Nyugat-Magyarországi Egyetem
Erdőmérnöki Kar
Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet

Dr. PÉTERFALVI József

kézírat

Erdészeti utak számítógépes tervezése

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS

Napjainkban az informatika rendkívül gyors fejlődésének lehetünk tanúi, amit az olcsóbbá váló mikroelektronika és az egyre nagyobb teljesítményű számítógépek tesznek lehetővé. Ennek köszönhető, hogy a számítógépek ma már szinte nélkülözhetetlen segédeszközei mindennapi életünknek. Különösen igaz ez a különböző mérnöki feladatok végrehajtására, ahol egyre nagyobb jelentőséget kapnak az ökológiai szempontok, az ökonómiai, műszaki és esztétikai követelmények mellett. Ezeket összehangoltan figyelembe venni, csak több tervvariáns kidolgozásával és összehasonlításával lehet. Ennek kis időráfordítással történő megoldásához szintén számítógépes programokra van szükség. Ezt felismerve tanszékünkön is megindult egy számítógépes tervezési programcsomag kidolgozása, amelynek eredményeként először a DOS alapú EUTESZ, majd 2000-től a Windows operációs rendszer alatt futó ERDÚTTERV és 2004-től maCADam szoftver készült el.

Céljaink szerint egy olyan úttervezést támogató eszközt kívántuk megvalósítani, ami didaktikailag beilleszthető az úttervezés oktatásának folyamatába, egyben segítséget nyújt a gyakorlatban dolgozó erdészeti úttervezéssel foglalkozó szakembereknek is. A számításigényes műveletektől megszabadulva a tervező mérnök több időt fordíthat a terv teljes egészének áttekintésére és azok elemeinek összehangolására.

Erdészeti utak tervezésénél a számítógép alkalmazásának két egymással szoros összefüggésben lévő területen van nagy jelentősége. Az egyik a feltáróhálózat, a másik az egyes utak tervezése. A DigiTerra Map geoinformatikai szoftver felhasználásával készülő dinamikus feltáróhálózat tervezést már az előző szemeszterben megismerték.

Az egyes utak terveinek elkészítésekor a munka legfontosabb alkotómérnöki része a helyszínrajz, majd a hossz-szelvény tengelyvonalának a grafikus megtervezése, egymással összhangban. Erre általában azt a klasszikusnak mondható módszert alkalmazzák, hogy az úttengely vonalát egyenesek-körívek-klotoidok célszerűen megválasztott sorozatából állítják össze egy előzetes grafikus terv alapján.

Egy másik számítástechnikai irányzat lényege az, hogy a grafikusan (pl. hajlékony vonalzók segítségével) megtervezett úttengelyt nem klotoidok-körívek sorozatából teszi össze, hanem az interpoláló polinomokkal igen rokon ún. "spline" függvényekkel írja le. Az adódó hátrányok miatt ezt a megoldást helyszínrajzi tervezésre csak akkor érdemes használni, ha pl. beépített területen való útkorszerűsítés esetén a régi út oldalirányú mozgatására van szűk, vonalkorrekciós lehetőség, azonban ugyanakkor igen sok oldalirányú kötöttség is adódik. Ezek között adhat a spline-vonal ismét egy sima, folytonosan változó görbületű úttengelyt.

2. A SZÁMÍTÓGÉPES ÚTTERVEZÉS TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉSE

2.1. Fejlesztések a világban

A számítógépek alkalmazása az úttervezésben a közutak esetében Európában a 60-as évek elejétől kezdődött el. Kezdetben a felhasznált programok futtatásához számítóközpontokra volt szükség, amelyek ebből következően a fejlesztést a megbízó tervezési irodával együttműködve végezték.

Hazánkban az UTESZ (Út Tervezés Elektronikus Számítógéppel) programok kifejlesztésére vonatkozó kutatásokat az Út-Vasúttervező Vállalat és a BME Útépítési Tanszék 1966-69. években végezte.(Nemesdy, 1986) 1970-81 között az UVATERV az UTESZ programrendszer három kiadását fejlesztette ki.(Jánoshegyi, 1971)

Ugyanezen időszakra esik Svájcban egy kimondottan erdészeti utak tervezésére szolgáló "WALD" nevű programcsomag létrehozása, amelyet a FIDES egyik számítóközpontja az ETH Zürich erdőmérnöki szaktanszékével együttműködve készített (1977).

A mikroelektronika és a számítástechnika rohamos fejlődése lehetővé tette, hogy a korábban nagy helyigényű számítógépeket felváltsák a kis, sőt személyi számítógépes rendszerek. Ezzel a számítógépek oda kerülhettek a tervező mérnökök asztalára, így a gyári szoftverek alkalmazása mellett lehetőség nyílott egyszerűbb feladatorientált programok készítésére. A nagy teljesítményű gépeken létrehozott programoknak megjelentek a kis és személyi számítógépes változatai is. Főleg az IBM PC-k és az ezekre írt szoftverek terjedtek el. Ezek közül a német "STRATIS" (1990) nevű út és mélyépítési rendszer emelhető ki, amely erdészeti utak elő és pontos tervezésénél egyaránt jól felhasználható. Hazánkban a közutak tervezéséhez a 1990-es években a MicroPiste nevű francia úttervező programot használták. Ugyancsak jól használhatónak tűnnek a kimondottan erdészeti úttervezéshez készült svájci "FOREST" (1990) és a kanadai "ROADENG" (1991) nevű szoftverek, amelyek fejlett grafikai lehetőségekkel is rendelkeznek.

Nem hagyható figyelmen kívül a nagy és minigépes rendszerek fejlődése sem, amelyek közül a ma már kultúrmérnöki etalonnak számító "MOSS" (1985 -) (újabb nevén GeoMACAO ill. MX) felületmodellező rendszer említhető meg, amelyet az UVATERV az M3-as autópálya terveinek elkészítéséhez használt fel.

A személyi számítógépek teljesítményének ugrásszerű fejlődése napjainkban lehetővé teszi a felületmodellező és mélyépítési létesítmények tervezésére szolgáló szoftverek használatát. Ilyenek az AutoCAD grafikus tervező program alá fejlesztett Autodesk Land Development Desktop, Civil Design tervező programok. A fejlődés napjainkban is töretlenül folytatódik és egyre többet tudó, felhasználóbarátabb szoftverek jelennek meg.

A fenti rövid történeti áttekintésből is kitűnik, milyen nagy fejlődésen ment keresztül a számítástechnika és annak alkalmazása. Megfigyelhető továbbá, hogy a fejlettebb országok igyekeznek egy ilyen kis területen is mint az erdészeti úttervezés saját szoftvert létrehozni.

2.2. Fejlesztés a Nyugat-Magyarországi Egyetemen

Természetesen joggal vetődik fel ezek után a kérdés, hogy ha már léteznek ilyen szoftverek, akkor miért foglalkozunk saját program létrehozásával. A válasz erre csak az lehet, hogy amint lehetőség van rá feltétlenül be kell szerezni ilyen programcsomagot. Azt is tudnunk kell azonban, hogy az ilyen külföldi fejlesztések kapcsán a következő nehézségek léphetnek fel:

- minden program működésétől függően sajátos adatfelvételi, adatbeviteli módot, bemenő adatokat kíván, amely általában nem felel meg a hazai gyakorlatnak.
- a képernyőn és az eredménylistákon megjelenő szövegek nem magyar nyelvűek, amelyek a használó által történő lefordítása és helyes értelmezése elengedhetetlen feltétele a program jó hatásfokkal való működtetésének. A gyártó cég a forrásprogramokat nem, vagy csak jelentős összegért bocsátja rendelkezésre, hogy így a lefordított szöveget a programba bevihessük. Esetleg a gyártó is vállalkozik erre, de ezért ugyancsak fizetni kell.
- az igazán jól és rugalmasan felhasználható szoftverek ára már elég jelentős, és minden újabb verzió ismételten kiadást jelent. A fejlesztésbe való beleszólásra a felhasználónak így elég kevés esélye marad.

A felsorolt nehézségeken úgy könnyíthetünk, hogy saját fejlesztésekre támaszkodva együttműködést alakítunk ki a szoftverkészítőkkel. Ez lehetőséget nyújt az átdolgozásra, ami a szoftver hatékonyabb működését eredményezi.

Az egyetemi fejlesztés első lépcsőjeként programozható számológép (HP-67) alkalmazására történtek kísérletek.(ifj. Gál, 1979)

Az erdészeti utak tervezését támogató személyi számítógépre írt programrendszer kidolgozása tanszékünkön az 1980-as években kezdődött meg, az elsőként egyetemünkre érkező IBM 5110-es személyi számítógépen (Báthory, 1981). Az elkészült programok alapos tesztelése azonban személyi feltételek hiánya miatt megszakadt és csak az IBM PC-k elterjedésével 1988-ban indult meg újra (EUTESZ). A fejlesztés lépései a következők voltak:

- a már megírt programok új gépekre való átírása,
- a hiányzó programrészek megírása,
- az alprogramok egységes programrendszerbe foglalása,
- az eredmények grafikus megjelenítése AutoCAd-ben.

Ezt követte az „ERDÚTTERV” önálló grafikus felülettel rendelkező tervezői szoftver. Jelenleg az eddig kialakított elvek felhasználásával egy igazán rugalmas és felhasználóbarát tervező szoftver kidolgozása van folyamatban (maCADam).

3. TERVEZÉS MENETE AZ ”EUTESZ” PROGRAMRENDSZERREL.

A feltáróhálózat tervezésekor már eldöntöttük a tervezendő út kiépítési színvonalát. Elvégezve a pályaszerkezet méretezését, valamint a talaj függvényében a rézsűk megválasztását, az egyenesben lévő mintakeresztszelvény elkészíthető, amely a tervezés első fontos bemenő adata.

A számítógéppel támogatott tervezés során a hagyományos tervezési lépéseket hajtjuk végre, a számítógép és az alkalmazott programok igényeinek megfelelő szemlélettel, sorrendben és tartalommal. A tervműveletek sorrendjét az 3-1. ábra mutatja be.

3.1. Adatfelvétel

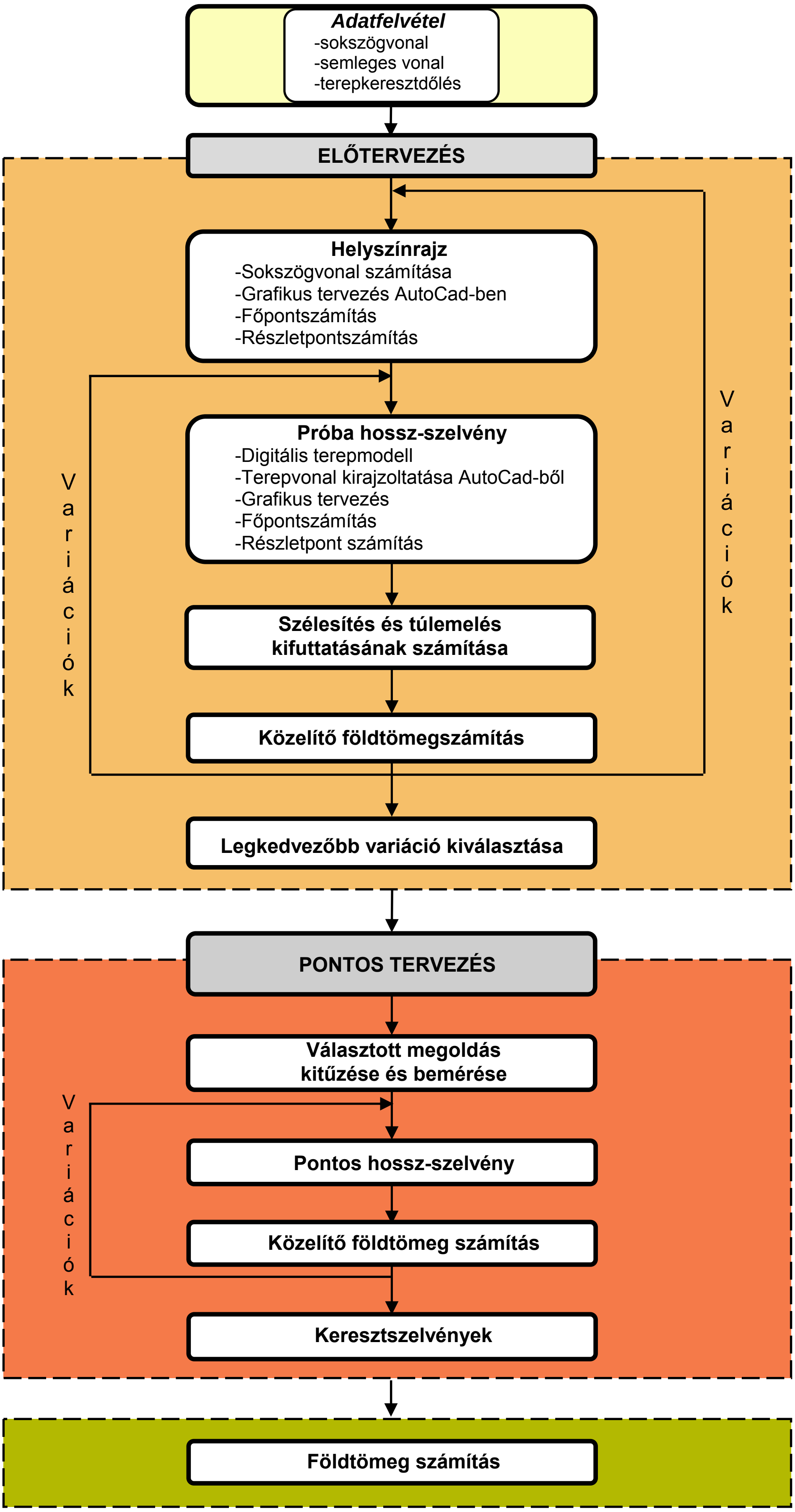
Az adatfelvétel a vonalvezetést hegy- és dombvidéki terepen meghatározó semleges vonal kitűzésével indul. Ezt követően a geodéziai szabályokat betartva kitűzünk egy sokszögvonalat, amelyről a semleges vonal pontjai derékszögű részletméréssel könnyen bemérhetők.

A számító-tervező program bemenő adatai a következők:

- a semleges vonalat kísérő sokszögmenet jellemzői (oldalhossz, baloldali közbezárt szög),
- a semleges vonal pontjai közötti esés vagy emelkedő százalékos értéke,
- a semleges vonal pontjainak kísérő poligonra (sokszögvonalra) vonatkoztatott relatív koordinátái,
- a semleges vonal pontjaiban mért terephajlás.

A terephajlás felvétele a hagyományos tervezéshez képest többletmunkát igényel, de ez teszi lehetővé azt, hogy létrehozzuk azt az egyszerű terepmodellt, amelynek segítségével a helyszínrajzi variációk közelítő hossz- és keresztszelvényeinek terepvonalait kaphatjuk meg.

A tervezés végrehajtása két nagy lépésben történik, amelyek az ELŐTERVEZÉS és a PONTOS TERVEZÉS.



3-1. ábra. Tervműveletek sorrendje

3.2. ELŐTERVEZÉS

Az előtervezés szolgálja azt a célt, hogy a tervezendő út tengelyvonalának terepen való kitűzése előtt helyszínrajzi variációkat dolgozzunk ki, a legtöbb szempontból kedvező megoldás kiválasztására.

3.2.1. Helyszínrajz

A tervezés menete a klasszikus módszer szerint az, hogy a koordinátahálós térképen ábrázolt semleges vonalhoz jól simuló egyeneseket és íveket rajzolunk, majd ezeket alapesetekre bontjuk, amelyeket a számítógép számítani tud. A nyújtott lendületes vonalvezetést elősegíti, ha először az egyenes szakaszok beillesztése történik meg, mert így a semleges vonal kissé hullámos szakaszait átvágjuk.

A helyszínrajzi vonalvezetés tervezése a felvételi adatok számítógépes feldolgozásával indul, amelynek eredményeként először a sokszögpontok és a semleges vonal pontjainak koordinátáit valamint az ezek alapján készült rajzfájlokat kapjuk meg. A „.dxf” kiterjesztésű rajzfájlok behívása után a tervezés az AutoCAD programban folytatódik, ahol a szerkesztési parancsok (körív vagy egyenes rajzolása, mozgatás, forgatás, stb.) segítségével a semleges vonalat egyenesekre és ívekre bontjuk, amelyeket főelemeknek nevezünk. Helyzetüket egyeneseknél két pontjuk, köríveknél két pontjuk és sugaruk megadásával rögzítjük az úttervező program számára. Ezeket az input adatokat AutoCAD-ben könnyen lekérdezhetjük. A főelemeket összekötő klotoid átmeneti íveket mellékelemeknek nevezzük, és adataikat részben vagy teljes egészében a számítógép számítja ki. Az egyes elemek érintőleges csatlakozási pontjait főpontoknak, a közöttük lévő pontokat részletpontoknak nevezzük.

A helyszínrajzi számításokat az úttervező program két lépésben hajtja végre. Először a helyszínrajzi főpontok koordinátáit és az ívelemek jellemzőit határozza meg, majd a részletpontok koordinátáit számítja ki. A számítások eredményei grafikusan is megtekinthetők, ha a létrehozott rajz fájlokat AutoCAD-ben megnyitjuk. Ezzel a grafikus ellenőrzés is lehetővé válik. A főpontok koordinátáinak számítógéppel történő számításához az egymást követő főelemeket geometriai alapesetekre bontjuk. Alapeseteknek nevezzük a főelem – mellékelem – főelem hármasokat, amelyeknek egy egyjegyű számot adunk a számításokhoz. A bemenő adatok ismeretében kiszámításra kerül a mellékelem, illetve ha főelemeink közé előzetes elképzelésünknek megfelelő mellékelem nem helyezhető el, hibaüzenetet kapunk.

A fő pontok között kellő sűrűséggel számítani kell a részletpontok, illetve bármely megadott szelvényezési pont koordinátáit. Ehhez meg kell adni egyenesben és a sugártól függően ívben a részletpontok közötti távolságot és a feltétlenül kitűzendő speciális pontok szelvényértékét. Ha megadjuk továbbá azt, hogy melyik sokszögoldalról milyen szelvényig kívánjuk a tengelyt beszelvényezni, megkapjuk a fő és részletpontok sokszögmenetre vonatkoztatott derékszögű és poláris kitűzési adatait.

A tervezett helyszínrajzi tengely helyzetének átvizsgálása után a nem kellően illeszkedő szakaszok elemeinek bemenő adatait módosítva a helyszínrajzi vonalvezetés könnyen áttervezhető.

3.2.2. A próba hossz-szelvény

A hossz-szelvény fő célja a magassági vonalvezetés grafikus megtervezése és a megtervezett helyszínrajzi tengely pontjai magasságának meghatározása.

3.2.2.1. Digitális terepmodell

A digitális terepmodellt előállító programrész segítségével a helyszínrajzi tengely pontjainak közelítő magassága még a kitűzés előtt meghatározható. A program egy négyszöghálós terepmodellt használ erre a célra. A négyszög pontjai a következők :

- két egymást követő semleges vonal pont három koordinátájával,
- a két semleges vonal ponttól 10,00 m-re, a haladási iránynak megfelelően jobbra eső két pont három koordinátájával.

Ezen pontok létrehozatalához szükséges bemenő adatokat a semleges vonal már említett beméréskor vesszük fel.

3.2.2.2. Hossz-szelvény

A magassági adatok meghatározását az előtervezési fázisban a terepmodell segítségével végezzük. A számítás eredményeként megkapjuk a helyszínrajzi vonalvariáció hossz-szelvényének terepvonalát. A kapott terepvonal rajzgéppel történő megjelenítése után elkészíthető a próba hossz-szelvény.

A magassági vonalvezetés grafikus megtervezése után a az úttengely pontjainak magasságát határozzuk meg. A helyszínrajzi tervezéshez hasonlóan először a főpontok, majd a részletpontok magasságát határozza meg a program. A hossz-szelvényben főelemek az egyenlejtésű egyenesek, amelyek közé a számítógép számítja a lekerekítő íveket, mint mellékelemeket. Magassági főpontoknak nevezzük a megtervezett pályavonal törés, illetve a lekerekítések ív eleje és ív vége pontjait. Az egyenlejtésű szakaszokat bármely pontjuk szelvényezési értékével, magasságával és a lejtő vagy emelkedő értékével adjuk meg. A lekerekítő íveket az esésváltoztató módszernek megfelelően az esésváltoztatás százalékával és hosszával jellemezzük.

A programfutás eredményeként megkapjuk az egyenlejtésű szakaszok kezdő és végpontjainak valamint a lekerekítő ívek érintési pontjainak szelvényezési értékeit és magasságait. Ha a programfutás elején kértük a grafikus hossz-szelvényt tartalmazó rajzfájlt is megkapjuk, amelyet AutoCAD-megnyitva megvizsgálhatjuk a magassági vonalvezetést. Az esetleges módosításokkal az újabb számítást a számítógép gyorsan és pontosan elvégzi. A részletpontszámítás programrész futása után megkapjuk minden fő- és részletpont magasságát, amely a földműszintet vagy kiegyenlítő földműszintet jelenti.

3.2.3. Szélesítés és túlemelés kifuttatásának számítása

Bemeneti adatként csak a burkolat szélességét és egyenesben alkalmazott oldalesését kell megadni. A többi adat az előző számítások alapján már rendelkezésre áll.

Mivel ez a programrész futása közben ellenőrzéseket végez, célszerű a terepmodell használata után még a próba hossz-szelvény elkészítése előtt lefuttatni. Eredményként megkapjuk a kifuttatási szakaszokba és az ívekbe eső tengelypontok szélesítés és túlemelés értékeit. Ezek felhasználásával a közelítő földtömegszámítást is pontosabbá tehetjük.

3.2.4. Közelítő földtömegszámítás

A közelítő földtömegszámításhoz a földmű koronaszélességére, a rézsűk hajlására, a módosított árokmélységre és a humusz vastagságra van szükség. A terepvonal keresztdőlése a terepmodell segítségével meghatározható. A keresztszelvények töltési és bevágási területeinek meghatározásához szükséges egyéb adatok már a korábbi programfuttatások eredményeként rendelkezésre állnak. A szelvényterületek és a szelvények közötti távolság felhasználásával a gép számítja a közelítő földtömeget. A terület és földtömegszámításon kívül az egyszerűsített keresztszelvények képernyőn való megjelenítésére is lehetőségünk van, amelyek ki is nyomtathatók.

3.2.5. Legkedvezőbb variáció kiválasztása

A fenti programrészek bemenő adatainak változtatásával variációkat dolgozhatunk ki. Ahogy a folyamatábrán (3-1. ábra) látható változtathatunk a helyszínrajzi és a magassági vonalvezetésen, illetve magukon a keresztszelvényeken is. A megoldásokat ezek után összehasonlíthatjuk és értékelhetjük, majd a számunkra legkedvezőbbet kiválaszthatjuk. Az összehasonlítás szempontjai a következők lehetnek:

- földtömegszámítás,
- a műszelvény által elfoglalt terület,
- a töltés alapozások szükségessége,
- szükséges műtárgyak (hidak, átereszek),
- egyéb szempontok.

3.3. Pontos tervezés

A variációk közül kiválasztjuk a legkedvezőbb helyszínrajzi tengelyt és a számítógép által kiszámított kitűzési adatok felhasználásával a terepen kitűzzük. A kitűzéssel együtt a terepen fellelt tervezéshez szükséges további pontokat bemérjük. Ezután szintezéssel meghatározzuk a kitűzött tengelypontok pontos magasságát és felvesszük keresztszelvények terepvonalát.

A pontos tervezés következő lépéseként ismét le kell futtatni a szélesítés és túlemelés számítását végző programot, mert a terepi kitűzéskor részletpontokat iktathattunk be, vagy hagyhattunk el a listáról.

A hossz-szelvény pontos terepvonalát tartalmazó rajzfájlt a kitűzött tengelyvonal pontjainak szintezéssel megállapított magasságaiból állítja elő a program. A magassági vonalvezetés megtervezéséhez újra felhasználhatjuk az előtervezésnél már ismertetett hossz-szelvény számító és a közelítő földtömegszámítási programot. Ez utóbbihoz a keresztszelvények terepi felvétele alapján előállított pontos terepvonalak átlagos dőlését kell lemérnünk és megadnunk.

Mivel a hossz-szelvény pályavonalának egyenlejtésű szakaszai könnyen változtathatók és ehhez a közelítő földtömeg azonnal kiszámítható, ezért a legkedvezőbb magassági vonalvezetés viszonylag rövid idő alatt megtervezhető.

A hossz-szelvény pálya szintre való emeléséhez az egyenlejtésű egyenesek korábban megadott pontjainak magasságát kell módosítani a földműszint és pályaszint közötti magasságkülönbséggel.

A programrendszer a végleges tervvariáns további munkarészeinek (Részletes műtárgytervek, Műszaki leírás, Költségvetés stb.) kidolgozását már nem támogatja, tehát azok végrehajtása megegyezik a hagyományos tervezéssel.

4. ALKALMAZOTT ELJÁRÁSOK ÉS A PROGRAMOK MŰKÖDÉSE

Ebben a fejezetben ismertetjük a programok működésének alapelveit, az alkalmazott eljárásokat és a „maCADam” program használatát.

4.1. Terepi felvétel és feldolgozás

A helyszínrajzi tervezéshez használt koordinátarendszer megegyezik a geodéziában használt jobbsodrású rendszerrel, vagyis az "X" tengelyt jobb irányú forgatással juttathatjuk az "Y"-ba, illetve a magasságot jelentő "Z"-be.

A semleges vonal és a terep töréspontjaihoz tartozó koordináták meghatározásához, valamint az út tengelyvonalának kitűzéséhez szükségünk van egy geodéziai alappont - hálózatra. Az utak tervezésénél egy sokszögvonal látja el ezt a feladatot. A sokszögvonal szerencsés esetben maga a tengelyvonal-sokszög, de ez lehet egy általános sokszögvonal is. Ha a vonal bemérését teodolittal és mérőszalaggal végezzük, akkor a geodézia tantárgy keretében megismert módon számítjuk a sokszögpontok koordinátáit. Amennyiben a mérésekhez mérőállomást használunk, akkor a felmérés adatainak számítógépbe töltése után a geodéziai számítások és a felületmodell (pl.: szabálytalan háromszögháló) generálása a megfelelő programokkal elvégezhető.

4.2. Helyszínrajzi főpontszámítás

A helyszínrajzi főpontszámítás feladata:

- a tengelyvonal főpontjainak meghatározása, amely klotoid átmeneti íves körív esetén az átmeneti ív eleje "AE" és átmeneti ív vége "AV", tiszta körív esetén az ív eleje "IE" és ív vége "IV" pontokat jelenti;
- a fő- és mellékelemek illeszthetőségének ellenőrzése.

4.2.1. A főpontszámítás elve

A helyszínrajzon megkülönböztetünk fő- és mellékelemeket. Főelemeknek nevezzük köröket és egyeneseket, amelyek helyzetét a tervezés során előre meghatározzuk. A főelemek egymáshoz mellékelemekkel (átmeneti ív, kör, egyenes) kapcsolódnak. A mellékelemeket nem, vagy csak részben definiáljuk, mert ezek a megfelelő képletek és algoritmusok segítségével már számíthatók. A főelem - mellékelem - főelem hármasok mindig egy-egy alapesetet képeznek, amelyet egy egyjegyű számmal adunk meg. Ezek ismeretében a program számítja a mellékelemet, illetve ha főelemeink közé előzetes elképzelésünknek megfelelő mellékelem nem helyezhető el, akkor a program hibajelzést kapunk. Amennyiben a főpontok koordinátái meghatározhatók, akkor a részlet-pontok is minden esetben kiszámíthatók.

4.2.1.1. Főelemek megadása

4.2.1.1.1. Egyenes megadása

Egyeneseket mindig két pontjának koordinátapárjával adunk meg méterben, két tizedes pontossággal. Ügyelnünk kell arra, hogy a pontok a tengelyvonal haladásának megfelelően kövessék egymást. Vagyis az egyenesen az első pontból a szelvényezés irányába haladva érhetünk a második pontba.

4.2.1.1.2. Körív megadása

Körív megadásánál két eset lehetséges:

a.) **Főelemként: két pontjával és sugarával**
A két pontot az egyenesnél leírtaknak megfelelően adjuk meg. Ugyanakkor meg kell adnunk a körív sugarát is előjelhelyesen. Ennek értelmezése:
- az ív sugara pozitív, ha jobb irányú,
- negatív, ha bal irányú ívről van szó.

A körívpontok koordinátáit és a sugár értékét egyaránt cm pontossággal adjuk meg. Az egyértelműség miatt a köríven a pontok egymásutánisága úgy értelmezendő, hogy az első és második pont által meghatározott húrtól jobbra esik a kör középpontja, ha az ív jobb irányú, balra esik a kör középpontja, ha bal irányú.

b.) **Mellékelemként: csak sugarával**
A két megadott egyenes között elhelyezkedő átmeneti ív nélküli körív geometriai helyzete számítható. Ha az átmeneti ívek paraméterét megadjuk, a klotoid átmeneti íves körív is számítható.

4.2.1.2. Felhasznált eljárások

A főpontszámításhoz az alábbi képleteket és eljárásokat használjuk fel:
két "X, Y" abszolút koordinátáival adott pont távolsága "T":

(3.5)

$$T = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}\ .$$

- az "η, ξ" sokszög oldalra vonatkoztatott relatív koordinátákkal megadott főelem abszolút koordinátái "X, Y":

$$X = X_i + \eta \cdot \cos\delta - \xi \cdot \sin\delta,$$
$$Y = Y_i + \eta \cdot \sin\delta + \xi \cdot \cos\delta, \tag{3.6}$$

amelyben:
- X_i, Y_i: a sokszögoldal egyik végpontjának koordinátái;
- δ: a sokszögoldal irányszöge a $\delta = \mathrm{arctg}\dfrac{Y_{i+1} - Y_i}{X_{i+1} - X_i}$, képlettel számítva.
- a pont koordinátái az új koordinátarendszerben (sokszögoldalra vagy egy egyenesre vonatkozó relatív koordináták) "η, ξ":

$$\eta = (X - U) \cdot \cos\delta + (Y - V) \cdot \sin\delta,$$
$$\xi = (Y - V) \cdot \cos\delta - (X - U) \cdot \sin\delta, \tag{3.7}$$

ahol:
- U, V: az új koordinátarendszer kezdőpontjának koordinátái;
- δ: az új koordinátarendszer elforgatásának szöge (sokszögoldal vagy egyenes irányszöge a $\delta = \mathrm{arctg}\dfrac{Y_{i+1} - Y_i}{X_{i+1} - X_i}$ képlettel meghatározva);
- X, Y: egy pont eredeti koordinátarendszerben megadott koordinátái.

A klotoid átmeneti ív jellemzőinek meghatározására az alábbi képletek szolgálnak:

$$p = \sqrt{R \cdot L} \quad \text{vagy} \quad L = \frac{p^2}{R}, \tag{3.8}$$

$$x = l - \frac{l^5}{40p^4} + \frac{l^9}{3456p^8},\ y = \frac{l^3}{6p^2} - \frac{l^7}{336p^6} + \frac{l^{11}}{42240p^{10}}, \tag{3.9}$$

$$\Delta R = \frac{L^2}{24R} - \frac{L^4}{(24R)^2} \cdot \frac{1}{4{,}67R}, \tag{3.10}$$

- a (3.10) képletet másodfokúra redukálva az "L" kifejezhető:

(3.11)

$$L = \left[\frac{24 \cdot 4{,}67R^2 (1 - (1 - (4\Delta R / 4{,}67R))^{1/2})}{2} \right]^{1/2},$$

(3.12)

$$X_0 = \frac{L}{2} - \frac{L^3}{240R^2},$$

ahol az egyes jelölések értelmezése az alábbi:
- p: az átmeneti ív paramétere;
- L: az átmeneti ív hossza;
- R: a körív sugara;
- x, y: az átmeneti ív pontjainak főérintőre vonatkozó, az átmeneti ív elejétől számított relatív koordinátái;
- l: az átmenet ív elejétől számított tetszőleges távolság az átmeneti íven mérve;
- ΔR: a klotoid átmeneti ív köríveltolása;
- X_0: az átmeneti ív körívközéppont abszcissza értéke.

4.2.1.3. Alapesetek számításának elve

4.2.1.3.1. Az 1. és 2. számú alapeset számításának elve

Az 1. számú alapesetnél az egyenest két pontjának koordinátájával, a körívet két pontjának koordinátájával és előjeles sugárértékével rögzítjük. Megállapítandó a "p" paraméter, az átmeneti ívadatok és a csatlakozási főpontok (AE, AV pontok) "X, Y" koordinátái **(**4.2.1.3.1.-1. ábra.**)**.

Kiindulási adatok a következők:

- az egyenes két pontjának koordinátái:

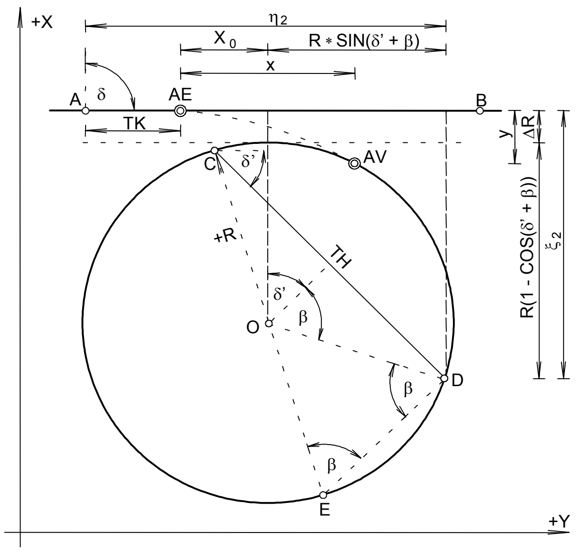
A: X_A és Y_A,

B: X_B és Y_B,

- a "+R" sugarú körív két pontjának adatai:

C: X_C és Y_C,

D: X_D és Y_D.



4.2.1.3.1.-1. ábra.
Az 1. alapeset geometriai tartalma

Első lépésként az egyenes irányszögét "δ" a $\delta = \mathrm{arctg}\dfrac{Y_{i+1} - Y_i}{X_{i+1} - X_i}$, majd a körív két pontjának távolságát "TH" a (3.5) és az egyenesre vonatkoztatott "η, ξ" relatív koordinátáit a (3.7) képletekkel határozzuk meg. Az "η, ξ" koordinátarendszer kezdőpontja az "A" pont.

Ezt követi "β" szög kiszámítása a "CDE" háromszögből:

(3.13)

$$\beta = \mathrm{arctg}\frac{TH}{\sqrt{4R^2 - TH^2}}.$$

A következő lépés a "C, D" pontokon átmenő egyenes irányszögének " δ' " meghatározása az "A, B" pontok által adott "η" és erre merőleges "ξ" koordinátarendszerben a $\delta' = \mathrm{arctg}\dfrac{\xi_2 - \xi_1}{\eta_2 - \eta_1}$ képlettel. Ezután a tervezendő átmeneti ív köríveltolása:

(3.14)

$$\Delta R = \xi_2 - R(1 - \cos(\delta' + \beta)).$$

Az átmeneti ív hossza "L" valamint körívközéppont abszcissza értéke "X_0" (3.11) és (3.12) képletekkel való kiszámítása után, az átmenet ív kezdőpontjának távolsága az "A" ponttól:

(3.15)

$$TK = \eta_2 - R \cdot \sin(\delta' + \beta) - X_0 .$$

Az átmeneti ív kezdőpontjának "X, Y" koordinátáit a (3.6) képlet segítségével kaphatjuk meg, amelyben:

- η = TK;
- ξ = 0;
- $X_i = X_A$;
- $Y_i = Y_A$;
- δ: az egyenes irányszöge, amelyet már az első lépésben meghatároztunk.

Az átmeneti ív végének "A, B" egyenesre, mint főérintőre vonatkoztatott, az átmeneti ív elejétől számított relatív koordinátái "x, y" a (3.9) képlettel határozhatjuk meg. A behelyettesítéskor:

- l = L;
- p: az átmeneti ív paramétere, amit a (3.8) összefüggésből kapunk.

Az "AV" pont "X, Y" koordinátáihoz szintén a (3.6) képlet felhasználásával jutunk, amelyben az egyes változók értelmezése az alábbi:

- η = TK + x;
- ξ = y;
- a többi változó értéke megegyezik az "AE" pontnál leírtakkal.

A 2. számú alapeset az 1. számú tükörképe, ezért az előbb ismertetett számításmenet itt is alkalmazható, miután a köríven és az egyenesen megadott pontok sorrendjét felcseréltük és a sugár "R" előjelét a korábbi ellenkezőjére változtattuk.

4.2.1.3.2. A 3. és 4. számú alapeset számításának elve

A 3., 4. számú alapesetnél feladatunk két egyeneshez érintőlegesen csatlakozó tiszta körív vagy átmeneti íves körív főpontjai (IE, IV, AE, AV) "X, Y" koordinátáinak meghatározása. Ehhez az alábbi adatok állnak rendelkezésre (4.2.1.3.2-1.) ábra:

- a körívet vagy átmeneti íves körívet érintő első egyenes két pontjának koordinátái:

  A: X_A és Y_A,

  B: X_B és Y_B,

- a körívet vagy átmeneti íves körívet érintő második egyenes két pontjának koordinátái:

  C: X_C és Y_C,

  D: X_D és Y_D,

- a körív sugarának "R" előjeles értéke;

- 4. számú alapesetnél a bemenő és a kijövő átmeneti ív "p_1" és "p_2" paramétere.

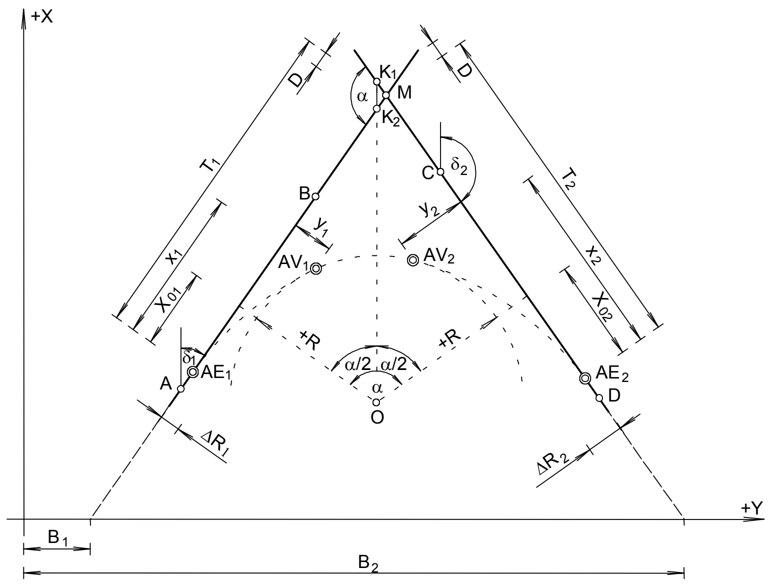
A két egyenes "δ_1" és "δ_2" irányszögének $\delta = \mathrm{arctg}\dfrac{Y_{i+1} - Y_i}{X_{i+1} - X_i}$ összefüggéssel való meghatározása után metszéspontjuk "X_M, Y_M" koordinátáit a következőképpen kapjuk:

$$Y_A = X_A \cdot \mathrm{tg}\delta_1 + B_1,\ \text{amelyből}\ B_1 = Y_A - X_A \cdot \mathrm{tg}\delta_1 \tag{3.16}$$

$$Y_C = X_C \cdot \mathrm{tg}\delta_2 + B_2,\ \text{amelyből}\ B_2 = Y_C - X_C \cdot \mathrm{tg}\delta_2$$

$$Y_M = X_M \cdot \mathrm{tg}\delta_1 + B_1 = X_M \cdot \mathrm{tg}\delta_2 + B_2,$$

$$X_M = \frac{B_2 - B_1}{\mathrm{tg}\delta_1 - \mathrm{tg}\delta_2}.$$



4.2.1.3.2-1.ábra.
A 3. és 4. alapeset számításának geometriai tartalma

A két egyenes egymással bezárt szöge "β":

$$\beta_1 = \delta_2 - \delta_1, \tag{3.17}$$

$$\text{ha}\ \beta_1 < 0°,\ \text{akkor}\ \beta = \beta_1 + 360°,$$

$$\beta_1 > 180°,\ \text{akkor}\ \beta = 360° - \beta_1,$$

$$\text{egyébként}\ \beta = \beta_1$$

Ezután az ív középponti szöge "α":

- ha pozitív szögpontú ívet tervezünk (α< 180°), akkor

$$\alpha=\beta$$

- ha negatív szögpontú ívet tervezünk (a> 180°), akkor

$$\alpha= 360° -\beta,\ \alpha'= \beta$$

Ezt követően a főpontok egyenesekre vonatkozó relatív koordinátáinak számításához szükségünk van az átmeneti ívek hosszára "L", köríveltolás "ΔR" és körívközéppont abszcissza "X_0" értékeire. Ezeket a kiindulási adatok (sugár és a paraméterek) felhasználásával rendre a (3.8), (3.10) és (3.12) összefüggések segítségével kaphatjuk meg.

A továbbiakban használt képletek "α" középponti szögtől függően a következők:

- ha α < 180°

$$D = \frac{\Delta R_1 - \Delta R_2}{\sin\alpha} \tag{3.18}$$

$$T_1 = X_{01} + (R + \Delta R_1)\cdot \mathrm{tg}\frac{\alpha}{2} - D$$
$$T_2 = X_{02} + (R + \Delta R_2)\cdot \mathrm{tg}\frac{\alpha}{2} + D \tag{3.19}$$

- ha α > 180°

$$D_N = \frac{\Delta R_1 - \Delta R_2}{\sin\alpha'} \tag{3.20}$$

$$T_1 = (R + \Delta R_1)\cdot \mathrm{tg}\frac{\alpha'}{2} - X_{01} - D_N$$
$$T_2 = (R + \Delta R_2)\cdot \mathrm{tg}\frac{\alpha'}{2} - X_{02} + D_N \tag{3.21}$$

Fenti képletekben használt jelölések értelmezése az alábbi:

- D illetve D_N: az átmeneti ívek különböző köríveltolásából adódó eltérés egyenesek irányába eső vetülete (4.2.1.3.2.-1. ábrán a "K_1 , M" és a "K_2 , M" pontok közötti távolság);
- T_1 , T_2: az egyenesek metszéspontjától az átmeneti ívek elejéig tartó távolságok (érintőhosszak). Tiszta körív esetén "T_1" = "T_2", mivel "X_0", "ΔR" és "D" egyaránt nulla.

Az átmeneti ívek végeinek egyenesekre vonatkoztatott, az átmeneti ív elejétől számított relatív koordinátái "x_1 , y_1 " és "x_2 , y_2 " a (3.9) képletbe helyettesítve kaphatjuk meg, amelyben:
- $l = L_1$, majd $l = L_2$;
- $p = p_1$, majd $p = p_2$.

Végül a főpontok "X, Y" koordinátáit a (3.6) összefüggéssel határozzuk meg, amelyben:

- $X_i = X_M$;
- $Y_i = Y_M$;

ha $\alpha < 180°$

- AE_1 , AE_2 ; IE, IV pontok esetén:

$$\eta = -T_1 \text{, illetve } \eta = +T_2 ;$$
$$\xi = 0;$$

- AV_1 , AV_2 pontok esetén:

$$\eta = x_1 - T_1 \text{, illetve } \eta = T_2 - x_2 ;$$
$$\xi = \pm y_1 \text{, illetve } \xi = \pm y_2 ,$$

ahol az előjelek a sugár előjele szerint alakulnak;

ha $\alpha > 180°$

- AE_1 , AE_2 ; IE, IV pontok esetén:

$$\eta = +T_1 \text{, illetve } \eta = -T_2 ;$$
$$\xi = 0;$$

- AV_1, AV_2 pontok esetén:

$$\eta = x_1 + T_1 \text{, illetve } \eta = -T_2 - x_2 \text{;}$$
$$\xi = \pm y_1 \text{, illetve } \xi = \pm y_2 \text{,}$$

ahol az előjelek a sugár előjele szerint alakulnak.

4.2.1.3.3. Az 5. és a 6. alapeset számításának elve

Az 5. számú alapesetnél két adott körív közötti átmeneti ív - egyenes - átmeneti ív mellékelemek helyzetét kell meghatározni az alábbi kiindulási adatok alapján:

- az első körív két pontjának koordinátái:

$$A: X_A \text{ és } Y_A,$$
$$B: X_B \text{ és } Y_B;$$

- az első körív sugarának "R_1" előjeles értéke;
- az első körívből kihaladó átmeneti ív paramétere "p_1";
- a második körív két pontjának koordinátái:

$$C: X_C \text{ és } Y_C,$$
$$D: X_D \text{ és } Y_D;$$

- a második körív sugarának "R_2" előjeles értéke;
- a második körívbe behaladó átmeneti ív paramétere "p_2".

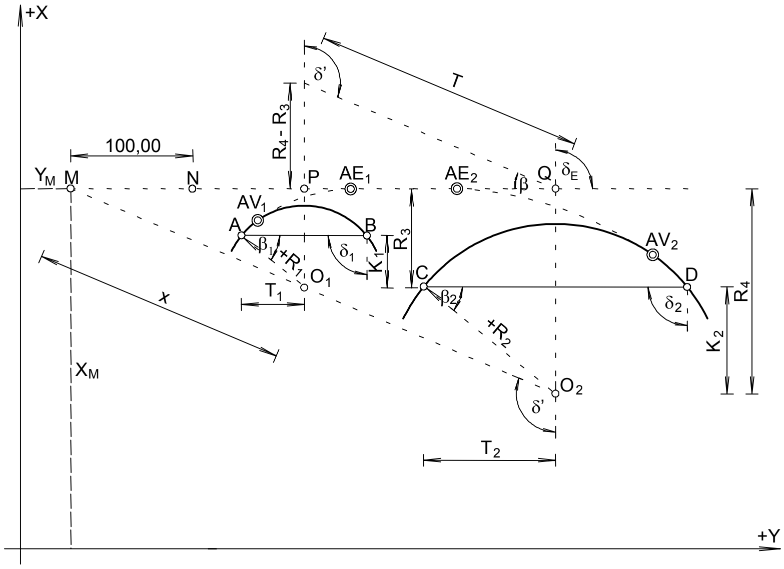
A feladat megoldása visszavezethető az 1. és a 2. számú alapesetre, miután a két ív közötti egyenes két pontját meghatároztuk (4.2.1.3.3-1. és 4.2.1.3.3-2. ábrák).

A két kör "O_1" és "O_2" középpontjának kiszámítása a következő lépésekben történik:

- a körívek húrjai és sugarai által bezárt szögek "β_1, β_2":

$$\beta_1 = \operatorname{arctg}\frac{\sqrt{R_1^2 - T_1^2}}{T_1},\ \beta_2 = \operatorname{arctg}\frac{\sqrt{R_2^2 - T_2^2}}{T_2}, \tag{3.22}$$

ahol "T_1" és "T_2" a körívek húrhosszainak felét jelenti;



4.2.1.3.3-1. ábra.
Az 5. alapeset számításának geometriai tartalma azonos irányú ívek esetén

- az "O_1, O_2" középpontok és a húrok merőleges távolságai:

$$K_1 = R_1 \cdot \sin\beta_1,\ K_2 = R_2 \cdot \sin\beta_2; \tag{3.23}$$

- a körívek húrjainak irányszögei "δ_1, δ_2" a $\delta = \mathrm{arctg}\dfrac{Y_{i+1} - Y_i}{X_{i+1} - X_i}$ képlettel kaphatók meg, behelyettesítve az ívek "A, B, C, D" pontjainak koordinátáit;

- az "O_1, O_2" középpontok "U_1, V_1" és "U_2, V_2" koordinátáihoz a (3.6) összefüggés felhasználásával juthatunk, amelyben:
  - $X = U_1$, illetve $X = U_2$;
  - $Y = V_1$, illetve $Y = V_2$;
  - $X_i = X_A$, illetve $X_i = X_C$;
  - $Y_i = Y_A$, illetve $Y_i = Y_C$;
  - $\eta = T_1$, illetve $\eta = T_2$;
  - $\xi = K_1$, illetve $\xi = K_2$;
  - $\delta = \delta_1$, illetve $\delta = \delta_2$.

Ezután számítható az "O_1 , O_2 " középpontokat összekötő egyenes irányszöge "δ' " az "U_1 , V_1 " és "U_2 , V_2 " koordináták $\delta = \mathrm{arctg}\dfrac{Y_{i+1} - Y_i}{X_{i+1} - X_i}$ képletbe való behelyettesítésével.

Ezt követően az átmeneti ívek keresett érintő egyenesének irányszögét valamint ezen érintő és az "O_1 , O_2 " középpontokat összekötő egyenes közös pontját határozzuk meg. Az eredményhez különböző módon juthatunk, attól függően, hogy azonos vagy ellenirányú íveket tervezünk.

Azonos irányú ívek esetén:

- "O_1, O_2" középpontok és a keresett érintő egyenes merőleges távolságai "R_3, R_4", amelyek "O_1, P" és "O_2, Q" szakaszok hosszának felelnek meg, a sugarak és a (3.10) képlettel megkapott köríveltolások "ΔR_1, ΔR_2" alapján (4.2.1.3.3-1. ábra):

$$R_3 = R_1 + \Delta R_1,\ R_4 = R_2 + \Delta R_2, \tag{3.24}$$

  ahol a sugarak abszolút értékével számolunk;

- az "O_2, M, Q" valamint az "O_1, M, P" háromszögek hasonlóságából felírható:

$$\frac{T + x}{R_4} = \frac{x}{R_3},\ \text{majd}\ \ x = \frac{T \cdot R_3}{R_4 - R_3}\ , \tag{3.25}$$

  ahol:
  - T: az "O_1, O_2" középpontok távolsága;
  - x: az első körív középpontja "O_1 " és a keresett metszéspont "M" távolsága;

- az "X_M , Y_M " keresett koordinátákat a (3.6) összefüggésbe az alábbiakat helyettesítve kapjuk:
  - $X = X_M$
  - $Y = Y_M$
  - $X_i = U_1$;

- $Y_i = V_1$;
- η = -x;
- ξ = nulla;
- $\delta = \delta'$.

- a keresett egyenes irányszöge "δ_E":

(3.26)

$$\beta = \mathrm{arctg}\frac{R_3 - R_4}{\sqrt{T^2 - (R_3 - R_4)^2}} \cdot (R_1 \text{ előjele}),$$

$$\delta_E = \delta' + \beta .$$

Ellenirányú ívek esetén:

- az "O_1, M, P", az "O_1, O_2, S" valamint az "O_1, M, Z" és a "O_1, O_2, H" háromszögek hasonlóságából felírható (4.2.1.3.3-2. ábra):

(3.27)

$$\frac{R_3}{R_3 + R_4} = \frac{t}{T}; \quad \frac{t}{T} = \frac{x}{U_2 - U_1}, \text{ ahonnan } \; x = \frac{R_3(U_2 - U_1)}{R_3 + R_4},$$

$$\text{majd ezek alapján } \; y = \frac{R_3(V_2 - V_1)}{R_3 + R_4};$$

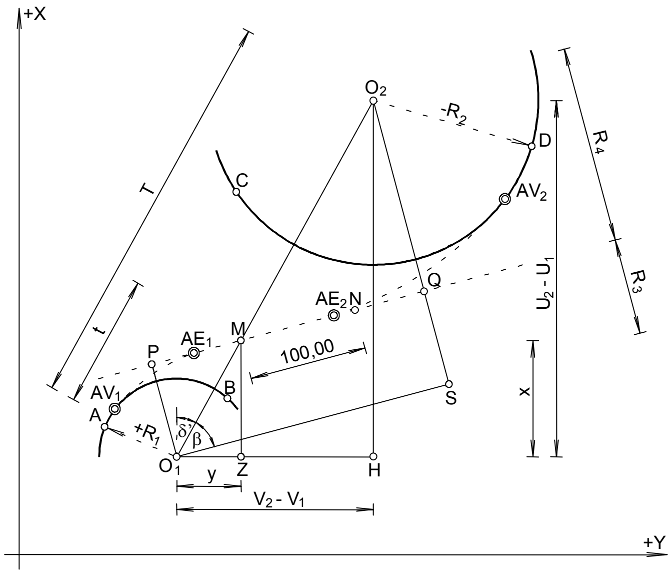
- az "M" metszéspont "X_M, Y_M" koordinátái az "x"-re és "y"-ra kapott képletek felhasználásával:

(3.28)

$$X_M = x + U_1, \; Y_M = y + V_1,$$

(3.29)

$$X_M = \frac{R_3 U_2 + R_4 U_1}{R_3 + R_4}, \; Y_M = \frac{R_3 V_2 + R_4 V_1}{R_3 + R_4};$$



4.2.1.3.3-2.ábra.
Az 5. alapeset számításának geometriai tartalma ellenirányú ívek esetén

- a keresett egyenes irányszöge "δ_E":

(3.30)

$$\beta = \mathrm{arctg}\frac{R_3 + R_4}{\sqrt{T^2 - (R_3 + R_4)^2}} \cdot (R_1 \text{ előjele})$$

$$\delta_E = \delta' + \beta .$$

Az érintő egyenesen lévő "N" pontot mindkét esetben az "M" metszésponttól tetszőleges távolságban vehetjük fel. A program 100,00 m-rel számol, így a keresett "X_N, Y_N" koordinátákat a (3.6) képlettel kaphatjuk meg. A behelyettesítésnél a változók a következőket jelentik:

- $X = X_N$
- $Y = Y_N$
- $X_i = X_M$;
- $Y_i = Y_M$;
- η = 100,00;
- ξ = nulla;
- $\delta = \delta_E$.

Ezután következhet a 2. majd az 1. számú alapeset, amelyek segítségével az első ívből kihaladó, majd a második ívbe behaladó átmeneti ívek "AV_1, AE_1, AE_2, AV_2" fő-pontjainak koordinátái meghatározhatók.

A 6. számú alapeset az 5. alapesetet használja fel annyi alkalommal, amennyi az átmeneti ívek "AE_1 , AE_2" pontjai közötti egyenes fokozatos nullára csökkentéséhez szükséges.

4.2.1.3.4. A 7. alapeset számításának elve

A 7. számú alapeset eltér a korábbiaktól, mert ennek célja csak az, hogy segítségével az azonos irányú íveket a köztük lévő rövid egyenes kiiktatásával összetoljuk. Ezt a tiszta körív sugarának megnövelésével érhetjük el, ezért legalább az egyiknek tiszta körívnek kell lenni. Az új sugarat "R'" az ívekhez húzott érintő egyenesek metszéspontjainak távolsága és a változatlanul hagyott ív érintőhossza alapján kapott új érintő "T'" felhasználásával az

$$R' = \frac{T'}{\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}}$$

összefüggéssel számítjuk.

4.3. Helyszínrajzi részletpontszámítás

Részletpontoknak nevezzük azokat az út tengelyén elhelyezkedő, egymástól meghatározott távolságra lévő pontokat, amelyek adatait kitűzésre készen kívánjuk ismerni.

4.3.1. A számítás elve

A számítások elvégzéséhez a sokszögpontok koordinátáján és a főpontszámítás eredményén kívül ismernünk kell a kitűzési, szelvényezési tömböt valamint a speciális pontokat. Ezek jelentése a következő:

- kitűzési tömbnek nevezzük azon adatok halmazát, amelyben megadjuk, hogy mely szelvényig bezárólag kívánjuk az úttengelyt valamely sokszögoldalról (alapvonalról) kitűzni;

- szelvényezési tömbnek nevezzük azon adatok halmazát, amelyben megadjuk, hogy egyenesben, illetve ívekben milyen távolságra legyenek egymástól a kitűzendő pontok;
- speciális pontoknak nevezzük azon adatok halmazát, amelyben megadjuk azon pontok nevét és szelvényét, amelyeket szintén ki szeretnénk tűzni.

A számításokat két lépésben végezzük el. Először a szelvényezési tömb és a speciális pontok figyelembevételével a részletpontok "X, Y" koordinátáit, majd a kitűzési tömb felhasználásával a sokszögvonal oldalaira vonatkozó "η ξ" relatív koordinátáit határozzuk meg.

4.3.1.1. Felhasznált eljárások

A pontok "X, Y" koordinátáit a pontok jellegétől függően különböző eljárásokkal számítjuk:

a.) Egyenesben a (3.6) képlettel, amelyben az egyes változók a következőket jelentik:

$$X = X_i + \eta \cdot \cos\delta - \xi \cdot \sin\delta, \qquad (3.6)$$
$$Y = Y_i + \eta \cdot \sin\delta + \xi \cdot \cos\delta,$$

- X_i, Y_i : a körívből kijövő átmeneti ív eleje "AE", illetve tiszta körívnél ív vége "IV" pont "X, Y" koordinátái;
- η: a kitűzendő és az "AE" vagy "IV" pontok szelvényértékei közötti különbség;
- ξ: nulla;
- δ: a két ív közötti egyenes irányszöge.

b.) Átmeneti ívben először a részletpontok két ív közötti egyenesre vonatkoztatott, "AE" ponttól számított "x, y" relatív koordinátáit a (3.9) képlettel kapjuk, ahol:

$$x = l - \frac{l^5}{40p^4} + \frac{l^9}{3456p^8}, \quad y = \frac{l^3}{6p^2} - \frac{l^7}{336p^6} + \frac{l^{11}}{42240p^{10}}, \qquad (3.9)$$

- p: először a körívbe behaladó, majd az abból kihaladó átmeneti ív paramétere;
- l: az átmeneti ív elejei és a kitűzendő pontok szelvényértékei közötti különbség.

Ezek után a részletpontok "X, Y" koordinátáit az a.) ponthoz hasonlóan kapjuk annyi különbséggel, hogy "η, ξ" helyébe ebben az esetben a körívet megelőző átmeneti ívnél "x, y", a körívet elhagyó átmeneti ívnél "x, -y" helyettesítendő. A kihaladó átmeneti ívnél "δ" értékének az "AE" pont és a következő ív "AE" vagy "IE" pontja közötti egyenes irányszögének 180°-al megnövelt értékét vesszük figyelembe. Erre azért van szükség, mert itt a szelvényezési iránnyal ellentétesen történik a pontok "X, Y" koordinátáinak meghatározása.

c.) Átmeneti íves köríven, a köríves szakaszon lévő részletpontok esetén a körívközéppont abszcissza "X_0 " és köríveltolás "ΔR" értékek kiszámítása (3.8), (3.10) és a (3.12) összefüggésekkel történik. Ezek után a b.) ponthoz hasonlóan az egyenesre vonatkozó, "AE" ponttól számított "x, y" relatív koordinátáit az alábbi képletekkel kapjuk:

$$\alpha_k = \frac{\Delta IH}{R} + \tau ; \tag{3.31}$$

$$x = R \cdot \sin\alpha_k + X_0 , \; y = R \cdot (1 - \cos\alpha_k) + \Delta R . \tag{3.32}$$

ahol:

- ΔIH: a körívpontok és az átmeneti ív vége főpont szelvényezési értékeinek különbsége;
- τ: az átmeneti ív félhosszához tartozó középponti szög;
- α_k : a "ΔIH" hosszúságú körívhez és az átmeneti ív félhosszához tartozó középponti szögek összege.

Az "X, Y" koordináták meghatározása a b.) pontban leírt behaladó átmeneti ív szerint történik.

- a részletpontok sokszögvonal oldalaira vonatkozó "η, ξ" relatív koordinátáit a (3.7) képlettel kapjuk.

$$\begin{aligned} \eta &= (X - U) \cdot \cos\delta + (Y - V) \cdot \sin\delta , \\ \xi &= (Y - V) \cdot \cos\delta - (X - U) \cdot \sin\delta \end{aligned} \tag{3.7}$$

Az egyes változók a következőket jelentik:
- U, V: a sokszögoldal kezdőpontjának koordinátái;
- X, Y: a részletpontok koordinátái;
- δ: a sokszögoldal irányszöge.

4.4. Hossz-szelvény számítások

A helyszínrajzi tengely pontjainak magassági meghatározása után a hossz-szelvény terepvonalát készítjük el és jelenítjük meg AutoCAD-ben. A magassági vonalvezetés tervezését a helyszínrajzhoz hasonlóan végezzük. A vízszintes vonalvezetéshez hasonlóan a magassági vonalvezetés is egyenesekből (egyenlejtésű egyenesekből) és ívekből áll. Az egyenlejtésű egyenesek és a lekerekítő ívek grafikus megtervezését követően először a főpontszámítást és a szükséges ellenőrzéseket, majd a részletpontszámítást végezzük el.

4.4.1. Hossz-szelvény terepvonala

A hossz-szelvény elkészítéséhez szükségünk van az egyes helyszínrajzi tengelypontok magassági adataira. Meghatározásukra két lehetőség adódik:

- a magassági adatok kiszámítása terepmodell segítségével,
- a tengelypontok terepi kitűzése után szintezéssel.

Az első variációt az előtervezésnél, a másodikat a pontos tervezésnél használjuk fel.

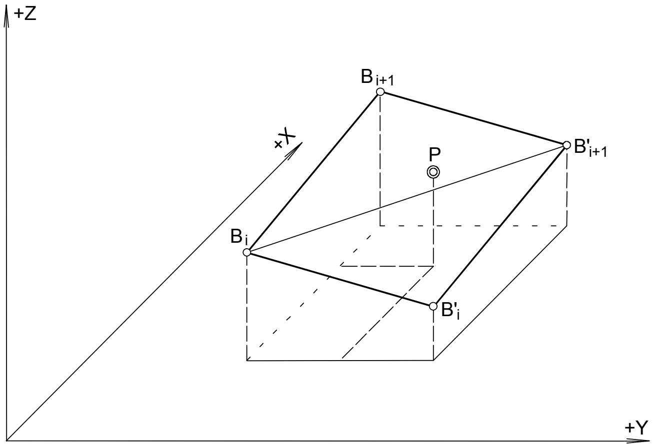
4.4.1.1. Számítás elve a terepmodell felhasználásával

A terepmodell készítésének lehetőségei:

a) a semleges vonal pontjaiban mért terephajlás alapján létrehozott négyszögháló;
b) a mért tereppontokból előállított szabálytalan háromszögháló.

a) Négyszögháló

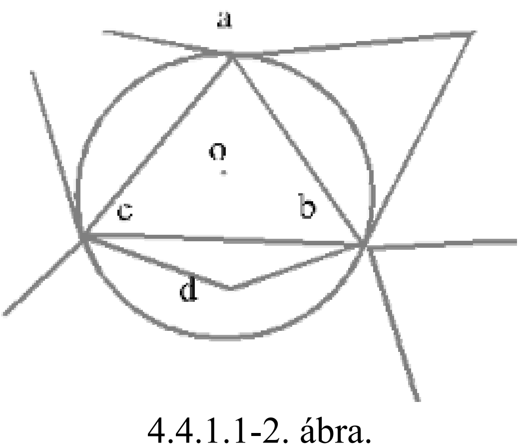
Az "i"-edik és "i+1"-edik semleges vonal pont, valamint az ezektől a haladási iránynak megfelelően jobbra 10,00 m-re a sokszögoldalra merőlegesen elhelyezkedő pontok (B_i, B_{i+1}, B_i', B_{i+1}') három koordinátájukkal meghatározhatók a semleges vonal pontjai közötti esés vagy emelkedő, valamint a pontokban mért terepkeresztdőlés százalékos értékeinek segítségével. A pontok elhelyezkedését a 4.4.1.1-1. ábra. mutatja be.



4.4.1.1-1. ábra.
A terepmodell térbeli helyzete

b) Szabálytalan háromszögháló

A terepi mérések során a mérőállomással a sokszögvonal és semleges vonal pontjainak bemérésén kívül, a semleges vonalra közel merőlegesen felvesszük a terepet. A mérőállomás adatainak kiértékelése után a három koordinátával adott tereppontokra egy szabálytalan háromszögháló generálható (pl.: maCADam program). A TIN modellek előnye a rácshálós alkalmazással szemben az, hogy a tér szélsőséges irányváltoztatásait kisebb hibával tudják követni. A TIN modell létrehozásához általában a Delaunay (ejtsd: Döloné) féle háromszögelést használják. A Delaunay feltételeknek a TIN modellben azok a háromszögek tesznek eleget, amelyeknek egy kör megy át a három csúcspontján (a modell csomópontjain) és ezeken a pontokon belül nincs további csomópont.



4.4.1.1-2. ábra.
A Delaunay feltételeknek megfelelő "a, b, c" háromszög.

4.4.1.1.1. Tengelypontok magasságának számítása a terepmodellen

A tengelypontok magasságának meghatározása a térbeli háromszögön belül mind a két típusú terepmodellen azonosan történik, miután kiválasztottuk azt a háromszöget amelyen belül a keresett magasságú pont van. A négyszögháló esetében a két koordinátájával adott pont ($P(X_P, Y_P)$) magasságának számítása a következő lépésekben történik (4.4.1.1.1 -1. ábra.):

- meg kell állapítani, hogy a tengelypont melyik két Boose-pont között helyezkedik el;
- magasság kiszámítása a "B_i, B_i', B_{i+1}' " pontokra helyezett sík felhasználásával;
- magasság kiszámítása a "B_i, B_{i+1}, B_{i+1}' " pontokra helyezett sík segítségével;
- a tengelypont ($P(X_P , Y_P)$) magassága az előbbi két magasság átlagaként adódik, amelyet a tengelypont "B_i, B_i' " és a "B_{i+1}, B_{i+1}' " szakaszok vízszintes vetületétől számított távolságaival súlyozunk.

A számításokhoz az alábbi eljárásokat és képleteket használjuk:

- a terepmodell pontjainak felhasználása a tengelypontok és a "B_{i+1}', B_{i+1} " pontokon átmenő egyenesek vízszintes vetületei közötti távolságok segítségével történik, amelyeket a (3.7) összefüggéssel számítunk ki. Ennek alkalmazásakor csak "ξ" értékére van szükségünk. Ha a kapott érték negatív, akkor a tengelypont magasságát a "B_i, B_i', B_{i+1}, B_{i+1}' ", ha pozitív a "B_{i+1}, B_{i+1}', B_{i+2}, B_{i+2}' " pontok között határozzuk meg.
- a "$B_i(X_1, Y_1, Z_1)$, $B_i'(X_2, Y_2, Z_2)$, $B_{i+1}'(X_4, Y_4, Z_4)$" pontok alkotta sík paraméteres egyenletrendszere (Moór, 1977):

$$
\begin{aligned}
X_P &= X_1 - U(X_1 - X_2) + V(X_4 - X_2) \\
Y_P &= Y_1 - U(Y_1 - Y_2) + V(Y_4 - Y_2), \\
Z_P &= Z_1 - U(Z_1 - Z_2) + V(Z_4 - Z_2),
\end{aligned}
\tag{3.33}
$$

amelyből "U" és "V" kifejezése, majd a harmadik egyenletbe való behelyettesítése után "$P(X_P ,Y_P ,Z_P)$" tengelypont első magassága "Z_{P1} ":

$$
Z_{P1} = \frac{-M_1(X_P - X_1) - M_2(Y_P - Y_1) + M_3 Z_1}{M_3},
\tag{3.34}
$$

ahol "M_1, M_2, M_3 " értékek a következő képletekkel kaphatók:

$$
\begin{aligned}
M_1 &= (Y_1 - Y_2)(Z_4 - Z_2) - (Y_4 - Y_2)(Z_1 - Z_2) \quad , \\
M_2 &= (X_4 - X_2)(Z_1 - Z_2) - (X_1 - X_2)(Z_4 - Z_2), \\
M_3 &= (X_1 - X_2)(Y_4 - Y_2) - (Y_1 - Y_2)(X_4 - X_2).
\end{aligned}
\tag{3.35}
$$

- a "$B_i(X_1, Y_1, Z_1)$, $B_{i+1}(X_3, Y_3, Z_3)$, $B_{i+1}'(X_4, Y_4, Z_4)$" pontokra helyezett síkon a keresett "Z_{P2}" második magasság szintén a (3.34) képlettel számítható, amelybe "M_1, M_2, M_3" helyett "D_1, D_2, D_3" értékeket helyettesítünk az alábbiak szerint:

(3.36)

$$D_1 = (Y_1 - Y_3)(Z_4 - Z_3) - (Y_4 - Y_3)(Z_1 - Z_3) \ ,$$
$$D_2 = (X_4 - X_3)(Z_1 - Z_3) - (X_1 - X_3)(Z_4 - Z_3),$$
$$D_3 = (X_1 - X_3)(Y_4 - Y_3) - (Y_1 - Y_3)(X_4 - X_3).$$

- a "P" pont magassága "Z_P" a terepmodell alapján:

(3.37)

$$Z_P = \frac{T_2 \cdot Z_{P1} + T_1 \cdot Z_{P2}}{T_1 + T_2},$$

ahol:
- T_1 : a "$P(X_P, Y_P)$" pont távolsága a "B_i, B_i ' " szakasz vízszintes vetületétől;
- T_2 : a "$P(X_P, Y_P)$" pont távolsága a "B_{i+1}, B_{i+1}' " szakasz vízszintes vetületétől.

4.4.2. Hossz-szelvény főpontszámítás

Ez a számítási lépés a grafikusan megtervezett magassági vonalvezetés töréspontjainak, illetve a magassági lekerekítő ívek eleje "LE" és vége "LV" szelvényértékének és magasságának meghatározására szolgál. A töréspontokat, valamint a magassági lekerekítő ívek eleje "LE" és vége "LV" pontjait a magassági vonalvezetés főpontjainak nevezünk.

4.4.2.1. A számítás elve

A grafikusan megtervezett egyenlejtésű egyeneseket metszésre hozva egy magassági sokszögvonalat kapunk. Ennek felhasználásával a hossz-szelvény főpontjainak számítása az alábbiak szerint történik:

a.) Amennyiben két egymást követő egyenlejtésű egyenes töréskülönbsége az 1,00%-ot meghaladja, magassági lekerekítő ívet tervezünk. A számítás az esésváltoztató módszerrel a következők szerint történik (4.4.2.1.1-1. ábra.):

- az egyenlejtésű egyenesek esését vagy emelkedését, valamint egy pontjának szelvényezési értékét és magasságát megadva meghatározható a két egymást követő sokszögoldal metszéspontjának szelvényezési értéke és magassága;
- a két oldal közötti töréskülönbség és a tervezendő lekerekítő ív vetületi hossza alapján az esésváltoztatás százalékos értékét, valamint a rövid egyenlejtésű szakaszok hosszát megadva, a számítható a lekerekítő ív sugara és hossza, valamint a burkoló sokszög elejének "LE" és végének "LV" szelvényezési értéke és magassága.

b.) Ha az egymást követő vertikális sokszögoldalak közötti töréskülönbség kisebb 1,00%-nál, akkor elegendő csak a metszéspont meghatározása, amelyet beszelvényezett pontba is tehetünk. Ekkor csak a töréspont magasságát kell kiszámítani.

4.4.2.1.1. Felhasznált eljárások

A főpontok meghatározása a következő képletekkel történik (4.4.2.1.1-1. ábra):

- két egymást követő egyenlejtésű egyenes metszéspontjának szelvényezési értékét "x_S" és magasságát "z_S" az alábbi összefüggésekkel kapjuk:

(3.38)

$$x_S = \frac{z_2 - z_1 + x_1 e_1 - x_2 e_2}{e_1 - e_2}, \quad z_S = z_1 + (x_S - x_1) e_1,$$

amelyben:

- x_1, x_2 valamint z_1, z_2: az egymást következő két egyenlejtésű egyenes egy-egy pontjának szelvényezési értékei és magasságai;
- e_1, e_2: a két egyenlejtésű egyenes emelkedés vagy esés értéke viszonyszámban kifejezve (e=e% / 100), amelynek előjele emelkedőnél "+" lejtőnél "-".

- lekerekítő ív sugara "R":

(3.39)

$$R = \frac{100}{e_0\%} \cdot a,$$

ahol:

- a: az ív burkolósokszögének oldalhossza;

- e_0%: az esésváltoztatás értéke, amelynek előjele domború lekerekítésnél pozitív, homorúnál negatív. Ez egyben a sugár "R" előjelét is meghatározza.

- a (3.38) és a (3.39) képletekben használt jelölések alapján a lekerekítő ív felének vetülete ill. jó közelítéssel fél ívhossza "T":

(3.40)

$$T = \left| \frac{R(e_1 - e_2)}{2} \right| .$$

- a (3.38) összefüggéssel számított metszéspont szelvényértékét "x_S" felhasználva, a lekerekítő ív elejének és végének szelvényezési értéke "x_{IE}, x_{IV}":

(3.41)

$$x_{IE} = x_S - T, \quad x_{IV} = x_S + T .$$

- az "i"-edik lekerekítő ívet helyettesítő burkolósokszög oldalainak száma "n_i ", a sokszög hossza "H_i ", valamint kezdetének és végének szelvényezési értéke és magassága "$x_{LE(i)}$, $x_{LV(i)}$, $z_{LE(i)}$, $z_{LV(i)}$ ":

(3.42)

$$n_i = \left| \frac{(e_{1(i)} - e_{2(i)}) - e_{0(i)}}{e_{0(i)}} \right| ; \quad H_i = n_i \cdot a_i ;$$

(3.43)

$$x_{LE(i)} = x_{IE(i)} + \frac{a_i}{2}; \quad x_{LV(i)} = x_{IV(i)} - \frac{a_i}{2};$$

(3.44)

$$z_{LE(i)} = z_{LV(i-1)} + (x_{LE(i)} - x_{LV(i-1)}) e_{1(i)};$$

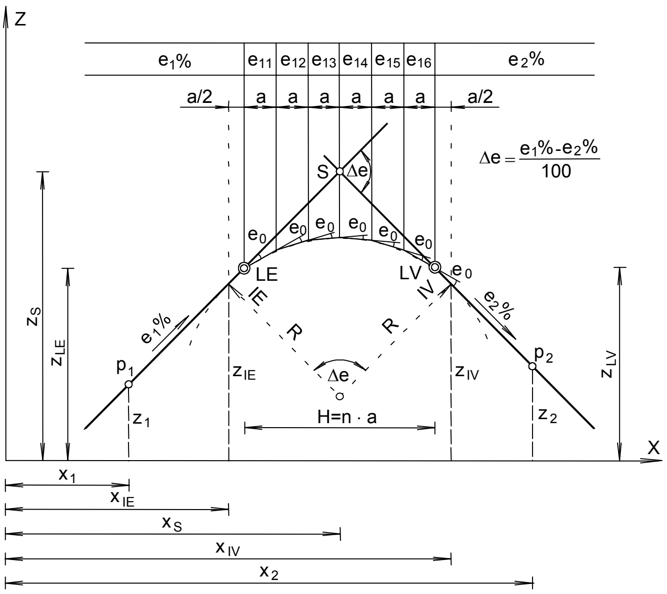
$$z_{LV(i)} = z_{LE(i)} + \sum_{k=1}^{n_i} el_k \cdot a_i \text{ , ahol } el_k = el_{k-1} - e_{0(i)},\ el_0 = e_{1(i)} \text{ és}$$

"k" értéke 1-től "n_i"-ig megy.

A (3.42), (3.43) és a (3.44) képletekben használt jelölések értelmezése a következő:

- $e_{1(i)}$, $e_{2(i)}$: az "i"-edik lekerekítő ívet érintő két egyenlejtésű egyenes esés vagy emelkedő értéke viszonyszám formájában megadva;
- $x_{LV(i-1)}$, $z_{LV(i-1)}$: az "i"-edik lekerekítő ívet megelőző lekerekítés vége pontjának szelvénye és magassága;

- $x_{IE(i)}$, $x_{IV(i)}$: az "i"-edik lekerekítő ív elejének és végének szelvényezési értéke;
- el_k : a "k"-adik sokszögoldal esés illetve emelkedő értéke viszonyszámban kifejezve;
- a_i : a burkolósokszög egy oldalának hossza;
- $e_{0(i)}$: az esésváltoztatás mértéke viszonyszám formában megadva (előjele domború lekerekítésnél "+" homorúnál "-").



4.4.2.1.1-1. ábra.
Magassági lekerekítő ív az esésváltoztató módszerrel

4.4.2.1.2. Adatmegadás az esésváltoztató módszerhez

A megadás az esésváltoztató módszernek megfelelő módon az alábbiak szerint történik:

- berajzoljuk a terepvonalhoz a céljainknak legmegfelelőbb futású lekerekítő ívet;
- meghatározzuk az érintési pontok "IE, IV" közötti vízszintes távolságot (x_{IE} - x_{IV});
- megválasztjuk "e_0" értékét úgy, hogy a két magassági sokszögoldal közötti töréskülönbséget (Δe) "e_0"-al osztva kerek értéket kapjunk "n_0";
- számítjuk a helyettesítő burkoló sokszög oldalainak azonosnak vett "a" hosszát az "(x_{IE} - x_{IV}) / n_0" kifejezéssel.

"e_0" század százalék pontossággal az esésváltoztatás értéke. Előjele domború lekerekítésnél pozitív homorúnál negatív. Az "a" hosszt páros cm pontossággal adjuk meg.

4.4.3. Hossz-szelvény részletpontszámítás

Ez a számítási lépés az úttengely pontjai magasságának a tervezett magassági vonalvezetés szerinti meghatározására szolgál.

4.4.3.1. A számítás elve

Az egyes szelvénypontokban a pálya magasságának számítása kétféleképpen történik:

- **az egyenlejtésű egyenes két főpont közötti szakaszán**, az előző már meghatározott magasságú pontból, a szelvénykülönbség és az emelkedő vagy lejtő érték alapján;
- **lekerekítő ívnél**
  - esésváltoztató módszernél a helyettesítő burkolósokszög egyenlő hosszúságú oldalai és az esésváltozással (e_0) módosított emelkedő vagy lejtőértékük alapján;
  - parabola képlet segítségével.

A részletpontok meghatározása során a főpontokat is újra kiszámítatjuk, lehetőséget biztosítva ezzel az ellenőrzésre.

4.4.3.1.1. Felhasznált eljárások

A részletpontszámítás az alábbi összefüggések felhasználásával történik:

- **a magassági sokszögoldal főpontok közötti szakaszán** az "n"-dik szelvénypontban a pálya magassága "z_n":

$$z_n = z_{n-1} + (s_n - s_{n-1}) \cdot \frac{e_i\%}{100}, \qquad (3.45)$$

ahol:
- $e_i\%$: az "i"-edik egyenlejtésű szakasz emelkedő (+) vagy esés (-) értéke százalékban;
- s_{n-1}, s_n : az "n-1"-edik és "n"-edik tengelypont szelvényezési értéke;
- z_{n-1} : az előző pontban a pálya magassága.

- **lekerekítő ívben:**

esésváltoztató módszernél:
- az "i"-edik egyenlejtésű szakasz (e_i%) utáni lekerekítő ívet helyettesítő burkolósokszög "n_j"-edik oldalán lévő "k"-adik szelvénypontban "$s_{LP(k)}$" a pálya magassága "$z_{LP(k)}$":

(3.46)

$$el_j\% = el_{j-1}\% - e_0\%,\ (j = 1 \text{ esetén } el_0\% = e_i\%);$$

$$Z_{LP(j)} = Z_{LP(j-1)} + \frac{el_j\%}{100}\cdot a,\ (j = 1 \text{ esetén } Z_{LP(0)} = z_{LE});$$

$$S_{LP(j)} = x_{LE} + n_j \cdot a;$$

$$z_{LP(k)} = Z_{LP(j)} + (s_{LP(k)} - S_{LP(j)})\cdot\frac{el_j\%}{100}.$$

A jelölések értelmezése a következő:
- $S_{LP(j)}$, $Z_{LP(j)}$: a burkolósokszög "j"-edik oldalának végét jelentő töréspont szelvényértéke és magassága;
- $Z_{LP(j-1)}$: a "j-1"-dik sokszögoldal végének magassága;
- x_{LE} , z_{LE} : a lekerekítés elejének (sokszög első töréspontja) szelvényezési értéke és magassága;
- el_{j-1} %, el_j %: a "j-1"-dik és a "j"-edik sokszögoldal emelkedésének (+) vagy esésének (-) százalékos értéke;
- e_0 %: az esésváltoztatás mértéke (domború lekerekítésnél "+" homorúnál "-");
- a: a burkolósokszög egy oldalának hossza.

Parabolaképlettel:
- a lekerekítő ív elejének és végének szelvényezési értékét és magasságát az esésváltoztató módszerhez hasonlóan határozzuk meg annyi különbséggel, hogy az érintőkből nem vonjuk le az a/2 értéket. Az íven bármely pont magasságát úgy kapjuk, hogy először meghatározzuk a keresett szelvényértékű pont magasságát az egyenesen, majd a

$$y = \frac{x^2}{2R}$$

parabola képlettel számolva az "y" magasságkülönbséget az előbbi magasságból levonva vagy ehhez hozzá adva kapjuk az íven a pályamagasságot.

4.5. Szélesítés- és túlemelés-kifuttatás számítása

A számítás célja a kifuttatás kezdete "KK" és vége "KV" szelvényezési értékének valamint a szélesítés és túlemelés mértékének meghatározása a helyszínrajzi ívekhez kapcsolódóan. Erre a földtömegszámítás munkarészben a keresztszelvények töréspontjainak, valamint a bevágási és töltési területeinek kiszámításához van szükség.

4.5.1. A számítás elve

A helyszínrajzon megtervezett ívek szélesítés- és túlemelés-kifuttatásának számítását a burkolat szélességének és az egyenesben alkalmazott oldalesésének megadását követően az alábbi elvek és sorrend alapján hajtjuk végre:

- a szélesítés és a túlemelés (egyoldalú esés %) maximális értékének meghatározása a szélesítés és túlemelés táblázatokból szélesítésnél a sugár és a középponti szög függvényében, túlemelésnél csak a sugár alapján történik;
- a szélesítés kifuttatását tiszta köríveknél "2R" sugarú előívvel, klotoid átmeneti ívvel rendelkező köríveknél az átmeneti ív hosszán lineárisan oldjuk meg;
- a túlemelés kifuttatását a pályafél tengelyben lévő pályaszint körüli forgatásával a szélesítés kifuttatásának hosszán végezzük;
- ha a szélesítés kifuttatásának hosszán a külső pályaszél relatív hosszesése I.oszt. útnál az 1,0%-ot, II. oszt. útnál a 1,5%-ot meghaladja, akkor a túlemelés kifuttatásának hosszát ezeknek a határértékeknek a felhasználásával számítjuk, amit klotoid átmeneti íves köríveknél az átmeneti ív vége ponthoz csatlakoztatunk, tiszta köríveknél 1/4-ét ívbe 3/4-ét egyenesbe helyezzük;
- 250,00 m-nél nagyobb sugár esetén szélesítést nem veszünk figyelembe. A túlemelés kifuttatásához szükséges hosszt ebben az esetben a külső pályaszél 1,0%-os relatív hosszeséséből számoljuk ki, amelynek felét az ívbe felét az egyenesbe helyezzük. II. oszt. út esetén, ha az így kapott hossz nem férne el, akkor az előbbi 1,0% helyett a 1,5%-os határértékkel számolunk.

A haladási iránynak megfelelően az első ívből kivezető és a második ívbe behaladó kifuttatási szakaszt számítjuk egy menetben a következők figyelembevételével:

a.) Ellenirányú ívek esetén meg kell vizsgálni, hogy elegendő egyenes szakasz áll-e rendelkezésre a kifuttatáshoz. Inflexiós ellenirányú íveknél, ha egyenesben tetőszelvény van, nyeregátmenetet nem alakítunk ki, hanem a "0%"-os dőlést az inflexiós pontba helyezve a pályát átbillentjük a második ívben megkívánt túlemelésbe.
b.) Azonos irányú íveknél, ha a kifuttatási hosszak 10m-rel megnövelt értékénél kisebb egyenes szakasz van két ív között, akkor az első ívből való kihaladás után nem állítjuk vissza a két pályafelet az egyenesnek megfelelő dőlésbe. Amennyiben az első ívhez tartozó szélesítés vagy túlemelés a nagyobb, akkor az ehhez tartozó kifuttatási hosszon alakítjuk ki a második ívben megkívánt értéket. Ha a második ív szélesítése vagy túlemelése a nagyobb, akkor az első ív értékeit a második ív kifuttatás eleje pontjáig megtartjuk és az átfuttatási szakaszt ehhez az ívhez kapcsoljuk.
c.) Ha a két ív közötti egyenes szakasz fentieknél hosszabb, akkor a két ív kifuttatását egymástól függetlenül számítjuk.

4.5.1.1. Felhasznált eljárások

A túlemelés és szélesítés kifuttatásának számításához a következő értékeket kell meghatározni:

- külső pályafél túlemelése;
- minimális kifuttatási hossz;
- szélesítés kifuttatásának hossza tiszta körív esetén;
- túlemelés és szélesítésértékek a kifuttatási szakaszban.

Külső pályafél túlemelése (m_{max}):

a.) Ha az egyenesben tetőszelvény van, vagy ha az alkalmazott egyirányú oldalesés ellentétes az ívben megkívánt keresztdőlés irányával:

(3.47)

$$m_{max} = B \cdot \frac{(q\% + d\%)}{200}.$$

b.) Ha az egyenesben alkalmazott egyirányú oldalesés azonos az ívben megkívánt keresztdőlés irányával:

(3.48)

$$m_{max} = B \cdot \frac{(q\% - d\%)}{200}.$$

Minimális kifuttatási hossz (T_m):

a.) Ha az egyenesben tetőszelvény van, vagy ha az alkalmazott egyirányú oldalesés ellentétes az ívben megkívánt keresztdőlés irányával:

(3.49)

$$T_m = B \cdot \frac{(q\% + d\%)}{2e_r\%}.$$

b.) Ha az egyenesben alkalmazott egyirányú oldalesés azonos az ívben megkívánt keresztdőlés irányával:

(3.50)

$$T_m = B \cdot \frac{(q\% - d\%)}{2e_r\%}.$$

Fenti képletekben használt jelölések az alábbiak:

- B: a burkolat szélessége;
- q%: az ívben megkívánt keresztdőlés;
- d%: az egyenesben alkalmazott egyirányú oldalesés vagy tetőszelvény dőlése;
- e_r%: a külső pályafél relatív hosszesése.

Tiszta körív szélesítés-kifuttatásánál az alkalmazott 2R sugarú előív vetületének hossza (T):

(3.51)

$$R_b = R - (B/2 + \Delta B),\ \Delta R_b = \Delta B,$$
$$T = 2 \cdot \sqrt{2R_b \cdot \Delta R_b - \Delta R_b^{\,2}},$$

ahol:
- R_b: a szélesített belső burkolatszél sugara;
- ΔR_b: a 2R sugarú előív köríveltolása;
- ΔB: az ívben megkívánt szélesítés maximális értéke.

A kifuttatási szakaszba eső tengelypontokban a szélesítés "ΔB_i" és túlemelés "m_i" értékeit a kifuttatás kezdőpontjától számított távolság függvényében lineárisan határozzuk meg.

4.6. Földtömegszámítás

A keresztszelvények bevágási és töltési területeinek számításához ismernünk kell az egyenesben lévő mintakeresztszelvény adatait. A pontos tervezésnél ezen kívül a hossz-szelvénybe meg kell tervezni a kiegyenlített árokfenék vonalat. Az árokfenék-pontok grafikus kiegyenlítése után az egyes szelvények árokfenék magasságai az egyenlejtésű árokfenék-szakasz kezdő és végpontjának magassága alapján számíthatók.

Az eddig ismertetett eljárásokkal kapott eredmények alapján a keresztszelvények és a földtömegszámítás elkészíthető, ami lehetővé teszi a tervváltozatok összehasonlítását. A kiválasztott variációban rámutat azokra a szakaszokra, amelyek módosításával előnyösebb megoldáshoz jutunk. A számítás pontossága az alapadatoktól függ. A keresztszelvények terepvonalait az előtervezés fázisában a terepmodell segítségével állítjuk elő. A pontos tervezésnél ezt a terepen kitűzött tengelyvonal pontjaiban a tengelyre merőleges terepfelvétellel (pl.:staflival) kapjuk meg. Ha még a semleges vonal felvételével együtt a terep jellemző töréspontjait a tervezéshez szükséges szélességben (20-20 m) mérőállomással bemértük, akkor az ennek felhasználásával készített terepmodell a földtömegszámításhoz kellő pontosságot biztosít.

4.6.1. A számítás elve

A keresztszelvények terepvonalai és az egyenesben lévő mintakeresztszelvény földműre - föld-műszintre vagy kiegyenlítő földműszintre - vonatkozó adatai, a kiegyenlített árokfenék-szintek, valamint a korábban már létrehozott eredmények alapján számítjuk a beszelvényezett tengelypontokhoz tartozó keresztszelvények közelítő bevágási és töltési területeit. Ezt követően a szelvényterületek és a szelvények közötti távolságok felhasználásával meghatározzuk a töltési, bevágási földtömegeket. Ha szelvények között keletkező hiányzó és felesleges földtömegeket előjel helyesen összegezzük és hossz-szelvény szerűen ábrázoljuk, akkor a földmozgatási diagrammot kapjuk. Ennek felhasználásával a magassági vonalvezetésen módosítva kedvezőbb földtömegeloszlás érhető el. A végrehajtás lépései a következők:

a) A földmű koronaszélességét, a módosított árokmélységet (pontos tervezésnél kiegyenlített árokfenék magasság), a rézsűk hajlását és a humuszvastagságot megadva a területszámítás végrehajtható. Először a műszelvény és a humusz szintje közötti területet a tengelytől jobbra majd balra trapézokra és háromszögekre bontjuk, meghatározva

csúcspontjaik magasságát valamint tengelytől mért távolságát. Ezek alapján a geometriai idomok területei számíthatók és összegezhetők, amelyek a töltési és a bevágási területeket jelentik.
A másik lehetőség az, hogy a húros planiméter elvének megfelelően egymástól kis távolságra (pl.:1 mm) lévő párhuzamos vonalakkal trapézokra bontjuk a meghatározandó szelvényeket, majd ezek területét összegezzük.

b) A töltési területek 10%-al történő növelését követően a szomszédos területek összegét a szelvények közötti távolság felével szorozva a közelítő földtömeget kapjuk. Átmeneti test - egy teljes bevágásban lévő szelvényt egy teljes töltésben lévő követ, vagy fordítva - esetén a földtömeg az átmeneti pont előtti és utáni részből tevődik össze.

4.6.1.1. Felhasznált eljárások

A földtömeg kiszámítása az alábbi képletekkel történik:

- két egyenes metszéspontjának tengelytől számított távolsága és magassága (t, z):

$$t = \frac{b_1 - b_2}{m_2 - m_1}, \quad z = m_1 \cdot t + b_1, \tag{3.52}$$

amelyben:
- b_1, b_2: a két egyenes és a "Z" tengely metszéspontjainak magasságai;
- m_1, m_2: a két egyenes iránytangense.

- egy olyan trapéz területe, amelynek két párhuzamos oldala közül egyik a "Z" tengely (T_{tr}):

$$T_{tr} = \left[\frac{|z_1 - z_2| + |z_3 - z_4|}{2} \right] \cdot t_3 , \tag{3.53}$$

ahol:
- z_1, z_2, z_3, z_4: a trapéz csúcspontjainak magasságai;
- t_3: a trapéz párhuzamos oldalai közötti távolság.

- a háromszög területe (T_{hsz}):

$$T_{hsz} = \frac{|t_1(z_2 - z_3) + t_2(z_3 - z_1) + t_3(z_1 - z_2)|}{2}, \tag{3.54}$$

amelynél:
- z_1, z_2, z_3 : a háromszög csúcspontjainak magasságai;
- t_1, t_2, t_3 : a csúcspontok "Z" tengelytől mért távolságai.

- ha "T_t" a töltési, "T_b" a bevágási területet, "SZ" pedig a szelvényezési értéket jelenti, akkor a töltési és bevágási földtömeg (K_t, K_b):

$$K_t = \frac{T_{t(i)} + T_{t(i+1)}}{2} \cdot (SZ_{i+1} - SZ_i), K_b = \frac{T_{b(i)} + T_{b(i+1)}}{2} \cdot (SZ_{i+1} - SZ_i). \tag{3.55}$$

- az "$SZ_{(i)}$" és az "$SZ_{(i+1)}$" szelvények közötti átmeneti test köbtartalma (K_{at}, K_{ab}):

$$H = SZ_{i+1} - SZ_i, \ H_t = \frac{H}{M_t + M_b} \cdot M_t, \ H_b = H - H_t, \tag{3.56}$$

$$K_{at} = \frac{T_t}{2} \cdot H_t, K_{ab} = \frac{T_b}{2} \cdot H_b.$$

Az alkalmazott jelölések értelmezése a következő:
- H: a szelvények közötti távolság;
- M_t : a töltés mérőjegye;
- M_b : a bevágás mérőjegye;
- H_t : a töltési szelvény és az átmeneti pont távolsága;
- H_b : a bevágási szelvény és az átmeneti pont távolsága;
- T_t : a töltés területe;
- T_b : a bevágás területe.