

Erdei feltáró utak kanyarulati viszonyainak egyes kérdései

PANKOTAI GÁBOR

Az erdőgazdasági feltáró utak teljesítő képességét az alkalmazott burkolat minőségén, a pálya szélességén és a lejtviszonyokon kívül leglényegesebben a kanyarulati viszonyok határozzák meg. A mérnök feladata, hogy a kanyarulati viszonyokat a teljesítőképeség érdekében olyan módon tervezze meg, hogy a kivitelezési költségek az elért eredménnyel arányban álljanak. Többnyire igen nehéz terepviszonyok között épülő útjaink tervezése alkalmával a végtelékig ki kell használni a kis kanyarulati sugarak adta lehetőségeket, amellet azonban ügyelni kell arra, hogy ez ne váljék a későbbi használat folyamán szűk keresztmetszetté. A határvonalat az Erdőrendezési Intézet által kiadott »Utasítás« kijelöli. Alábbiakban azokat az elméleti megfontolásokat kívánjuk ismertetni, amelyeknek szellemében az »Utasítás« ide vonatkozó része elkészült.

a) A jármű sebessége az ívben

A járműre az ívben — mint tudjuk — röpítő erő hat. Hogy ennek hatását mérsékeljük, a pályát az ív középpontja felé lejtősen képezzük ki. Ezt a lejtőt a továbbiakban oldalesésnek nevezzük, amelynek lejtőszöge: α Mértékét a lejtőszög tangensében vagy %-osan szokás megadni. Százalékos nagyságát a közutak tervezésére kibocsátott »Irányelvek« az alábbiakban írják elő:

Ha a kanyarulati sugár: 10—100 m 101—150 m 151—200 m 201—300 m 301—500 m
akkor az oldalesés q : 8% 7% 6% 5% 4%

500 méter fölött 3%. A jármű helyzete az ívben az 1. sz. ábra szerint alakul: (lásd a 35. oldalon)

Legyen a jármű súlya: Q kg a sebesség: v m/sec = $\frac{V \text{ km/ó}}{3,6}$

A jármű tömege: $M = \frac{Q}{g} = \frac{Q \text{ kg}}{9,81 \text{ m sec}^{-2}}$

A kerékabroncs és a burkolat között fellépő keresztirányú súrlódás tényezője: $f = 0,2-0,3$, Súrlódó erő: F kg

Röpítő erő: $C = \frac{Mv^2}{S} \text{ kg}$ A kanyarulati sugár: S

Oldalesés mértéke: q

Az ábra szerint írjuk fel az egyensúlyi helyzetet:

$C_1 = Q_1 + F = Q_1 + (Q_2 + C_2)f$ megfelelő behelyettesítés után $C \cdot \cos \alpha = Q \cdot \sin \alpha + (Q \cdot \cos \alpha + C \cdot \sin \alpha)f$ az egyenlet mindkét oldalát $Q \cdot \cos \alpha$ -val osztva és C értékét behelyettesítve a sebesség

$$v \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1} = \sqrt{g \cdot S \frac{q + f}{1 + q \cdot f}}$$

Mivel q kis érték: 0,03–0,08 és f is kicsi: 0,2–0,3, az $f \cdot q$ érték elhanyagolható. A nehézségi gyorsulás értékét behelyettesítve és a sebességet km/óra-ra átszámítva:

$$V \text{ km/óra} = 11,3 \sqrt{f + q} \cdot \sqrt{S} \quad (1.)$$

Legyen $11,3 \sqrt{f + q} = n$, a sebesség általánacs egyenlete az ívben:

$$V \text{ km/óra} = n \sqrt{S} \quad (2.)$$

Ha $f = 0,2$ és $q = 0,08$, $n = 11,3 \sqrt{0,28} = 6$, vagyis $V \text{ km/óra} = 6 \sqrt{S}$.

Ez az eset forog fent kőburkolatú feltáró útjainknál is. Ha tehát egy kanyarulat sugara 25 m, a jármű rajta keresztül $V = 6 \sqrt{25} = 30$ km/óra sebességgel haladhat.

Az egyes útpályákat valamilyen meghatározott sebességre szokás méretezni. Ezt a sebességet *kiépítési sebességnek* nevezzük. A kiépítési sebesség nagyságát a pálya burkolatának minősége, az alkalmazott gépjármű típusa, a helyi időjárás viszonyok, az útpálya kívánt teljesítő képessége és az üzembiztonság követelményei szabják meg. Mindezeknek figyelembevételével feltáró útjainkat kétféle kiépítési sebességre tervezzük:

I. o. feltáró út 6 m széles koronával 4,5 m burkolattal 60 km/ó és

II. o. feltáró út 4,6 m széles koronával 3,0 m burkolattal 40 km/ó

Míg a vasúti vontatásnál a vonóerő nagysága a vontatandó teherhez képest kisebb, addig a gépkocsinál ez az érték lényegesen nagyobb. Ez azt jelenti, hogy a gépkocsi sebességét jóval rövidebb úton tudja felfokozni, mint a vasúti jármű. (A vasúti mozdony gyorsulása: 0,10–0,35 m. sec⁻², a gépjármű gyorsulása: 3–4 m. sec⁻².) Ennek gyakorlati jelentősége az, hogy míg a vasúti vontatásnál egy pályaszakaszon belül nem volna gazdaságos a sebességet változtatni, addig gépjárműüzemnél ebből jelentős gazdasági hátrányok nem származnak. Ezért a vasúti nyílt pálya legkisebb ívét is úgy választjuk meg, hogy azon a keresztülhaladó vonat a kiépítési sebességet biztonsággal betarthassa, útjainknál viszont ez nem szükséges. A gépjármű a kisebb ívekben, az (1.) egyenlet adta mérték szerint lecsökkenti sebességét, majd ismét rövid idő alatt felgyorsulhat a kiépítési sebességig. Annak az ívnek a sugarát, amelyben még a kiépítési sebesség betartható *határsugárnak* nevezzük (S_h). Ezen alul csökkenteni kell a sebességet felette pedig a kiépítési sebesség mértékadó. A határsugár az (1.) egyenletből kiszámítható:

$$S_h = \frac{v^2 \max}{128 (f + q)} \quad (3)$$

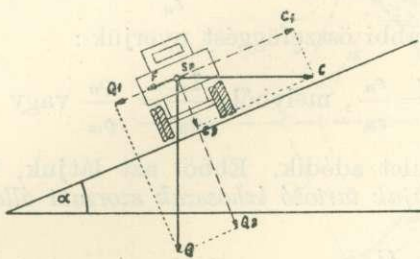
A q értéke aszerint választandó meg, hogy milyen sugár-méretet eredményez előreláthatólag az egyenlet. Ha az eredmény 100 m, vagy azon alul, $q = 0,08$ és így tovább. Szükség esetén többszöri próbálgatással számítjuk ki az eredményt.

A határsugár I. oszt. feltáró utakra nézve, ahol a kiépítési sebesség 60 km/óra, 100 m. Ugyanez II. o. utaknál 40 km/ó kiépítési sebesség esetén 45 m.

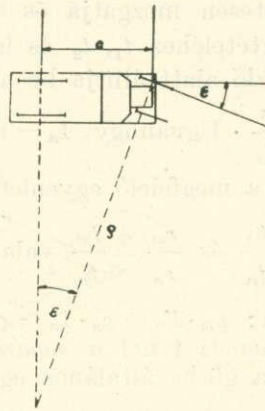
Az (1.) egyenlet alapján a sugár csökkenés 20 m-en alul már jelentős sebesség csökkenést eredményez. Ezért 20, illetőleg 15 m-es sugarú íveket csak rendkívüli terepnehézségeknél, fordulónál alkalmazunk. Egy 15 m sugarú évből a megengedett sebesség például 23 km/óra.

Az (1.) egyenlet a pontos menetidő kiszámítására is alkalmas. A pálya terveiből kiolvasva a határsugár alatti íveket és hosszukat, a megfelelő sebesség kiszámítása után a menetidő kiértékelhető. Fontos tétel ez a különböző gazdaságossági számításoknál, nevezetesen az *utak virtuális hosszának* levezetésénél.

A gépkocsivezető a fent levezetett törvényszerűséget ösztönszerűen ismeri és betartja. Az élesebb ívekben a sebességet csökkenti, nedvesebb időben, midőn az f súrlódási tényező értéke csökken — óvatosabban hajt át az íveken. Az egyenlet kiszámításánál az f súrlódási tényezőbe bizonyos



1. ábra.



2. ábra.

biztonság van felvéve. Amennyiben a gépkocsivezető kevésbé óvatos és a súrlódási ellenállást teljes egészében kihasználja, megtörténhet, hogy a jármű megcsúszik.

Amint látjuk az íveken való biztonságos áthaladás függ az f súrlódási tényező értékétől. Ennek növelése érdekében ügyelnünk kell arra, hogy a lefutott felületű abroncsokat időben leszereljük, jeges pálya esetén pedig a kis sugarú íveket különös gonddal homokoljuk.

b) Az átmeneti ív elve

A gépjármű első kerékpárja a kormány szerkezet által mozgatható és a mozgatas következtében a jármű hossz tengelyével a kormány beállításától függően ϵ szöget zár be. E szög nagysága 0—36° között változik (2. sz. ábra). Amint látjuk a ρ kanyarulati sugár, melyen a jármű megfordulhat, a kormány beállítási szögétől függ. Az összefüggést az alábbi egyenlettel fejezhetjük ki:

$$\rho_m = \frac{a}{\sin \epsilon_m}$$

Mivel ϵ_m kis érték, sinusát szögértékkel fejezhetjük ki, azaz: $\rho_m = \frac{a}{\epsilon_m}$

Midőn a jármű az egyenesből az S sugarú ívbe halad, vezetője a kormányt fokozatosan elcsavarja, egészen addig, amíg $\rho_m = S$ -el, a kanyarulat suga-

rával. A kormány beállítása, — akármilyen gyorsan történik is — időt vesz igénybe. Ezért a jármű — ha csak a vezető az ív elején meg nem áll és a kormányt a sugárnak megfelelően beállítva újra el nem indul — fokozatosan áll be a ρ sugárra, illetőleg az S értékre. Ebből következik, hogy míg az $\varepsilon = 0$ -tól a kormány beállítási szög az S sugárnak megfelelő $\varepsilon = \alpha$ -ig állandóan nő, a jármű kanyarbeállítása az egyenesnek megfelelő $\rho = \infty$ -tól a $\rho = S_0$ -ig fokozatosan csökken. Közben a jármű egy állandóan csökkenő görbületi sugarú ívet, az ú. n. átmeneti ívet, a *clothoidot* írja le. Az egyenes vonalú pályarész és az S sugarú körív között tehát egy más természetű görbe darab helyezkedik el.

A görbe alapegyenlete a következőképpen alakul. Feltételezzük, hogy a jármű egyenletes sebességgel halad. Míg az egyenes végpontjából az átmeneti ív valamely P_m pontjába ér el l_m utat tesz meg. Közben a vezető a kormányt egyenletesen mozgatja és az l_m út alatt ε_m szögre állnak be a kerekek. Az út megtételéhez t_1, t_2 és így tovább t_m idő szükséges. $l_m = v \cdot t_m$. Ugyanennyi idő alatt állítja be a vezető a kormánykereket, azaz $\varepsilon_m = \Delta \varepsilon \cdot t_m$ és

$\rho_m = \frac{a}{\varepsilon_m}$. Ugyanúgy $l_n = v \cdot t_n \dots \varepsilon_n = \Delta \varepsilon \cdot t_n \dots \rho_n = \frac{a}{\varepsilon_n}$. Elosztva egymással a megfelelő egyenleteket az alábbi összefüggést nyerjük:

$$\frac{l_m}{l_n} = \frac{t_m}{t_n} \text{ és } \frac{\varepsilon_m}{\varepsilon_n} = \frac{t_m}{t_n} \text{ valamint } \frac{\rho_m}{\rho_n} = \frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_m}, \text{ melyből } \frac{l_m}{l_n} = \frac{\rho_n}{\rho_m} \text{ vagy általánosán: } \rho_m \cdot l_m = \rho_n \cdot l_n = \rho_x \cdot l_x \text{ egyenlet adódik. Ebből azt látjuk, hogy az átmeneti ívnél a sugarak és hozzájuk tartozó ívhosszak szorzata állandó. Innen a görbe általános egyenlete:}$$

$$\rho_x = \frac{C}{l_x} \quad (4)$$

A C állandó négyzetgyöke a paraméter, amely hosszúságjellegű mennyiség. $p = \sqrt{C} = \sqrt{\rho \cdot l} = \sqrt{S \cdot L}$. A görbe további levezetése alkalmával az ú. n. Freshnel-féle integrálokra jutunk. Az integrálok sorba fejtése után a *clothoidra* az alábbi egyenlet adódik:

$$y = \frac{x^3}{6C} \left[1 + 0,22857 \left(\frac{x^2}{2C} \right)^2 + 0,11838 \left(\frac{x^2}{2C} \right)^4 + 0,07887 \left(\frac{x^2}{2C} \right)^6 + \dots \right]$$

A vasútépítésnél az egyenlet első tagját képező harmadfokú parabola használatos, mely a *clothoidot* $x = \sqrt{C}$ értékig elég jól helyettesíti. Az útépítésnél az elméletileg pontos *clothoid* vált inkább be. Ennek kitűzésére táblázatok készültek. Hazánkban az első ilyen táblázat most van kiadás alatt (Nemesdy E.: Útkitűző Kézikönyv).

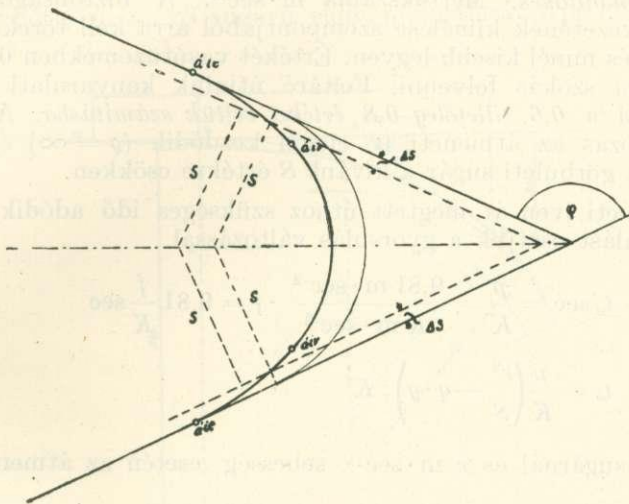
A *clothoid* nem más, mint egy spirál, ahol a görbületi sugár az ívhossz arányában csökken. Tetszés szerinti darabja két különböző sugár között átmenetet képez. Főbb tulajdonságait az alábbiakban foglaljuk össze:

1. A görbe a csatlakozó körívnek az érintő egyenestől egy ΔS értékkel való befelételődését eredményezi. (3. ábra). Jó közelítéssel: $\Delta S = \frac{L^2}{24S}$ (5.), ahol L az átmeneti ív hossza.

2. A körív közepén való eltolódás az átmeneti ív nélküli körívtől még nagyobb:
 $\operatorname{cosec} \frac{\varphi}{2} \cdot \Delta S$ érték.

3. Bármely pontban az érintő szöge : $\widehat{\tau} = \frac{L}{2S}$ (6)

Azoknál az útpályáknál, amelyeknél a kanyarulatok átmeneti ívek nélkül vannak kitézve, a gépjármű nem tartja be a kitézött körív irányát és különösen kisebb sugarú íveknél és keskeny burkolatoknál lelép a pálya belső szélére. Így megzavarja a közlekedési rendet ; a pálya belső szélét, gyakran magát a padkát kikezdi, sőt a vízlevezető árkot betapossa, miközben az útpálya külső széle kihasználatlanul marad. Ez a hiba régi tervezésű feltáró



3. ábra.

útjainkon mindenütt feltűnően jelentkeznek. Minél szélesebb a burkolat, ez a hiba annál kevésbé feltűnő, mert a széles burkolat különösen kisebb sebességeknél elegendő ahhoz, hogy rajta a gépjármű természetes görbét leírja. Ilyen helyeken főleg a közlekedési rend megzavarásában és a burkolat egyoldalú kihasználásában mutatkoznak a hibák.

Ha tehát üzembiztos, teljesítőképes pályát akarunk tervezni, különösen a mi viszonyaink között elkerülhetetlen kis pályaszélességgel és kis kanyarulatú sugárral, a kitézést átmeneti ívekkel kell végezni. Ezt a hivatkozott »Utastítás« annál is inkább előírja, mert vele a terep természetes vonala is jobban megközelíthető.

c) Az átmeneti ív szükséges hossza

Az ívben közlekedő járműre az 1. sz. ábrából kivethető keresztirányú erő hat, amelynek hatását a burkolat oldalesése (g) némileg csökkenti. A röpitő erőnek megfelelő oldalgyorsulás nagysága :

$$p \text{ msec}^{-2} = \frac{v^2}{S} - g \cdot p$$

Ezt a keresztirányú gyorsulást a jármű kerekei alatt fellépő keresztirányú súrlódás veszi fel. Az így felvett gyorsulás nagysága: $\text{pmsec}^{-2} = g \cdot f$. Mivel p a sugártól teljesen független érték, azaz minden sugárnál és járműnél azonos, az f fogja az *utazási biztonság* mértékszámát megadni. Minél nagyobb a nem ellensúlyozott gyorsulás, annál kisebb az utazási biztonság, minél magasabbra veszik az f értékét, annál inkább függ a biztonság az útpálya és a jármű kerekei között fellépő súrlódástól, azaz a vezető óvatosságától.

A közlekedés nyugodt biztonsága érdekében a sugárirányú gyorsulásnak nem szabad hirtelen fellépni, hanem lassan, fokozatosan. A gyorsulás fokozatos növekedése, illetve az ívből kilépő ágnál csökkenése, ez az $ú, n$,

gyorsulásváltozás: $K = \frac{dp}{dt}$. Ennek gyakorlati megnyilvánulása a jármű-

ben fellépő *oldallökés*. Mértékszámáa $\text{m} \cdot \text{sec}^{-3}$. A biztonságos közlekedés, a jármű szerkezetének kímélése szempontjából arra kell törekednünk, hogy ez az oldallökés minél kisebb legyen. Értékét vasútüzemekben 0,5-re, *útjainknál 0,4--0,8-ra* szokás felvenni. Feltáró útjaink kanyarulati viszonyainak kiszámításánál a 0,6, *illetőleg 0,8 értéket vettük számításba*. A sugárirányú gyorsulásváltozás az átmeneti ív elején kezdődik ($\varrho = \infty$) és tart mindaddig, amíg a görbületi sugár a kívánt S értékre csökken.

Az átmeneti íven át megtett úthoz szükséges idő adódik, ha a sugárirányú gyorsulást osztjuk a gyorsulás változással.

$$t_0 \text{ sec} = \frac{p}{K} = \frac{9,81 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-2}}{K \text{ m} \cdot \text{sec}^{-3}} \cdot f = 9,81 \frac{f}{K} \text{ sec}$$

$$\text{vagy} \quad t_0 = \frac{p}{K} \left(\frac{v^2}{S} - q \cdot g \right) : K$$

Egy adott S sugárnál és $v \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ sebesség esetén az átmeneti ív hossza tehát:

$$l_0 = v \cdot t_0 = \frac{v^3}{K \cdot S} - \frac{v}{K} \cdot q \cdot g \quad (7)$$

Ebben az általános egyenletbe az (1.) egyenletet behelyettesítjük:

$$l = 30,7 \frac{f}{K} \sqrt{f + q} \cdot \sqrt{S} \quad (8)$$

egyenletet nyerjük, amely a szükséges átmeneti ívhossz képlete. A határsugáron felül azonban a (7.) képletet kell alkalmazni, amelybe a sebesség értéke helyett a kiépitési sebesség kerül. *Ugyanis míg a határsugáron alul a sebesség az (1.) egyenlet szerint változik, addig azon felül mindenkor a kiépitési sebességgel egyenlő.*

$$l = \frac{V^3 \text{ max.}}{46,6 S \cdot K} - 2,72 \frac{V \text{ max.} \cdot q}{K} \quad (9)$$

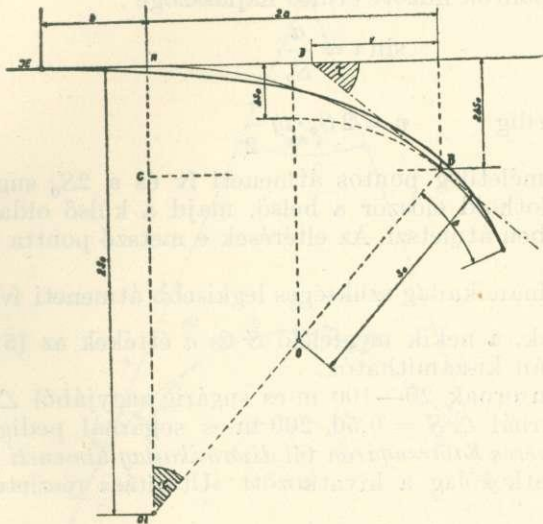
Míg a határsugáron alul a sugár növekedésével az átmeneti ívhossz is nő, addig felette a sugár növekedésével csökken. A most kiadásra kerül. Útkitűző Kézikönyv a fenti egyenletek felhasználásával feltáró útjaink részére az alábbi átmeneti ívhosszakat ajánlja:

Dinamikailag szükséges minimális átmeneti ívhosszak.

Alkalmazás	K $m \cdot sec^3$	S_m	20	30	40	50	60	80	100	150	200
Általában ...	0,6	Lm	24	30	40	44	50	53	56	43	32
Terepnehézségeknél ...	0,8	Lm	20	24	31	32	37	38	42	33	—

Az így kapott értékek azok az ívhosszak, amelyeket a gépjármű a zavartalan forgalom érdekében feltétlenül megkíván. Ezeknél nagyobb értékek alkalmazhatók, kisebbek nem.

Erdei feltáró útjaink kitűzésére az Erdőrendezési Intézet »Utasítás«-a a clothoidot pótló ú. n. $2S$ sugarú előív használatát írja elő. A clothoidot



4. ábra.

Örley professzor egy $2R$ sugarú előívvel helyettesítette, melyhez mind a csatlakozó egyenesből, mind az S -sugarú körívből egy »b« darabot csatolunk. A $2S$ -sugarú ív ezzel a két átfedéssel adja a teljes L ívhosszat. Elméletileg tehát az átmeneti ív a ténylegesen kiűzött $2S$ sugarú előív előtt »b« távolságra kezdődik és a tiszta ívben »b« távolságra végződik (4. sz. ábra).

A megoldás egy jó közelítés. Bevezetését Modrovich professzor már 1942-ben ajánlotta (Erdészeti Zsebnaptár II. 224). Az Erdőrendezési Intézet bevezetésük mellett döntött, mert egyrészt exact clothoid kitűzéséhez szükséges táblázatok nem állnak rendelkezésre, másrészt a korszerű elveknek gyakorlatba való átültetésére az előíves eljárás egyelőre alkalmasabbnak látszott. Az első feltáró utat ezzel az eljárással 1950-ben Vérteskozma és Szár vasútállomás között 16 km hosszon trasszíroztuk nehéz terepviszonyok mellett. A tapasztalatok az építés folyamán kedvezőnek bizonyultak.

Az elméleti levezetését a 4. sz. ábra alapján az alábbiakban közöljük :
A $BCO_1\Delta$ alapján :

$$a = \sqrt{2S_0 \cdot \Delta S_0 - \Delta S_0^2} \quad (10)$$

Mivel S_0^2 viszonylag nem nagy érték, el is hanyagolható. Így

$$a = \sqrt{2S_0 \Delta S_0} \quad (11)$$

De az (5) egyenletből $\frac{1}{2}L = \sqrt{6S_0 \cdot \Delta S_0} = a\sqrt{3}$. A fenti megállapítás

szerint azonban az L ívhossz az előív hosszából és a $2b$ távolságból áll. Az előív hossza jól helyettesíthető a hozzátartozó $2a$ abszcisszával. Így $L =$

$= 2a + 2b$, vagyis $a + b = \frac{L}{2}$; ami a fenti egyenletbe való behelyettesí-

tés után : $a + b = a\sqrt{3}$, ahonnan

$$b = 0,732 a \quad (12)$$

Az átmeneti B pontba húzott érintő hajlásszöge :

$$\sin \tau = \frac{a}{S_0} \quad (13)$$

A subtangens pedig : $v = 2S_0 \cdot \operatorname{tg} \frac{\tau}{2}$

Az eltérés az elméletileg pontos átmeneti ív és a $2S_0$ sugarú előív között nem nagy. A clothoid először a belső, majd a külső oldalán halad az előívnek és azt felében átmetszi. Az eltérések e metsző pontra nézve szimmetrikusok.

Miután a dinamikailag szükséges legkisebb átmeneti ívhosszakat a fentiekben megadtuk, a nekik megfelelő S és a értékek az (5.) és az $a = \frac{L}{2\sqrt{3}}$ egyenletek alapján kiszámíthatók.

A fenti számsornak 20—100 m-es sugárig nagyjából $\Delta S_0 = 1,50$ érték és 150 m-es sugárnál $\Delta S = 0,50$, 200 m-es sugárnál pedig $\Delta S 0,30$ érték felel meg. *A kétszeres határsugáron túl dinamikailag átmeneti ív nem szükséges.* A kitézésre vonatkozólag a hivatkozott »Utasítás« részletes magyarázattal szolgál.

d) *A minimális középponti szög kiszámítása.*

Az átmeneti ívhosszak nagyságát a középponti szög, azaz a tengelyvonal törésszöge nem befolyásolja. Ezek hosszúsága adott S esetén határozott. Amennyiben a φ középponti szög nagyságát és ezzel együtt az egész ívhosszat csökkentjük, az csak az S_0 sugarú ív kárára történhet, egészen addig, amíg az elfogy és a két átmeneti ív átfedése zárul (5. sz. ábra). Az alábbiakban az ennek megfelelő középponti szöget fogjuk kiszámítani, mert ennél kisebb szög esetén a megadott sugár, illetve a hozzátartozó ívhossz nem alkalmazható, hanem nagyobb sugarat kell választanunk.

Az ábra alapján $E_1\widehat{V}_1 = 2(a + b) = 3,5 a$, ugyancsak $2a = 2S_0 \tau$, azaz $E_1\widehat{V}_1 = 3,5 S_0 \cdot \tau$. Az $\widehat{AB} \geq S_0 \tau$. A határesetet véve alapul :

$$\widehat{AB} \geq \widehat{E_1V_1}$$

$$S_0 \widehat{\varphi} \geq 3,5 S_0 \cdot \tau \quad \text{vagyis } \widehat{\varphi} \geq 3,5 \tau$$

Biztonságot is számításba véve, az adott S_0 sugárhoz szükséges legkisebb középponti szög :

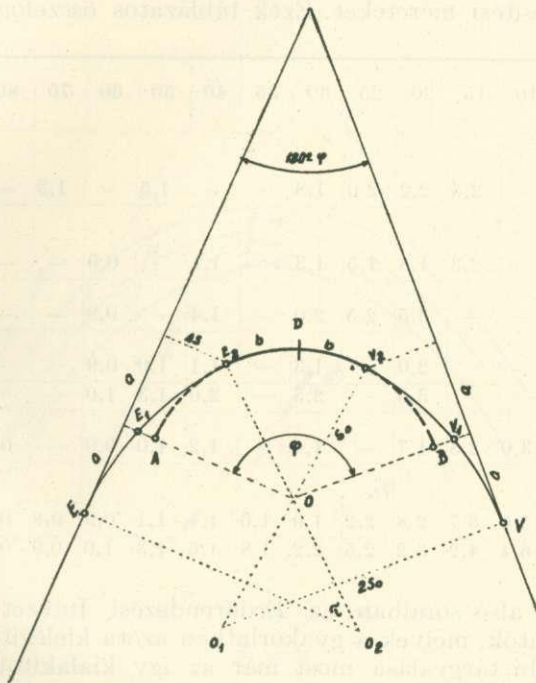
$$\widehat{\varphi} \text{ min} = 4 \tau \tag{14}$$

De megközelítéssel $\tau = \sin \tau = \frac{a}{S_0} = \sqrt{\frac{2 \Delta S_0}{S_0}}$ egyenlet alapján

$$\varphi \text{ min} = \sqrt{\frac{32 \Delta S_0}{S_0}} \tag{15}$$

Ha most az alkalmazható legkisebb kanyarulati sugarat akarjuk ismerni, azt a (15.) egyenletből kiszámíthatjuk.

$$S \text{ min} = \frac{32 \Delta S_0}{\widehat{\varphi}^2} \tag{16}$$



5. ábra.

Az egyenletből kiolvasható, hogy az egyes töréspontokban alkalmazható sugár nagysága függ a törés szögétől és a gépkocsiközlekedés dinamika viszonyait kifejező legkisebb átmeneti ívhossztól, vagy ami ennek megfelelő, az érintőeltolástól. Ennek a figyelembevétele korszerű trasszírozási irányelveink alaptétele.

A régi elvek szerint az alkalmazható legkisebb kanyarulati sugarat kizárólag a jármű kanyarbeálló képessége determinálta. Így azután sok hibás megoldás keletkezett. A merev törések, könyöknek látszó ívek sokaságával találkozunk. A jó vonalvezetést az a harmónia biztosítja, amely a fenti törvényszerűség alapján az egyenes és ív között kialakul.

A régi vonalvezetésnek a legnagyobb hibája az — és feltáró útjaink vonalvezetésének ez sarkalatos kérdése — hogy a szükséges pályaszélesítés kialakítását csak tökéletlenül oldja meg. Ezt a hiányosságot tervezőink már régen észrevették és ösztönösen keresték a középponti szög és szélesítés összefüggését.

e) *A szélesítés kérdése.*

Az útpálya kívánt szélesítése a járművek adataiból a közismert geometriai úton kiszámítható. Feltáró útjainknál a kérdés megnyugtató megoldását keresve tekintettel kellett lenni a fejlődés lehetőségére, az újonnan használatba kerülő járművekre és nem utolsó sorban arra a tényre, hogy a *szálfában való szállítás mindinkább előtérbe kerül*. Régebbi, főleg a kőrkanyarokhoz idomított túlzott méreteket sem akartunk meghagyni, mert ezek a nehéz terepviszonyok mellett kialakított fordulónál jelentős építési költségeket okoztak. A döntés előtt tanulmány tárgyává tettük az eddig használatos szélesítési méreteket. Ezek táblázatos összefoglalása az alábbi:

Sugár méter	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100	150	200
<i>Szovjet kétnyomú út</i>	—	2,5	2,2	2,0	1,8	—	—	1,5	—	1,3	—	—	1,0	0,7	0,5
<i>J. Duhm : Linienführung 1947 :</i>															
a) Általában ...	—	2,3	1,8	1,5	1,3	—	1,1	—	0,9	—	—	0,7	—	0,6	—
b) Szálfa szállításra.....	—	—	3,5	2,5	2,0	—	1,4	—	0,9	—	—	0,7	—	0,6	—
<i>Hütte szerint :</i>															
a) Általában ...	—	—	2,0	—	1,3	—	1,1	1,0	0,9	—	—	0,7	—	0,4	0,2
b) Szálfa esetén	—	—	3,5	—	2,5	—	2,0	1,3	1,0	—	—	0,7	—	0,4	0,2
<i>K. K. M. Irányelvek 1938</i>	3,0	2,3	1,7	—	1,4	—	1,2	1,0	0,9	—	0,8	—	0,7	0,6	0,5
<i>Erdőrendezési Int. irányelvei :</i>															
a) Egyjáratú út	5,6	3,7	2,8	2,2	1,9	1,6	1,4	1,1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
b) Kétjáratú út	6,4	4,2	3,2	2,5	2,2	1,8	1,6	1,3	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,4	0,3

A táblázat alsó soraiban az Erdőrendezési Intézet által kialakított szélesítések láthatók, melyek a gyakorlatban azóta kielégítőnek bizonyultak. A kérdés további tárgyalása most már az így kialakított szélesítésnek az egyenes pályába való levezetésére korlátozódik, melynek tárgyalására hazai szakirodalmunkban kielégítő adat nem található.

A kanyarulatán áthaladó gépjármű szélesebb pályát foglal el, mint az egyenesben. Mint az közismert, ennek várható értéke ΔSz , a kanyarulati sugárral fordítottan arányos. Mivel a vezető a kormányt fokozatosan forgatja el és mint láttuk, ennek következtében a jármű által leírt ív sugara az átmenetben fokozatosan csökken, a szükséges szélesítés értéke is fokozatosan növekszik. Míg a görbületi sugár $\rho = \infty$ -tól $\rho = S_0$ -ig csökken, addig a szélesítés is 0-tól ΔSz -ig növekedik. Az útpálya belső széle tehát az átmeneti szakasz végével a teljes ΔSz szélességgel az ív középpontja felé tolódik és egy teljes átmeneti ívet ír le. Ennek az átmeneti ívnek érintő eltolása azonban már nem ΔS_0 , hanem ennek ΔSz -szel megnövelt értéke.

ebben az egy pontban mutatkozik. Ezen túl a két előív metszi egymást és a szélesítés a közepén is kisebb lesz a megkívánt értéknél, a belső pályaszélen pedig törés keletkezik.

A szükséges középponti szög kiszámítása az alábbiak szerint történik:

$$E_1 V_1 = 2ab = 2S_b \cdot$$

$$\widehat{AB} = S_b \cdot \varphi', \text{ vagyis } \varphi' \text{ min} = 2\tau' \cdot \text{De } \tau' = \sin \tau = \frac{ab}{S_b} = \sqrt{\frac{2 \Delta S_b}{S_b}}$$

ebből:

$$\varphi' \text{ min} = \sqrt{\frac{8 \Delta S_b}{S_b}} = \sqrt{\frac{8 (\Delta S_o + \Delta S_z)}{S_o - \left(\frac{1}{2} S_z + \Delta S_z\right)}} \quad (19)$$

A (19.) egyenlettel kiszámított szögértékek egybevetését a (15.) egyenlet adta értékekkel az alábbi táblázat mutatja:

*A dinamikailag szükséges minimális középponti szögek táblázata
a 2S-sugarú ívvel kitűzött I. osztályú útpályáknál.*

S	ΔS_o	ΔS_z	$S_b = \Delta S_o + \Delta S_z$	$S_b = S_o \left(\frac{1}{2} S_z + \Delta S_z\right)$	$\varphi \text{ min}$	$\varphi' \text{ min}$
20	1,50	3,20	4,70	13,80	89°	95°
30	1,50	2,20	3,70	24,80	72°	63°
40	1,50	1,60	3,10	35,40	63°	48°
50	1,50	1,30	2,80	45,70	56°	40°
60	1,50	1,00	2,50	56,00	51°	34°
80	1,50	0,80	2,30	76,20	44°	28°
100	1,50	0,60	2,10	96,40	40°	24°
150	0,50	0,40	0,90	146,60	19°	13°
200	0,20	0,30	0,50	196,70	10°	8°

A táblázatból kitűnik, hogy eltekintve a kis sugaraktól, a (15.) egyenlettel kiszámított φ értékek kielégítő megoldást nyújtanak a szélesítés levezetését illetőleg is.

Az Erdőrendezési Intézet által kiadott "Utasítás" úttípusonként táblázatosan közli az egyes sugarakhoz tartozó minimális középponti szöget. A tervezőnek más feladata nincs, mint a bemért sokszög vonal töréspontjaihoz beírja a táblázat megfelelő minimumához tartozó legkisebb kanyarulati sugarat. A pálya betervezésénél azután ennél kisebbet nem alkalmazhat.

Befejezésül megemlékezünk arról az egyébként előnytelen megoldásról, midőn a pálya kitűzése átmeneti ívek nélkül történik. A szélesítés kifuttatása érdekében a középponti szög összefüggésének figyelembevétele itt is elkerülhetetlen. A szélesítés kifuttatása kétszeres sugarú előívvél történhet. Mivel átmeneti ív a tengelyvonalban nincs, $\Delta S_o = 0$. Ezekután a (19.) egyenlet az alábbiak szerint alakul:

$$\varphi'' \text{ min} = \sqrt{\frac{8 \Delta S_z}{S_o - \left(\frac{1}{2} S_z + \Delta S_z\right)}} \quad (20)$$

Ez a megoldás természetesen nem tökéletes, de alárendeltebb utak esetében a régi szokásokkal szemben haladást jelent. Az átmeneti ívek kialakításáról, részletes kitűzéséről a hivatkozott »Utasítás« bőven nyújt tájékoztatást.