésű egyenesek elhelyezése után a közöttük elhelyezkedő magassági lekerékítő ívek sugarát kell megadni, figyelembe véve a tervezési sebességhez tartozó minimális lekerékítőív-hosszakat. Az egyenesek elhelyezése, majd helyzetük módosítása (kontrolpont áthelyezése, emelkedő/esés érték változtatása) grafikusán, az egér segítségével történik. A lekerékítőív sugara a Fő- és mellékelem jellemzői párbeszédablakban állítható be, ugyanitt lehetőség van az egyenlejtésű egyenes adatainak módosítására is.

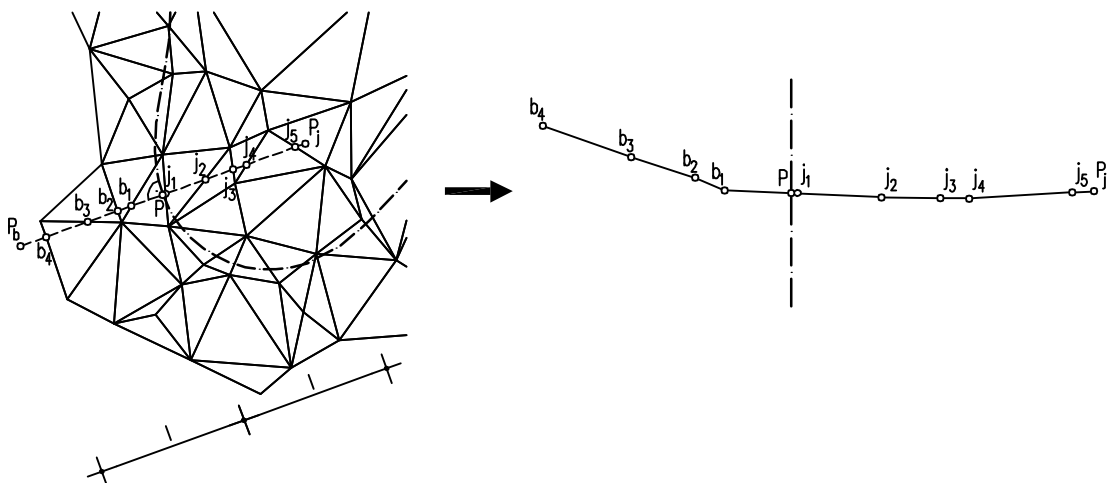


4-13. ábra. A Hossz-szelvény ablak felülete, fő- és mellékkelem módosítása.

#### 4.3.10. Keresztszelvények tervezése

##### 4.3.10.1. Keresztszelvény-terepvonalak előállítása

TIN felületmodell alkalmazása esetén  $P$  tengelypont keresztmetszvény-terepvonalának meghatározása a 4-14. ábrának megfelelően történik.



4-14. ábra. Keresztszelvény terepvonalának előállítása.

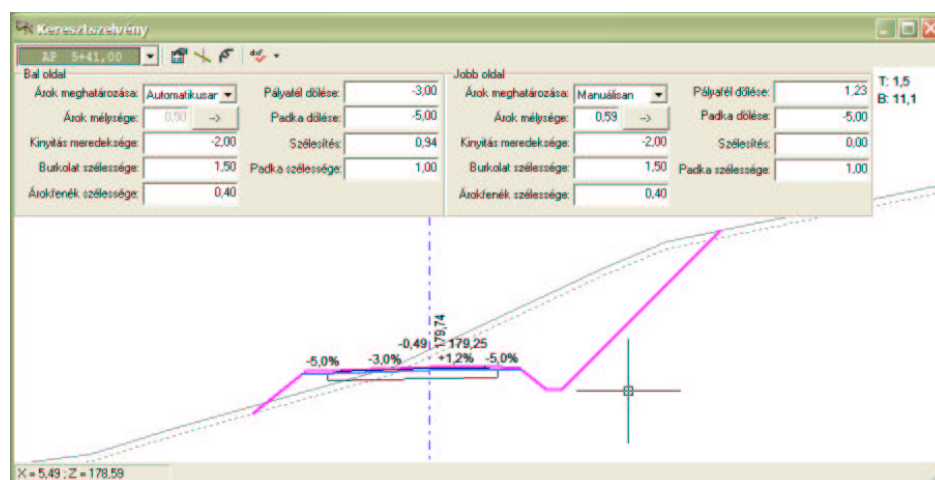
Az ábrázolandó pászta  $l$  szélességét a felhasználó adja meg. A keresztmetszvény terepvonalában töréspontok a tengelyre állított merőleges és a megfelelő terepmodell-



háromszögek élleinek metszéspontjaiban, valamint – ha a felületmodellen belül helyezkednek el –  $P_b$  illetve  $P_j$  pontokban adódnak.

#### 4.3.10.2. Keresztszelvények megjelenítése

A keresztmetszvény-terepvonal, a terepszint, a pályaszint, az egyenesben lévő mintakeresztmetszvény és az adott tengelypontban alkalmazott túlemelés és szélesítés ismeretében előállíthatók és megjeleníthetők a keresztmetszvények ábrái (4-15. ábra).



4-15. ábra. A Keresztszelvény ablak.

A vizsgált keresztmetszvény bal és jobb oldalán az árok megjelenése az „*árok meghatározása*” változók értékétől függ:

- Ha a változó értéke *Automatikusan*, a program a mintakeresztmetszvényben rögzített árokmélységet veszi figyelembe az árokszelvény tervezésekor; amennyiben az árokfenék a terep felett helyezkedne el, töltési rézsút rajzol.
- *Manuálisan* esetében a felhasználó által megadott mélységű árok jelenik meg.
- *Kinyitás* megadásával a keresztmetszvény a völgy felé „kinyitható” – így a hófúvás-veszélyes sekély bevágások tervezése elkerülhető.

A keresztmetszvényekben előzetesen megtervezett árokszintek a hossz-szelvényen megjeleníthetők, majd hosszabb-rövidebb egyenlejtésű árokfenék-szakaszokkal kiegyenlíthetők (4-13. ábra). A hosszirányú vízvezetés tervezése közben az érintett árokfenék-szintek automatikusan módosulnak a keresztmetszvényekben is.

A Keresztszelvény ablakban a vizsgált keresztmetszvény legfontosabb adatai (burkolat- és padkaszélességek, rézsűk, szélesítés, burkolat- és padkadőlések stb.) egyedileg is módosíthatók, így például a tervezett rakodók is ábrázolhatók.

### 4.3.11. Földtömegszámítás

Az útépitési költségek között kiemelt jelentősége van a földmű építésének. Az erdészeti utak burkolatszélessége keskeny, pályaszerkezetük felépítése egyszerű. Erdészeti utak tervezésekor ezért – ahol a terepviszonyok lehetővé teszik – a földtömegelosztás szempontjából történő optimalizációra törekszünk.

#### 4.3.11.1. Keresztszelvények töltési és bevágási területeinek meghatározása

A keresztszelvények töltési és bevágási területeinek számítása – a 4-16. ábra jelöléseinek megfelelően – az alábbiak szerint történik:

$$T = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} \text{ha}(h_{i,j} > 0; h_{i,j} \cdot d_i; 0) \quad (9)$$

$$B = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} \text{ha}(h_{i,j} < 0; |h_{i,j}| \cdot d_i; 0)$$

$T$  : A keresztszelvény töltési területe, [m<sup>2</sup>].

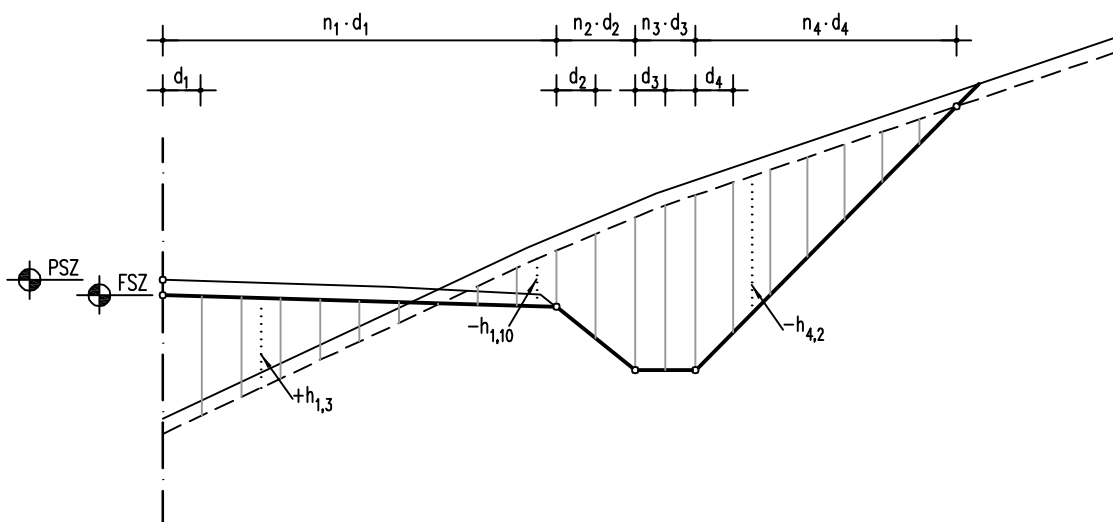
$B$  : A keresztszelvény bevágási területe, [m<sup>2</sup>].

$m$  : A földművet határoló vonallánc szakaszainak száma.

$n_i$  : Az  $i$ . szakaszon elhelyezett elemi trapézok száma.

$d_i$  : Az  $i$ . szakaszon elhelyezett elemi trapézok magassága (~0,10 m).

$h_{i,j}$  : Az  $i$ . szakaszon elhelyezett  $j$ . elemi trapéz átlagos szélessége, [m].



4-16. ábra. Keresztszelvény töltési és bevágási területeinek számítása.

### 4.3.11.2. A mozgatandó földtömeg számítása és eloszlásának ábrázolása

Két, egymást követő keresztmetszvény közötti töltési, illetve bevágási földtömeg a következő képletekkel számítható:

$$V_T = h \cdot \frac{T_1 + T_2}{2} \quad (10)$$

$$V_B = h \cdot \frac{B_1 + B_2}{2}$$

$V_T$  : Töltési földtömeg, [m<sup>3</sup>].

$V_B$  : Bevágási földtömeg, [m<sup>3</sup>].

$T_1, T_2$  : Az egymást követő két keresztmetszvény töltési területei, [m<sup>2</sup>].

$B_1, B_2$  : Az egymást követő két keresztmetszvény bevágási területei, [m<sup>2</sup>].

$h$  : A két keresztmetszvény szelvényértéke közötti különbség, [m].

A tervezett út egy kiválasztott szakaszán a földtömeg eloszlásának ábrázolása a töltési és bevágási földtömegeket összegző grafikon előállításával történik (4-17. ábra).

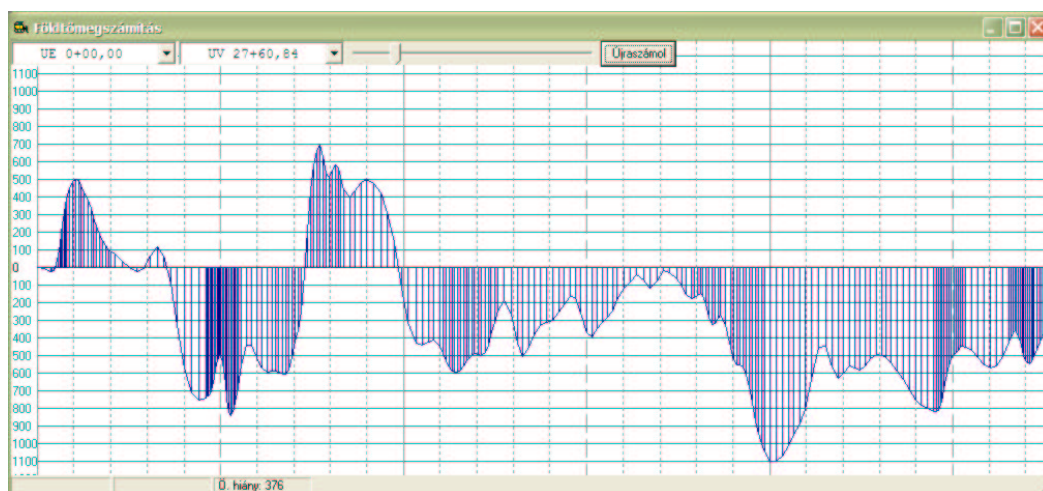
A grafikon vízszintes tengelyén a szelvényezési értékek [hm] dimenzióban, függőleges tengelyén az összegzett földtömegek [m<sup>3</sup>] dimenzióban szerepelnek. A grafikon  $i$ . pontjának értéke a következő képlettel számítható:

$$V_i = \sum_{i=m}^n V_{B,i} - V_{T,i} \quad (11)$$

$V_i$  : Az  $i$ . szelvényben a göngyöltett földtömeg értéke, [m<sup>3</sup>]. (– érték esetén hiány, + érték esetén felesleg.)

$m, n$  : Az ábrázolt szakasz kezdő- és végszelvényének sorszáma.

$V_{B,i} - V_{T,i}$  : Az  $i - 1$ . és  $i$ . szelvények közötti szakasz földtömeg feleslege vagy hiánya, [m<sup>3</sup>].



4-17. ábra. A Földtömegszámítás ablak.

A fenti elvek szerint előállított grafikon szemléletesen ábrázolja egy-egy szakasz (vagy a teljes út) mozgatandó földtömegeinek eloszlását. Azokon a szakaszokon, ahol a grafikon

emelkedő tendenciát mutat, felesleg keletkezik. Ahol a grafikon egymást követő értékei csökkennek, földhiánnyal kell számolni. A vizsgált szakasz földtömeg-elosztásának optimalizálása érdekében a tervezőnek egyrészt arra kell törekednie, hogy a szakaszt lezáró keresztmetszvényben minél kisebb összegzett felesleg vagy hiány keletkezzen, másrészt arra, hogy a hosszirányú szállítások a lehető legrövidebbek legyenek. A grafikon egymást követő, X tengelyt metsző pontjai között keletkező feleslegek és hiányok kiegyenlítik egymást; minél sűrűbben követik egymást ezek a pontok, annál rövidebbek lesznek a szállítási távolságok.

Az úttengely magassági vonalvezetésének módosításakor a Földtömegszámítás ablakban a grafikon automatikusan frissül, így a tervező azonnal ellenőrizheti a végrehajtott változtatások földtömegeloszlásra gyakorolt hatását.

#### 4.3.12. Befejező lépések

Az optimálisnak ítélt helyszínrajzi és magassági vonalvezetés megtervezése után az úttervező program a következő exportálási funkciókkal rendelkezik:

- Rajzos munkarészek (*Helyszínrajz, Hossz-szelvény, Keresztmetszvények*) „.dxf” formátumú exportálása. Exportálást követően a rajzok az AutoCAD szoftverrel megnyithatók, kiegészíthetők majd plottolhatóak.
- A tervezett út pásztája által elfoglalt területet határoló vonallánc „.dxf” exportja, ami a *Területkimutatás* munkarész elkészítésének alapja. Az erdészeti úttervezések térinformatikai feladatainak megoldására alkalmazott DigiTerra Map szoftver fel van készítve „.dxf” formátumú adatok importálására.
- Kitézési adatok (koordináták és sokszögmoldalakra vonatkoztatott derékszögű összerendezők) különböző formátumú exportja.
- A letermelendő pászta terepi kijelöléséhez szükséges adatok (pásztaszélességek a tengelypontokban) exportálása.
- *Számítógépes listák* (Sokszögpontok, helyszínrajzi főpontok adatai, írott hossz-szelvény stb.) munkarész nyomtatásra kész, „.rtf” formátumú exportálása.
- *Túlemelések és szélesítések* táblázat „.txt” formátumú exportálása, amit a *Műszaki leírásba* illesztünk.

### 4.4. Az ismertetett tervezési eljárás gyakorlati alkalmazása

#### 4.4.1. Korszerű módszerekkel tervezett vonalas létesítmények

A közreműködésemmel kialakított tervezési eljárással, illetve az általam fejlesztett szoftverrel az utóbbi években az Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Tanszék összesen mintegy 40 km II. o. erdészeti feltáróutat, illetve 15 km kerékpárutat tervezett.

Diplomatervezőink az ismertetett tervezési eljárást és szoftvert mintegy 40 km II. o. erdészeti feltáróút építési tervének, illetve 2 km keskeny nyomközű vasút rekonstrukciós tervének elkészítése során alkalmazták.

A maCADam programot egy budapesti mérnöki iroda is felhasználja kül- és belterületi közúttervezési feladatainak megoldására.

#### 4.4.2. Számítógépes úttervezés az oktatásban

Fontosnak tartom, hogy a tervezői, kivitelezői, gazdálkodói vagy hatósági munkakörbe kerülő, az erdészeti útépitést más-más oldalról megközelítő leendő erdőmérnökök egyaránt ismerjék a korszerű erdészeti úttervezési módszereket, megértsék a tervezési lépések egymásra épülését és a munkarészek közötti információáramlást, továbbá megismerkedjenek a legfontosabb számítási algoritmusokkal.

Az Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Tanszéken az utóbbi években végzett tudatos oktatásfejlesztési munka során oktató társaim egyetértésével és együttműködésével a kötelező jellegű *Erdészeti utak tervezése* és *Erdészeti útépités* tantárgyak gyakorlati feladataiba beépítettem a számítógépes úttervezési módszereket, így a hallgatók a közvetlen úttervezési eljárások és számítások megismerésén túl bepillantást nyernek a számítógéppel támogatott tervezésbe is. A kötelezően választható *Erdészeti utak számítógépes tervezése* tantárgy tananyaga a legújabb fejlesztéseknek megfelelően kibővült.

A környezetmérnök hallgatók *Mélyépités* gyakorlati feladatukat – egy alsórendű közút tanulmánytervét – szintén az ismertetett szoftver alkalmazásával készítik el.

A programot kísérleti jelleggel a Nyugat-Magyarországi Egyetem Földmérő és Földrendező Főiskolai Karán is felhasználják az oktatásban.

### 4.5. További fejlesztési elképzelések

A szoftver fejlesztésén folyamatosan dolgozom. Az alábbiakban néhány megvalósításra váró elképzelésemet sorolom fel:

- Csomópontok és lejárók részben automatizált tervezése.
- Csőáteresztők tervezésének részleges automatizálása.
- A terepmodell háromszögeihez felületi jellemzők rendelése (eltérő humuszvastagság, különböző meglévő burkolatok stb.).
- Összetett rézsű- és árokprofilok tervezésének támogatása.
- Útfelújítások tervezésének támogatása.
- Látótávolságok automatikus ellenőrzése.
- TIN terepmodell magasság vagy keresztdőlés szerinti színezése, árnyékolása.
- Három dimenziós látványtervek generálása, a tervezett út virtuális bejárása.



*„A komplett erdőfeltárás tehát közép- és hosszútávon változatlanul az erdészeti alaptevékenység műszaki fejlesztésének előterében áll, és annak főfeladatát képezi. A korszerű erdőgazdálkodás e nélkül a jövőben sem képzelhető el.”*

Bogár István, 1981.

## 5. Befejezés

### 5.1. Összefoglalás

Az erdészeti feltáráshálózatok tervezésének és nyilvántartásának témakörét komplex szemlélettel, az egyes részterületek kapcsolódási pontjainak tudatában kell vizsgálni. Dolgozatomat ezen gondolatok mentén igyekeztem felépíteni; az ismertetett tervezési eljárásokat a teljes rendszer összefüggéseiben próbáltam meg bemutatni.

A megvalósításuk idejében és módjában is eltérő tervezési tevékenységek közötti információáramlást az erdészeti útügyi információs rendszer valósítja meg.

Az erdészeti utak részletes tervezését meg kell, hogy előzze a feltáráshálózat-tervezés folyamata, hogy a megvalósuló létesítmény ne korlátja, hanem alapja legyen a jövőbeni fejlesztéseknek. A feltáráshálózat digitális tervét az erdőgazdálkodónak kell karbantartania, az időben változó igények és lehetőségek függvényében dinamikusan aktualizálnia.

Az erdészeti utat tervező mérnöknek tisztában kell lennie az út majdani hálózati szerepével azért, hogy annak tervezési paramétereit jól választhassa meg, hogy az erdei környezetet és a tájképet hosszú időre megváltoztató út a tartamos erdőgazdálkodás igényeinek megfelelhessen.

A megépült utak fenntartásra szorulnak, a rajtuk folyó szállítási munkákat meg kell szervezni. Ezeket a feladatokat az információs rendszerre alapozott útfenntartási és logisztikai alrendszerek kialakításával és működtetésével oldhatjuk meg hatékonyan.

Dolgozatomban az elmúlt hat év kutató és mérnöki munkáját foglaltam össze. Témám határozottan alkalmazott kutatás jellegű, amely szervesen kapcsolódik az Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Tanszéken folyó kutatás-fejlesztési projektekhez. A tárgyalt informatikai megoldások alkalmazhatóságát bizonyítják az elkészült, vagy készítés alatt álló útügyi információs rendszerek, feltáráshálózat-tervek és úttervek. Kollégáim segítségével kutatási eredményeimet az erdő- és környezetmérnök-képzésbe is beépítettem, részben a kapcsolódó tantárgyak gyakorlati feladatainak korszerűsítésével, részben a diploma-tervezők munkájának hatékonyabbá tételével.

A kidolgozott geoinformatikai eljárások, az elkészült tervek előbbre viszik, de nyilván nem váltják meg a magyar erdőfeltárás ügyét. Igazi előrelépéshez jelentős anyagi források bevonására, illetve bizonyos értelemben az erdőfeltárással foglalkozók szemléletének átformálására lenne szükség; előbbire részben megoldást jelenthetnek az infrastrukturális pályázati lehetőségek, utóbbi érdekében az Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Tanszék fejt ki erőfeszítéseket. Remélem, hogy ennek a munkának a jövőben is tevékeny résztvevője lehetek.

## 5.2. Tézisek

- I. A szerző definiálta az *Erdészeti útügyi információs rendszer* fogalmát; meghatározta az információs rendszer feladatait, a tárolandó adatok körét, az adatgyűjtés módszerét; javaslatot tett az erdészeti feltáróhálózatot alkotó utak geoinformatikai megjelenítésére, amely egyrészt az úttengelyek grafikus ábrázolását, másrészt a hálózat topológiájának kialakítását tartalmazza.
- II. A szerző kidolgozta az erdészeti útügyi információs rendszerre támaszkodó útfenntartási alrendszert, amely a feltáróutak állapotadatai és a jövőbeli forgalom dinamikus aktualizálhatósága, valamint a pályaszerkezet teherbírásának leromlási modellje segítségével javaslatot tesz a szükséges felújítások mértékére és idejére. Az információs rendszerben tárolt állapotadatok alapján a javítási és karbantartási feladatok is meghatározhatók. A dolgozat bemutatja, hogy az erdészeti útügyi információs rendszer alapja lehet az erdészeti logisztikai rendszereknek is.
- III. Az értekezés ismerteti a feltáróhálózat-tervezés geoinformatikai eszközrendszerét, melynek segítségével a feltárási alapterv több szempont egyidejű figyelembevételével, rövid idő alatt, több variációban megtervezhető, majd a kiválasztott variáció a változó igényeknek megfelelően dinamikusan módosítható. A szerző hatékony geoinformatikai eljárásokat dolgozott ki, amelyek lehetővé teszik a tervezett feltáróhálózat-variációk objektív összehasonlítását.
- IV. A szerző az erdészeti utak tervezési eljárását a megváltozott engedélyezési előírásoknak, az informatikai lehetőségeknek és a korszerű geodéziai műszereknek megfelelően továbbfejlesztette.
- V. A dolgozat bemutatja a szerző által fejlesztett, az erdészeti úttervezési körülményeknek és az újszerű tervezési eljárásnak megfelelő interaktív, valós idejű grafikus tervezést megvalósító számítógépes úttervező programot.



### 5.3. Köszönetnyilvánítás

Végezetül szeretném kifejezni hálámat azok iránt, akik közreműködése nélkül a dolgozat nem jöhetett volna létre.

Mindenekelőtt családom tagjainak tartozom köszönettel erkölcsi és anyagi támogatásukért, azért a háttérért, amit gyermekkorom óta biztosítanak nekem.

Hálás vagyok Feleségemnek kitartásáért, biztatásáért, lelki támogatásáért és a nyugodt otthon megteremtéséért.

Tudományos eredményeimet az Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Tanszék oktatójaként értem el, ezért természetesen hálával tartozom összes kollégámnak, különösképpen dr. Kosztka Miklós professzornak és dr. Péterfalvi József egyetemi docensnek, hogy kezdeti próbálkozásaimat felkarolták, oktatási és kutatási tevékenységemet figyelemmel kísérik, és hogy szakmai és erkölcsi tanácsaikra, javító szándékú kritikáikra az élet minden területén számíthatok. Külön köszönöm azt az erőfeszítést, amellyel megpróbálnak mérnököt faragni belőlem.

Köszönöm Kalicz Péter kollégámnak, hogy felhívta figyelmemet a  $\text{\LaTeX}$  kiadványszerkesztő programra, amely nagyban megkönnyítette a dolgozat szerkesztését.



## Hivatkozások

- [Baksay, 1976] Baksay János: *Útpályaszerkezetek behajlásmérése automatikus mérőkosíval*, Mélyépítéstudományi szemle, 1976/12. sz. p. 529–536.
- [Bácsatyai, 2000] Bácsatyai–Czimer–Király: *A digitális fotogrammetria újabb eredményei a NYME Földmérési és Távérzékelési Tanszékén*, Geomatikai Közlemények III. (Kiadja: MTA FKK Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet, Sopron)
- [Beck, 1981.] Beck M.: *Die Erhaltung unserer Stassennetze*, Strasse und Verkehr, 452. sz. p. 85–87.
- [Boromissza, 1976] Boromissza Tibor: *Aszfaltburkolatú utak teherbírásának vizsgálata behajlásméréssel*, Mélyépítéstudományi Szemle, XXVI. évf. 12. szám. p. 521–528.
- [Czimer, 1997] Czimer Kornél: *Geoinformatika*, Egyetemi jegyzet, Soproni Egyetem, Sopron.
- [Czimer, 2002] Czimer Kornél: *Korszerű geoinformatikai módszerek az erdészetben*, PhD értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Erdészeti Tudományok Doktori Iskola, Sopron.
- [Detrekői, 1997] Detrekői–Szabó: *Bevezetés a térinformatikába*, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
- [DigiTerra, 2003] DigiTerra Mérnöki Iroda: *DigiTerra Map felhasználói kézikönyv*, a DigiTerra Kft. kiadványa, Budapest.
- [Forrainé, 2004] Forrainé Hernádi Veronika: *Az Országos Közúti Adatbank (OKA2000) bemutatása*, Közúti és Mélyépítési Szemle, 54. évf. 7. sz. p. 6–10.
- [Forrainé et al., 2004] Forrainé–Gulyás–Hernádi–Keresztes–Rigler: *Az OKA2000 részei és alrendszerei*, Közúti és Mélyépítési Szemle, 54. évf. 7. sz. p. 11–18.
- [Kosztka, 1996] Kosztka Miklós: *Az erdőfeltárás és az erdészeti útépités új törekvései*, „Konfliktus vagy harmónia – A természetközeli többcélú erdőgazdálkodás műszaki fejlesztése”, az MTA Erdészeti Bizottsága által szervezett konferencia vitaanyaga, Sopron.
- [Kosztka, 1984] Kosztka Miklós: *Erdészeti utak fenntartási rendszere*, Kandidátusi értekezés, Sopron.
- [Kosztka, 2001a] Kosztka Miklós: *Erdőfeltárás a természetközeli, többcélú, többtulajdonosú erdőgazdálkodás feltételei között*, Egyetemi jegyzet, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Sopron.
- [Kosztka, 2001b] Kosztka Miklós: *Erdészeti utak fenntartási rendszere*, Egyetemi jegyzet, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Sopron.
- [Kovács, 2003] Kovács Gyula: *Erdészeti utak felmérése korszerű eszközökkel*, MTA Agrártudományok Osztálya, Agrár-Műszaki Bizottsága Kutatási és Fejlesztési Tanácskozása, Gödöllő.

- [Kraus, 1994] Karl Kraus: *Fotogrammetria*, Bécsi Műszaki Egyetem Fotogrammetriai Tanszék. Magyar kiadás: TERTIA Kiadó, Budapest, 1998.
- [Márkus, 1995] Márkus Béla–Végső Ferenc: *Térinformatika*, Erdészeti és Faipari Egyetem Földmérési és Földrendezési Főiskolai Karának Térinformatikai Tanszéke, Székesfehérvár.
- [Marosi, 2001] Marosi György: *Az erdei feltáróút környezeti hatásvizsgálata*, PhD értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Erdészeti Tudományok Doktori Iskola, Sopron.
- [Moór, 1977] Moór Artúr: *Matematika I-II.*, Egyetemi jegyzet, Erdészeti és Faipari Egyetem, Sopron.
- [NCGIA, 1994] Márkus Béla (szerk.): *NCGIA Core Curriculum*, Erdészeti és Faipari Egyetem Földmérési és Földrendezési Főiskolai Karának Térinformatikai Tanszéke, Székesfehérvár.
- [Nemesdy, 1974] Nemesdy Ervin: *Utak és autópályák tervezési alapjai*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- [Nemesdy, 1986] Nemesdy Ervin: *Úttervezés (Útépités I.)*, Tankönyvkiadó, Budapest.
- [Péterfalvi, 1996] Péterfalvi József: *Útmutató a számítógéppel támogatott úttervezéshez*, Erdészeti és Faipari Egyetem Erdőmérnöki Kar Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Tanszék, Sopron.
- [Primusz, 2005] *Tehergépkocsik tengelysúly növekedésének hatása az erdészeti utak pályaszerkezetére és pályaszerkezet-gazdálkodására*, Diplomamunka, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Tanszék, Sopron.
- [Rósa, 2004] Rósa Dezső: *A személyi számítógépes közúti adatbanki rendszer megalkotása*, Közúti és Mélyépítési Szemle, 54. évf. 7. sz. p. 3–5.
- [Szegedi, 1998] Szegedi Zoltán: *Logisztika menedzsereknek*, Kossuth Kiadó, Budapest.
- [Kosztka et al., 2002a] Kosztka–Markó–Péterfalvi: *Az erdészeti feltáráshálózat, mint az erdőgazdálkodás logisztikai alapja*, MTA Agrártudományok Osztálya, Agrár-Műszaki Bizottsága Kutatási és Fejlesztési Tanácskozása, Gödöllő.
- [Kosztka et al., 2002b] Kosztka–Markó–Péterfalvi): *Informatikai fejlesztések az erdészeti ügy területén*, Mérnök Újság, IX. évf. 1. sz. p. 15–17.
- [Kosztka et al., 2003] Kosztka–Markó–Péterfalvi: *Feltáráshálózat tervezése a Börzsönyben dinamikus hálózattervezéssel*, Közúti és Mélyépítési Szemle, 53. évf. 9. sz. p. 22–26.
- [Markó, 2004] Markó Gergely: *Landscape Aspects Of Forest Road Design, a Forest Constructions and Ameliorations in Relation with the Landscape* konferencia elektronikus kiadványa, Zvolen.

- [Markó–Péterfalvi, 2004] Markó Gergely–Péterfalvi József: *Digitális felületmodell alkalmazása erdészeti feltáráshálózatok és feltárási utak tervezésénél*, MTA Agrártudományok Osztálya, Agrár-Műszaki Bizottsága Kutatási és Fejlesztési Tanácskozása, Gödöllő.
- [Markó–Péterfalvi, 2005] Markó Gergely–Péterfalvi József: *Erdészeti utak tengelyének mérése GPS technológiával*, MTA Agrártudományok Osztálya, Agrár-Műszaki Bizottsága Kutatási és Fejlesztési Tanácskozása, Gödöllő.
- [ÁESZ, 1999] Állami Erdészeti Szolgálat: *Digitális Erdészeti Térképek (DET) formátum specifikációja*, Végrehajtási Utasítás
- [EUTI, 2001] Kosztka Miklós–Péterfalvi József (szerk.): *Erdészeti utak tervezési irányelvei*, Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium Erdészeti Hivatala, Budapest, 2001.
- [ÚT 2-2.113] *Hosszirányú pályaeegyenletlenség mérése mozgóbázisú mérőkészülékkel*, Útügyi Műszaki Előírás, a Közlekedési, Hírközlési és Vízügyi Minisztérium Közúti Főosztálya kiadványa, Budapest, 2002.
- [ÚT 2-2.121] *Dinamikus behajlásmérés méretezéshez (KUAB)*, Útügyi Műszaki Előírás, a Közlekedési, Hírközlési és Vízügyi Minisztérium Közúti Főosztálya kiadványa, Budapest, 2000.
- [ÚT 2-2.122] *Dinamikus teherbírásmérés (KUAB) mérési eredmények feldolgozása*, Útügyi Műszaki Előírás, a Közlekedési és Vízügyi Minisztérium Közúti Főosztálya kiadványa, Budapest, 2000.