

# Jelzőlámpás szabályozású körforgalmak teljesítőképességének és programparamétereinek meghatározása

Dr. Maklári Jenő  
Közlekedés Kft.  
1052 Budapest, Bécsi u. 5.  
ft@kozlekedes.hu

## 1. Bevezetés

Angliában, ahol soha nem szakadt meg a klasszikus körforgalom (nagy méretek, sok forgalmi sáv, keresztező közúti vasúti forgalom stb.) építésének folyamata, kerültek szembe először a szakemberek a körforgalmak kimerülésével és balesetveszélyessé válásával. Jelzőlámpás szabályozásuk ekkor nagy ellenállást váltott ki, az első ilyen jelzőlámpát („Jacob’s Well” Bradford, 1976) néhány hetes működés után eltávolították. Időközben azonban kialakultak az ilyen típusú jelzőlámpázásnak a szabályai és ma már nem a „körforgalom lámpázásáról” beszélnek, hanem „jelzőlámpás rendszerről, amelyet nevezhetünk körforgalomnak is” (M.S. Hallworth) [1]

Némi késéssel, de hasonló helyzetbe kerültek azok az európai országok is, ahol megmaradtak a régi típusú, több forgalmi sávós, nagyméretű körforgalmak, melyek forgalomlebonnyolódása kaotikussá vált és ezzel egyidejűleg jelentősen megszorodtak a gyalogos, majd a kerékpáros elütések. A jelzőlámpás szabályozás bevezetése elkerülhetetlenné vált. A kényszer szülte megoldás viszont egy meglepő felismerésre vezette a szakembereket: „Jelzőlámpás szabályozású nagyméretű körforgalmú csomópontok teljesítőképessége elérheti vagy akár felül is múlhatja a külön szintű csomópontokét” [2]. Ezt a megállapítást a 2000 augusztusában a Német Közlekedési Minisztérium kutatási anyaga rögzíti. (Jelen sorok írója éppen 1988-ban készítette el az első tudatosan kialakított ilyen típusú magyarországi csomópont forgalomtechnikai tervét – teljesen visszhangtalanul.)

Ily módon „létrejött” tehát a szintbeni csomópont legnagyobb teljesítőképességű típusa. Amit előljáróban le kell szögezni ezen új típusú, azaz nem „kényszerlámpázás” útján létrejött, hanem tudatosan ezen elvre építő, és azt a leginkább szolgáló geometriai (pl. forgalmi sávok vezetése stb.) megoldásokat alkalmazó csomóponttípussal kapcsolatosan az, hogy a jelzőlámpás szabályozású – korábbi elnevezésével körgeometriájú, ma már körforgalmú – csomópont (továbbiakban JK),

- nem a körforgalom „lámpázását” jelenti. A helyesen alkalmazott és megépített körforgalom csakis eredeti szabályozási formájában lehet előnyös, jelzőlámpázása esetén ezek nagyrészt elvesztené,
- a JK nem konkurens a körforgalomnak, mivel alkalmazási feltételrendszere jelentősen eltérő.

**A JK egy önálló, mind a körforgalomtól, mind pedig a szokásos (kereszteződést szabályozó) jelzőlámpától eltérő működési jellemzőjű, öntörvényű csomópont.**

Ez utóbbinak a figyelembevétele döntő fontosságú a tervezésnél.

A JK, mint új típusú csomópont elterjedése Európában is csak most kezdődik. (A „lámpázott” körforgalmak száma ezzel szemben már igen nagy, szinte Európa valamennyi nagyvárosában szép számban találkozhatunk velük.) Anglia mellett elsősorban Hollandiában (Amszterdam, Alkmaar) helyeztek forgalomba az utóbbi időben ilyen csomópontokat. Magyarország már csaknem valamennyi nagyvárosában jelentkezett igény létesítésére, pontosabban előfordult, hogy egyetlen csomópontban összegeződtek olyan problémák, melyek – ha csonkítás nélkül kívánjuk őket megoldani -, akkor az a legkedvezőbbben csakis JK alkalmazásával lehetséges. – Az a szakemberek előtt is kevésbé ismert,

hogy a jelzőlámpás körgeometriai szabályozás előnyeinek ösztönös megérzéséből (és nem tudatos alkalmazásából) több csomópont is született és jelenleg is működik Budapesten („Éles-sarok”, Baross tér).

A jelzőlámpás szabályozású körgeometriájú csomópontok jelzésidőtervi felépítése alapvetően különbözik a kereszteződéseket szabályozó jelzőlámpák programjaitól, noha annak minden elemét alkalmazzák. A kereszteződés esetén valamely irányt érintő jelzésidőtervi beavatkozás csak közvetetten hat a többi irányra. Körgeometria esetén ez a hatás közvetlen, és **minden módosítás kizárólag csak az összes többi csomóponti mozgásra gyakorolt hatás egyidejű figyelembevételével történhet.**

Ennek elmulasztása, illetve figyelmen kívül hagyása vagy a folyamatos forgalomáramlás megszakadását, - ami a teljesítőképesség csökkenésével jár – vagy a körpálya forgalomáramlásának torlódását okozza, mely annak önzáródásához vezethet.

A körgeometria tehát zárt rendszer, mely egyirányú útvonalra felfűzött csomópontok összehangolásának is tekinthető, ahol azonban – a szokványos összehangolásoktól eltérően – az összehangolás utolsó csomópontja egyúttal ugyanezen rendszer első csomópontja is. Jelzésidőtervi vonatkozásban is tehát egyetlen zárt rendszerként kezelendő. Itt az a megoldás előnyösebb, mely a rendszert nem hagyományos út-idő diagramos formában próbálja leírni, hanem – az alcsomópontok közötti időbeli kötöttségeket belső összehangolásként figyelembe véve – az egész csomópontrendszert egyetlen jelzésidőtervben foglalja össze.

## 2. A jelzőlámpás forgalomirányítás jellemzői

A működési mód, mely elsősorban a körpálya mentén lévő kétfázisú kereszteződések egy speciális összehangolási változata, az egész csomópont teljesítőképességi és szolgáltatási színvonalbeli jellemzőinek legfőbb meghatározója. Tipikusan körspecifikus, melynek a kereszteződéses típusú csomópontoknál nincs megfelelője. Három alaptípusa határozható meg, melyek összehangolási jellemzőit az 1. táblázat mutatja. Főbb működési sajátosságaik – a teljesítőképességi jellemzőkkel kiegészítve – az alábbiak szerint foglalhatók össze:

### Turbina-elv

- az úttorkolatok forgalmának az óramutató járásával megegyező sorrendű belépése a körpályára,
- folyamatos közbenső megállítást nélküli vezetés a körpályán,
- aszimmetrikus torkolati terhelések rugalmas kiszolgálása
- teljesítőképesség
  - három ág esetén: 2200-2400 E/h/sáv
  - négy ág esetén: 2200-2000 E/h/sáv
  - öt ág esetén: 1600-2000 E/h/sáv
- a teljes belépő kapacitás megkötés nélküli felhasználhatósága balrakanyarodásra.

## 1. táblázat

### A működési módok típusai

Az érintett torkolatok száma	A belépők összehangolt vezetése		
	az első kordonig	a második kordonig	az utolsó kordonig
Egy torkolat	-	-	Turbina-elv
Két (szemben lévő) torkolat	-	Torkolatpáronkénti, irányítás	-
Az összes torkolat	Teljes turbina-elv	-	-

### Torkolatpáronkénti irányítás

- a belépő járművek a körpálya második kordonáig kapnak megállítást nélküli vezetést
- a jobbra kanyarodókat kivéve valamennyi jármű közbenső megállítást után halad ki a körpályáról
- a teljesítőképesség a turbina-elv teljesítőképességét meghaladja
- a balra kanyarodási kapacitás – méret és periódusidőtől függően – részben korlátozott

### Teljes turbina-elv

- valamennyi torkolat azonos, illetve közel azonos időben halad be a körpályára az első kordonig (a körpálya feltöltése),
- a behaladás befejeződése után a körpálya összes kordonának egyidejű, illetve közel egyidejű szabad jelzésére minden jármű elhagyja a körpályát (a körpálya kiürítése),
- nagy méretek és négy (öt)-nél több csomóponti ág esetén, illetve közel egyenlő torkolati terhelések esetén előnyös,
- teljesítőképessége az összes irányítási mód között a legnagyobb, a zöldidő-arány ( $\Sigma t_{zi}/t_p$ ) elérheti az 1,8-as értéket is.

### Vegyes irányítási mód

- az előző irányítási módok kombinációjaként előállított irányítási mód
- az adottságokhoz és köztöttségekhez való igazodás (pld. összehangolásba való beillesztés) teszi szükségessé alkalmazását
- teljesítőképessége – méretétől és a belső felsorakozási lehetőségektől függően – a torkolatpáronkénti és a teljes turbina-elv közötti.

## 3. A turbina-elv szerinti működés

### 3.1. Négyágú csomópontok

#### 3.1.1. A jelzésidőterv felépítése. Az alapprogram

Az ún. turbina-elv szerinti működés alapja, hogy a torkolatok az óramutató járásával megegyező sorrendben, egymás után kapnak szabad jelzést. Az egyes torkolatok – a körpályán létesített jelzőlámpakordonokkal – kétfázisú kereszteződések alkotnak.

A körpálya mentén lévő kordonoknak úgy kell működniük, hogy a torkolatok belépő forgalma számára biztosított legyen a folyamatos, megállítást nélküli áramlás. Ez a szabad jelzések megfelelő belső összehangolásával úgy érhető el, ha valamennyi torkolatból

- az utolsónak behaladó jármű – az ívviszonyoknak megfelelő sebességgel haladva – a legtávolabbi torkolaton kiléphet (kihaladási feltétel), továbbá, ha
- az elsőként behaladó jármű az ív és a gyorsítási jellemzőknek megfelelő időeltolódással kapja az első kordonnál a szabad jelzést (behaladási feltétel).

A behaladási és kihaladási feltételek egyértelműen meghatározzák a programparamétereket. A torkolatok belépési sorrendjéből következően a körpályán való folyamatos forgalomlebonnyolódás úgy érhető el, ha a befejeződő szabad jelzéssel egyidejűleg a követő csomóponti ágon – a torkolatok távolságának és a közbenső időnek megfelelő időeltolódással – már megkezdődik a járművek belépése a csomópontba.

A befejeződő és a követő belépő szabad jelzés közötti időintervallum tehát

$$\Delta t = t_{k\ddot{o}i\ 1 \rightarrow 2} - t_{bi\ +\ 1}$$

ahol  $t_{k\ddot{o}i\ 1 \rightarrow 2}$  az i-edik torkolat közbenső ideje (a belépő irányt a körpálya követi)  
 $t_{bi\ +\ 1}$  – a követő torkolat behaladási ideje

Ha a közbenső idő és a behaladási idő azonos hosszúságú, azaz

$$\begin{aligned} t_{k\ddot{o}i\ 1 \rightarrow 2} &= t_{bi\ +\ 1} \\ \text{akkor } \Delta t &= 0, \\ \text{ha pedig } t_{k\ddot{o}i\ 1 \rightarrow 2} &< t_{bi\ +\ 1} \end{aligned}$$

akkor  $\Delta t$  negatív érték. A behaladási idő hossza a körpálya sugarától és a behaladási hosszától ( $l_{bi}$ ) függ. Ez utóbbi az 1. ábra jelöléseit alkalmazva az A torkolat esetén az A1-D2 szakasszal azonos

$$l_{ba} = A1-D2$$

A kihaladási szakasz hossza pedig az A1-C2 szakasszal azonos

$$l_{ka} = A1-C2$$

a megtételéhez szükséges idő pedig a kihaladási idő  $t_k$ .

Hossza elsősorban a körpályán kifejezhető sebességtől ( $V_k$ ) függ.

A kihaladási és behaladási feltételeket kielégítő programban az egyik fázis végétől a következő fázis végéig a következő lépésekben juthatunk el (pl. az A fázisból kiindulva):

- A1 végétől a kihaladási idő biztosításával: C2 vége
- C2 végétől a közbenső idő biztosításával: C1 eleje
- C1 elejétől a behaladási idő biztosításával: B2 eleje
- B2 eleje előtt a közbenső idő beiktatásával: B1 vége

Míndez a korábban bevezetett jelölésekkel:

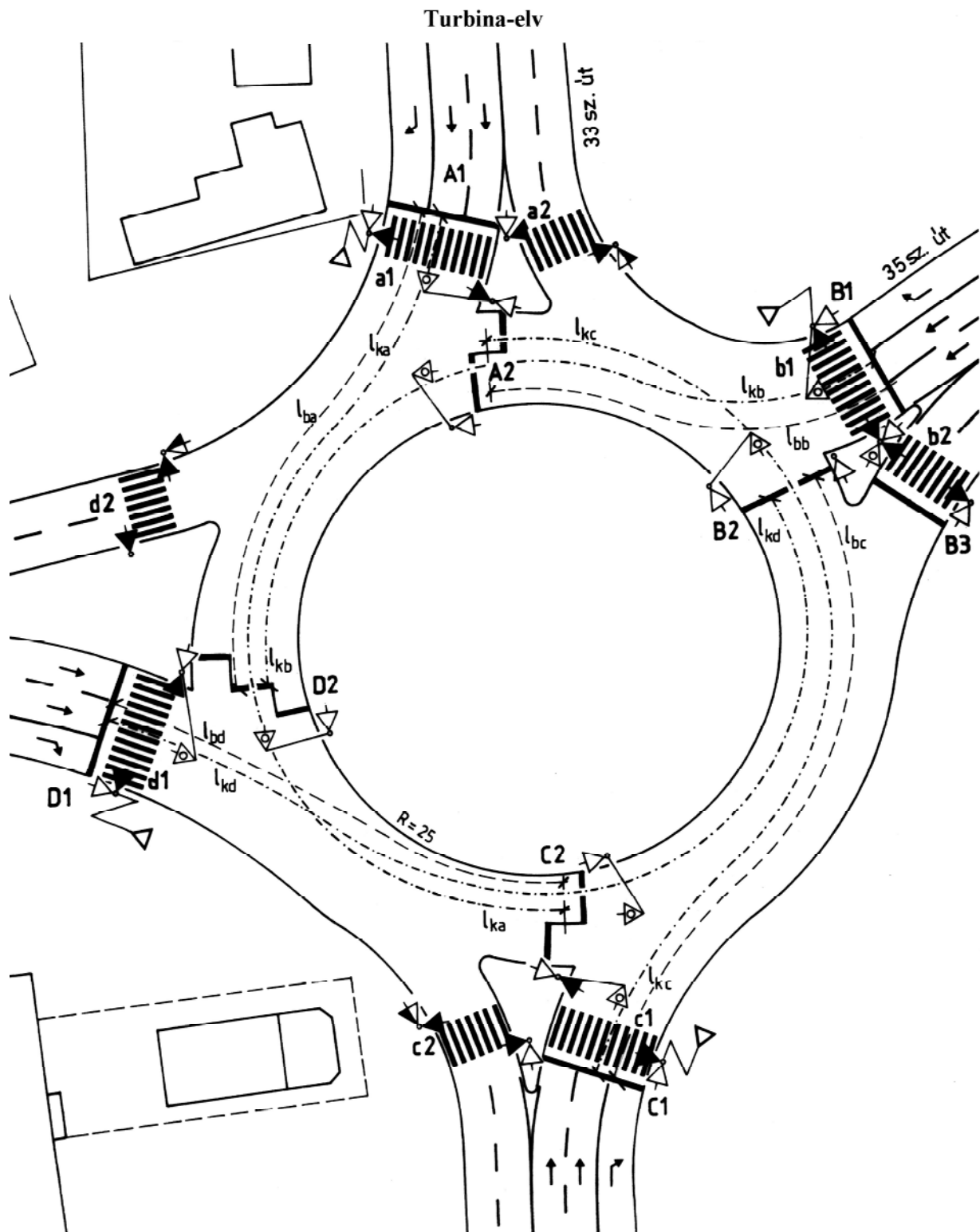
$$A1\ \text{végétől}\ B1\ \text{végéig} = t_{ka} + t_{k\ddot{o}2-1} + t_{bc} - t_{k\ddot{o}1-2}$$

Az összes torkolatra kiterjesztve, azaz A1 végétől A1 végéig, a kiindulási feltételben rögzítetteket kielégítő program periódusidejéhez jutunk, melyet **alapprogramnak** nevezünk:

$$t_p = t_{pa} = \sum t_{ki} + \sum t_{bi} + \sum t_{k\ddot{o}i2-1} - \sum t_{k\ddot{o}i1-2} \quad (1)$$

A kapott kifejezés legfőbb sajátossága, hogy forgalmi adat nem szerepel benne, azaz a legfőbb jelzésidőtervi paraméter, a periódusidő – ha a kiindulási feltételeknek megfelel – független a forgalomnagyságtól, értéke csakis a csomópont geometriai kialakításától, - elsősorban a körpálya sugarától – függ.

A behaladási és a kihaladási szakaszok értelmezése



1. ábra A behaladási és a kihaladási szakaszok értelmezése

Az alapprogram kifejezéséhez más úton is eljuthatunk, kiindulva abból hogy egyidjeűleg ki kell elégítenie a kihaladási és a behaladási feltételt is. A kihaladási feltételt kielégítő program ( $t_{k\ddot{o}i2}$  helyet  $t_{k\ddot{o}i2}$  jelöléssel):

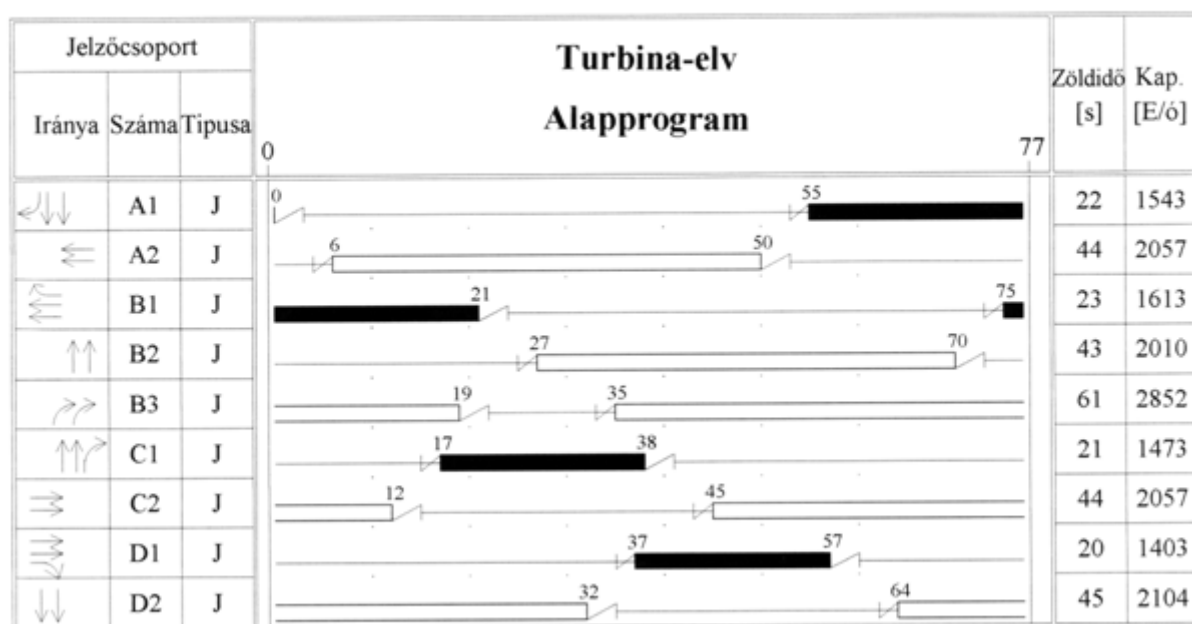
$$\Sigma t_{zi} + \Sigma t_{ki} + \Sigma t_{k\ddot{o}i21} = 2t_p \quad (2)$$

A behaladási feltételt kielégítő program pedig:

$$\Sigma t_{zi} + \Sigma t_{bi} + \Sigma t_{k\ddot{o}i12} = t_p \quad (3)$$

A két kifejezés összevonásával (a (2)-ből a (3) kivonásával) az alapprogramhoz jutunk ((1)-es kifejezés). (lásd a 2. ábrát)

### Jelzésidőterv



2. ábra. Jelzésidőterv turbina-elv szerinti működés esetén

AZ (1) kifejezésből kiindulva az alapprogram hosszúságára vonatkozóan tájékoztató jellegű adatot ad az alábbi kifejezés:

$$t_{pa} = 3 \cdot T \quad (4)$$

ahol  $T$  – a körpálya egyszeri körbejárásához szükséges idő

### 3.1.2. A körpályán való haladás időbeli jellemzői

A jelzésidőtervek számításához alapvetően szükséges a járművek mozgási jellemzőinek ismerete. Megfelelő megbízhatóságú adatokhoz csakis mérések útján juthatunk. Tekintve, hogy Magyarországon jelenleg ilyen szabályozású csomópontok nem működnek, a hazai számításokhoz a külföldi, elsősorban angol és német mérések eredményei, másrészt a hazai körforgalmú csomópontokban végzett méréseink alapján alakítottuk ki ajánlásainkat.

A mérési adatok alapján a jármű járóvonalának körív sugara és a kifejthető haladási sebesség közötti összefüggés:

$$V_k = 0,79R_j + 12,6 \text{ [km/h]}$$

A kapcsolat szorosságát mutató korrelációs együttható igen magas nagy érték:  $R = 0,95$ .

A jelzésidőtervek méretezéséhez alapulvenni javasolt értéksor a fenti összefüggés 0,85-szerese:

$$V_k = 0,67R_j + 11 \text{ [km/h]}$$

$$\text{mely m/s-ban: } V_k = 0,186 \cdot R_j + 3,06$$

### 3.1.4. Teljesítőképeségi jellemzők

#### 3.1.4.1. A szabad jelzések és a periódusidő viszonya

Szimmetrikus csomópontkialakítás esetén – a kihaladási és behaladási útvonalak hosszának megegyezése alapján – a szabad jelzések egyforma hosszúra adódnak. Az ettől való eltérés nem szimmetrikus kialakítás esetén sem jelentős miként az a 2. ábra alapján is megállapítható. Az alapprogram egyidejűleg mind a (2) mind pedig a (3) kifejezés szerinti feltételt kielégíti.

A (3) kifejezés átrendezésével  $t_p = t_{pa}$  és  $\Sigma t_{zi} = \Sigma t_{zai}$  helyettesítéssel a belépő szabad jelzések összegére a következő kifejezést kapjuk:

$$\Sigma t_{zai} = t_{pa} + \Sigma t_{bi} - \Sigma t_{k\delta i12} \quad (13)$$

Abban az esetben, ha  $\Sigma t_{bi} = \Sigma t_{k\delta i12}$

akkor  $\Sigma t_{zai} = t_{pa}$

vagyis a szabad jelzések összege megegyezik a periódusidővel. Ez azt eredményezi, hogy a sávonkénti teljesítőképeség ( $K_s$ ) azonos lesz a telített forgalomnagysággal:

$$K_s = S$$

Ebben az esetben a csomópont teljesítőképesége kizárólag a torkolatok belépő – és a csomóponton átvezetett – forgalmi sávjainak a számától függ. Előnyös, ha valamennyi torkolatban azonos a sávok száma, a körpályán pedig ugyanennyi, vagy több.

A csomópont kapacitása  $S = 1800$  (2000) E/h telített forgalomnagyság esetén a belépő sávszámtól függően:

2 sáv esetén	3600 (4000) E/h
3 sáv esetén	5400 (6000) E/h
4 sáv esetén	7200 (8000) E/h

A  $\Sigma t_{bi} = \Sigma t_{k\delta i12}$  egyenlőség kialakulása – az előzőekből következően – egy adott sugárértékhez tartozik. Az eredmény a közelítő kifejezés érvényességi zónája alatti érték, ami azt jelzi, hogy a kiindulási feltételek megléte esetén a kérdéses egyenlőség 20 (25) m-es körméret esetén már elérhető. Ennél nagyobb méretű körpályán a behaladási idők általában hosszabbak, mint  $t_{k\delta i12}$ , azaz

$$\Sigma t_{bi} > \Sigma t_{k\delta i12}$$

ami azt eredményezi, hogy

$$\Sigma t_{zai} > \Sigma t_{pa}$$

Ekkor az egymást követő fázisok szabad jelzései – mivel összegük meghaladja a periódusidő hosszát – részlegesen „átfedik” egymást. A csomópont egy forgalmi sávra vonatkoztatott teljesítőképesége ekkor a

$$\Delta t_z = \Sigma t_{zai} - \Sigma t_{pa}$$

értékkel („negatív közbenső idő”) megnövekedett szabad jelzés figyelembe vételével



$$K_a = \frac{[t_{pa} + (\sum t_{zai} - t_{pa})] S_s}{3600} \cdot \frac{3600}{t_{pa}}$$

Összevonás, átrendezés után az alapprogram kapacitása:

$$K_a = \frac{\sum t_{zai} \cdot S_s}{t_{pa}} \quad (14)$$

ahol  $S_s$  – a súlyozott telített forgalom nagyság (E/h/sáv)

$K_a$  – a csomópont egy forgalmi sávra vonatkoztatott teljesítőképessége (E/h/sáv)

Egyszerűen igazolható, hogy ez a kifejezés a

$$\sum t_{bi} < \sum t_{kői12}$$

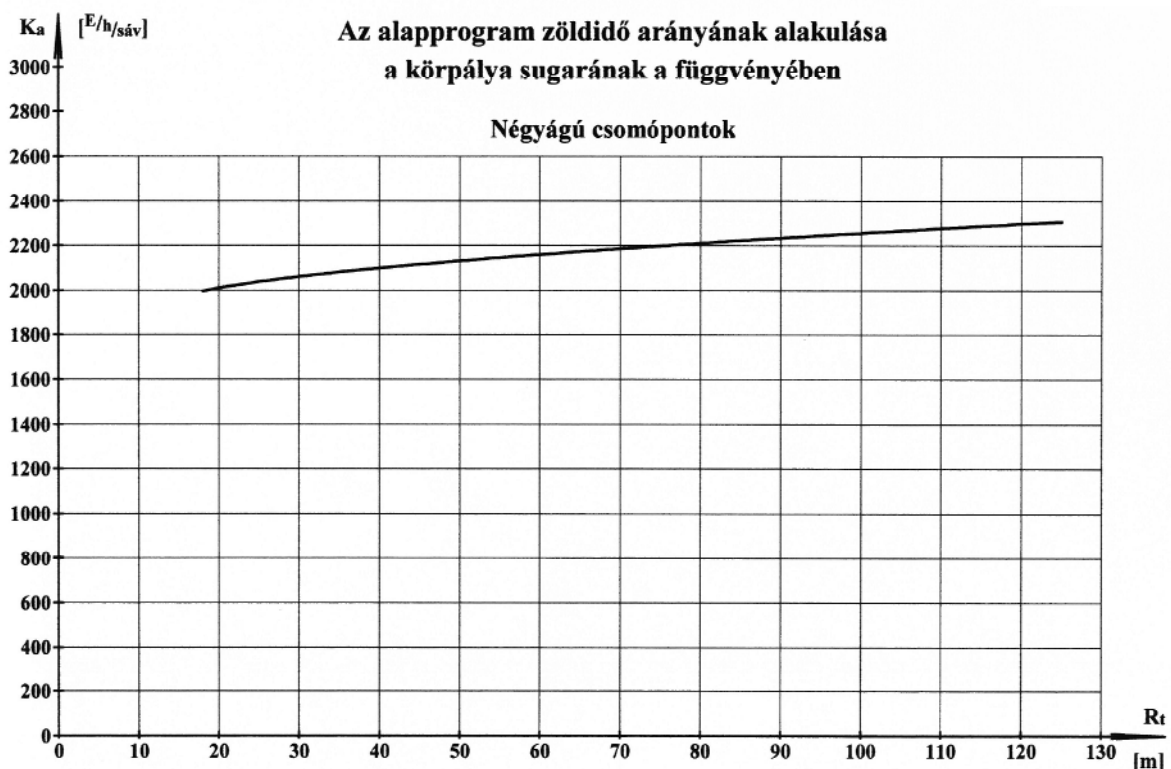
és az abból következő

$$\sum t_{zai} < \sum t_{pa}$$

reláció esetén is érvényes.

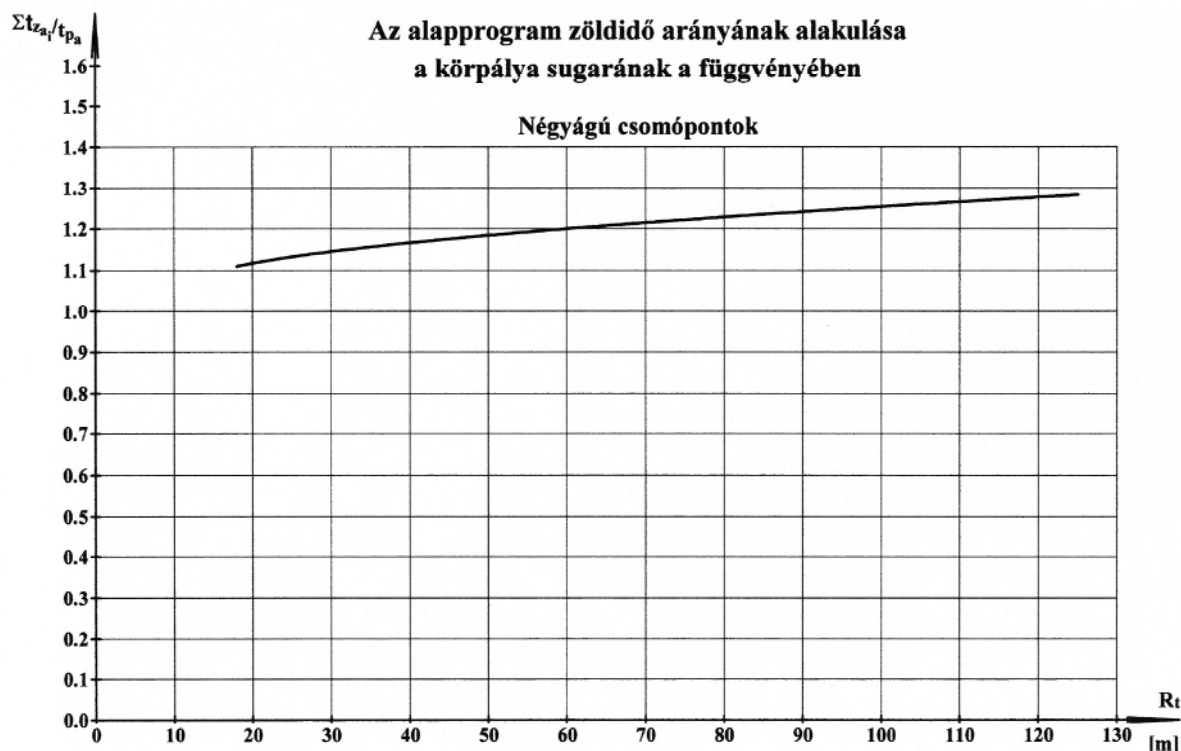
Az alapprogram teljesítőképességét a (13) és (14) kifejezések alapján a 3. ábra mutatja. A kereszteződést szabályozó hagyományos jelzőlámpák teljesítőképességi görbéihez képest két lényeges eltérés mutatkozik:

- a görbe feltűnően magasan halad ( $K_a > 2000$  E/h/sáv) azaz e csomóponttípus teljesítőképessége igen nagy
- az alapprogram teljesítőképessége a körpálya sugarával nő.



3. ábra Az alapprogram teljesítőképességének alakulása a körpálya sugarának a függvényében. (Négyágú csomópontok)

A 4. ábra a zöldidők összegének és a periódusidőnek a viszonyát, a hányadosuk alakulását mutatja a körpálya sugarától függően. Látható, hogy a periódusidő megnövekedésével a zöldidő-arány mely a teljesítőképesség szempontjából meghatározó jelentőségű – alig változott.



4. ábra Az alapprogram zöldidő arányának alakulása a körpálya sugarának a függvényében (Négyágú csomópontok)

### 3.1.4.2. Az alapprogramtól eltérő programok jellemzői

#### 3.1.4.2.1. az alprogramnál hosszabb programok

Az alprogram arányos megnövelése esetén mind a behaladási, mind pedig a kihaladási idők megnövekednek. Amíg azonban a kihaladási idők megnövekedése előnyös lehet a forgalomlebonyolódás szempontjából (esetleges lassúbb járművek kihaladásának elősegítése stb.) és elfogadható, addig a behaladási idők megnövekedése, mivel az a forgalom folyamatos áramlásának megtorpanását idézné elő, és torlódásokhoz is vezethetne, nem fogadható el.

Ezért  $t_p > t_{pa}$  esetén a jelzésidőtervi méretezésnél (a (3)-ból kiindulva) a

$$t_{pa} < t_p = \Sigma t_{zi} - \Sigma t_{bi} + \Sigma t_{kői12}$$

kifejezés alkalmazandó.

Vizsgálandó, hogy  $t_{pa}$  megnövelése „a” értékkel milyen változást okoz a zöldidő-arányban és a teljesítőképességben. Az új program hossza

$$t_p = t_{pa} + a$$

Mivel  $t_{pa}$ -ra is érvényes a behaladási feltétel, igaz, hogy

$$t_{pa} = \Sigma t_{zai} - \Sigma t_{bi} + \Sigma t_{kői12}$$

Ekkor az ún. zöldidő-arány

$$\frac{\sum t_{zai}}{t_{pa}} = \frac{t_{pa} + \sum t_{bi} - \sum t_{k012}}{t_{pa}} = \frac{t_{pa} + A}{t_{pa}}$$

ahol  $A = \sum t_{bi} - \sum t_{k012}$

és  $A > 0$

$$\begin{aligned} t_p &= t_{pa} + a = \sum t_{zai} - A + a \\ \sum t_{zi} &= \sum t_{zai} + a \text{ helyettesítéssel} \\ \sum t_{zi} &= t_{pa} + A + a \end{aligned} \quad (y)$$

Ekkor az új zöldidő-arány

$$\frac{\sum t_{zi}}{t_p} = \frac{t_{pa} + A + a}{t_{pa} + a} < \frac{t_{pa} + A}{t_{pa}} = \frac{\sum t_{zai}}{t_{pa}} \quad (15)$$

A  $t_{pa}$ -nál hosszabb program és  $A > 0$  esetén tehát

- a szabad jelzés hossza a periódusidő növekedésével azonos mértékben nő,

$$\Delta t_{zi} = t_p - t_{pa} = a \quad (16)$$

- a zöldidő részaránya kisebb lesz, mint  $t_{pa}$ -nál.

Mindez azt eredményezi, hogy a teljesítőképesség a periódusidő hosszának növekedésével  $t_{pa}$ -tól – egészen kismértékű csökkenés mellett – közel azonos szinten marad (lásd az 5. ábrát).

A teljesítőképesség a (3) kifejezésből kiindulva a (14) analógiájára a következő formulával számítható:

$$K = \frac{\sum t_{zi} \cdot S_s}{t_p} \quad (14a)$$

Belátható, hogy  $A = 0$  esetén mind a zöldidő-arány, mind pedig a teljesítőképesség független lesz a periódusidő hosszától és konstans értéket vesz fel, amely azonos lesz a telített forgalom nagyságával:

$$K = S$$

Ha  $A < 0$ , ami azt jelenti, hogy a közbenső idők összege – a belépő torkolatok szabad jelzéseit tekintve – pozitív érték, akkor a (8) reláció megfordul. Ez tovább növeli a zöldidő-arányt és a teljesítőképességet.

### 3.1.4.2.2. Az alapprogramnál rövidebb programok

**$t_p < t_{pa}$  esetén** a program rövidülése miatt a kihaladási idő lesz a mértékadó, mivel annak rövidülése – szemben a behaladási idő rövidülésével – nem fogadható el. A méretezés alapja ekkor a (2) kifejezés. Az új program hossza:

$$t_p = t_{pa} - a$$

Mivel  $t_{pa}$ -ra a (2) kifejezés (kihaladási feltétel) is érvényes, igaz, hogy

$$2t_{pa} = \sum t_{zai} + \sum t_{ki} + \sum t_{k021} = \sum t_{zai} + B \quad (17)$$

ahol  $B = \sum t_{ki} + \sum t_{k021}$

A zöldidő-arány

$$\frac{\sum t_{zai}}{t_{pa}} = \frac{2t_{pa} - B}{t_{pa}}$$

$t_{pa} = t_p + a$  – a előállítás érdekében csökkentsük a (17) kifejezés mindkét oldalát  $2a$ -val.

$$\begin{aligned}
2t_{pa} - 2a &= \Sigma t_{zai} + B - 2a = 2(t_{pa} - a) = 2t_p \\
\Sigma t_{zi} &= \Sigma t_{zai} - 2a \text{ helyettesítéssel} \\
2t_p &= \Sigma t_{zi} + B, \text{ amiből} \\
\Sigma t_{zi} &= 2t_p - B
\end{aligned}
\tag{x}$$

Ekkor az új zöldidő-arány

$$\frac{\Sigma t_{zi}}{t_p} = \frac{2t_{pa} - 2a - B}{t_{pa} - a} < \frac{2t_{pa} - B}{t_{pa}} = \frac{\Sigma t_{zai}}{t_{pa}}
\tag{18}$$

mely reláció minden  $(2t_{pa} - B) < 2 \times t_{pa}$  esetben igaz. A  $t_{pa}$ -nál rövidebb programok esetén tehát

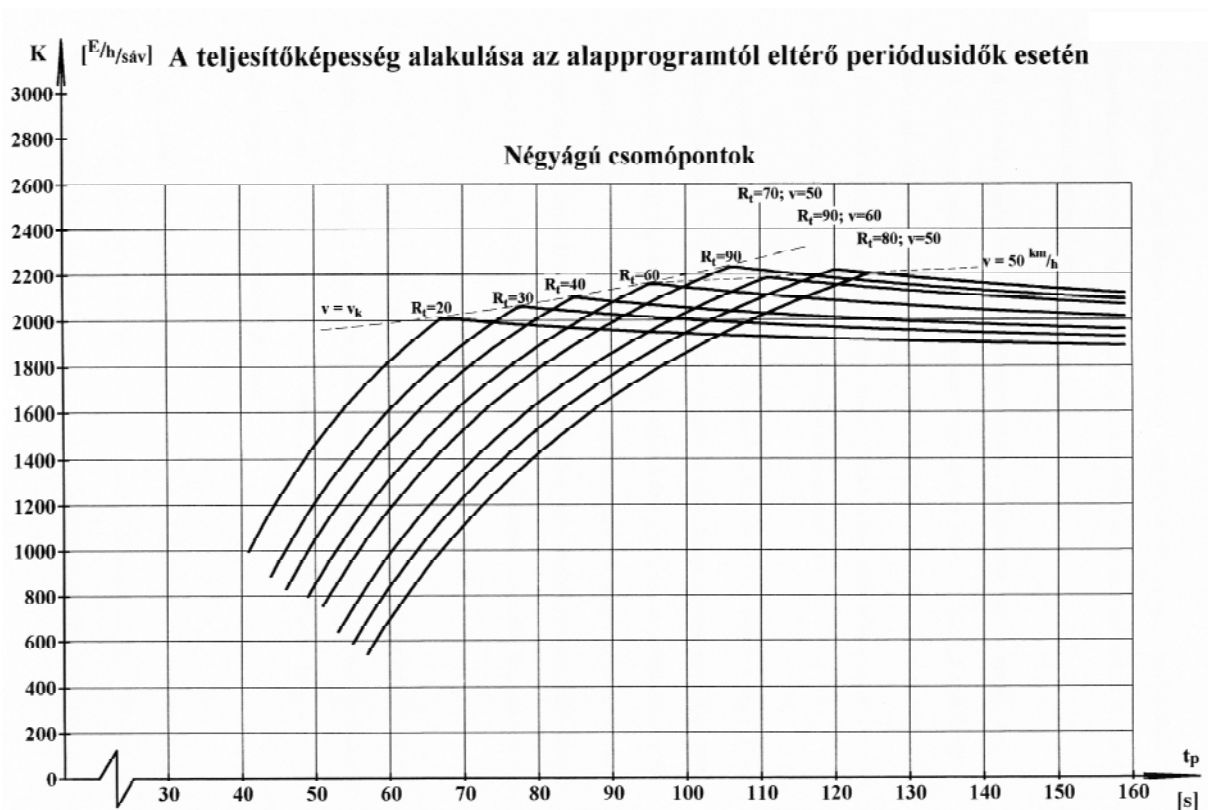
- csökken a zöldidő részaránya,
- a szabad jelzés hossza a periódusidő rövidülése mértékének a kétszeresével csökken.

$$\Delta t_{zi} = 2(t_{pa} - t_p) = 2a
\tag{19}$$

Míndezek alapján megállapítható, hogy  $t_{pa}$  (az  $A < 0$  eset kivételével) a legkedvezőbb zöldidő-arányú, és ezáltal a legnagyobb teljesítőképességű program. Ezért, továbbá mert a programtervezés kiindulási alapja, célszerű **alapprogramnak** nevezni. Az „optimális program” elnevezés helytelen lenne, mivel teljesen független a forgalmi terheléstől.

A  $t_p < t_{pa}$  esetben a teljesítőképességet a (14a) kifejezés alkalmazásával lehet meghatározni. A teljesítőképesség alakulását a 5. ábra mutatja

$$\Sigma t_{bi} - \Sigma t_{k012} = A > 0 \text{ esetre. } (R_t \text{ a körpálya tengelye}).$$



5. ábra A teljesítőképesség alakulása az alapprogramtól eltérő periódusidők esetén. (Négyágú csomópontok)

E csomóponttípus kapacitásgörbéi alapvetően eltérnek a jelzőlámpás kereszteződés kapacitásgörbéitől. Főbb jellemzői:

A teljesítőképességet ábrázoló görbét egy töréspont két különböző jellegű szakaszra osztja. A töréspontban, mely a görbe legmagasabb pontja – az előzőekből következően – az alapprogram kapacitásértéke található. Az ettől balra eső görbeszakasz, mely a  $t_p < t_{pa}$ -nak felel meg, viszonylag meredek esésű, a kisebb  $t_{pa}$  értékek esetén meredekebb, a nagyobbaknál pedig enyhébb hajlással.

A  $t_p > t_{pa}$  szakasz közel vízszintes, ami azt jelenti, hogy ebben a zónában a teljesítőképesség csaknem teljesen független a periódusidő hosszától. A periódusidő hosszabbítása a kapacitást egészen kismértékben csökkenti. Ez a sajátosság igen előnyös összehangolási igények esetén, mivel a teljesítőképesség szinte független a periódusidőtől, tehát igen könnyen csatlakoztatható szinte tetszőleges programhosszúságú összehangolási rendszerekhez.

A teljesítőképességi értékek abszolút értelemben is kedvezően nagyok, melyek – a 3. ábrának megfelelően – a körsugártól függően nőnek. A  $K_a(t_{pa})$  értékek egy ív mentén helyezkednek el. Ha nagyobb  $R_t$  esetén a körpályán sebességkorlátozás ( $v = 50, 60, 70$  km/h) van érvényben, akkor az egyes sebességekhez tartozó görbék csúcserkéi sebességenként egymás felett elhelyezkedő közel vízszintes ívek mentén sorakoznak fel.

A  $< 0$  esetben a töréspont ( $K(t_{pa})$ ) nem a legmagasabb pontja a görbének, hanem attól jobbra haladva még enyhén emelkedik. Amennyiben  $\Sigma t_{bi} - \Sigma t_{k012} = 0$ , akkor a kapacitásgörbének  $t_{pa}$ -n túli része vízszintes. Mindezek a csomópont geometriai kialakítására vonatkozóan arra utalnak, hogy célszerű az alacsonyabb  $t_{pa}$  értékeket elősegítő jellemzőket választani (magasabb  $\Sigma t_{bi}$ , alacsonyabb  $\Sigma t_{k012}$  stb.).

Az 5. ábra alapján megállapítható, hogy ez az irányítási forma a nagy teljesítőképességet igen kedvező periódusidő tartományban nyújtja. Az 50-60 (70) másodperces programoknak már viszonylag nagy a teljesítőképességük.

A legmagasabb teljesítőképességi zóna egybe esik a városi körülmények között használatos periódusidőkkel (70-90-100s) és az itt alkalmazható körméretekkel ( $R_t=20-60$  m). Mindez igen előnyös feltételeket teremt egy rugalmas és forgalomtól függő irányításhoz is.

#### 3.1.4.2.3. Eltérő torkolati terhelések. Az alapprogram módosítása

Az eddigiekben, a teljesítőképesség globális elemzése során nem vizsgáltuk a program belső szerkezetét, az egyes irányok zöldidő-arányait. Ezek valójában a  $t_p \neq t_{pa}$  esetekben is megtartották az alapprogram egyik fontos sajátosságát, éspedig az azonos – ill. közel azonos – hosszúságú zöldidőket. A szabad jelzések aránya 1:1:1 volt. Erre – a speciálisnak tekinthető – esetre, illetve ilyen típusú program alkalmazására azonban csak egészen kisforgalmú időszakokban (pld. éjjel stb.) kerülhet sor. Általános esetnek a torkolati terhelések különbözősége tekintendő.

Az alapprogram módosítása szükségessé válhat

- az alapprogram zöldidő arányától eltérő forgalmi terhelési arányok, és
- az alapprogram teljesítőképességétől eltérő csomóponti forgalmi terhelés esetén

#### Eltérő torkolati terhelések

Az alapprogramon belül a tényleges forgalmi terhelési arányok egyes belépő torkolati szabad jelzéseknek ( $t_{zai}$ ) a megnyújtásával, másoknak pedig a megrövidítésével érhetőek el. A megnyújtás akár a szabad jelzés elején, akár a végén történik, két másik szabad jelzést megrövidít.

Négyágú csomópontban a módosítás többnyire két torkolat szabad jelzésének a hosszabbításával és kettőnek a rövidítésével jár.

Attól függően, hogy a megnövelendő szabad jelzések torkolatai egymás mellett, vagy egymással szemben vannak-e, a programmódosítás eltérő módon hajtandó végre. Ez belátható, ha az ún.

kihataladási feltétel kifejezését (2) a következők szerint bontjuk fel (az egyszerűség és jobb áttekinthetőség érdekében az alaprogram „a” indexének a mellőzésével):

$$2t_p = \Sigma t_{zi} + \Sigma t_{ki} + \Sigma t_{k\delta 21} = (t_{za} + t_{zc} + t_{ka} + t_{kc} + t_{k\delta c 21} + t_{k\delta a 21}) + (t_{zb} + t_{zd} + t_{kb} + t_{kd} + t_{k\delta b 21} + t_{k\delta d 21})$$

A kifejezés tehát két önálló „belső” periódusra bontható:

$$2 t_p = t_{pac} + t_{pbd}$$

melyek hosszúsága – szükségszerűen – azonos. Ezért a továbbiak szempontjából fontos, hogy a csomópont forgalma miként oszlik meg közöttük, azaz hogy

$$F_a + F_c \text{ vagy } F_b + F_d$$

nagyobb-e, illetve hogy a két nagyobb F érték azonos belső periódusban van-e (szemben lévő torkolatok) vagy pedig különbözőben (szomszédos torkolatok). A módosítás szempontjából kedvezőbb, ha a periódusokon belül egy-egy nagyobb és egy-egy kisebb terhelésű torkolat van, azaz, ha a páros és páratlan számú fázisok forgalmi terhelései közel kiegyenlítik egymást.

Szomszédos torkolatok esetén a szabad jelzést nem egymás, hanem a két másik – következőképpen rövidítendő – torkolat szabad jelzése felé kell megnyújtani. Ha például az A és B torkolatok szabad jelzései a terhelési arányoknak megfelelő x illetve y másodperccel nyújtandók, akkor az alaprogramon belül a szabad jelzések összegében – a nyújtással együttjáró rövidülések figyelembe vételével – a módosulás a következő:

$$\Sigma t_z = (t_{za} + x) + (t_{zb} + y) + (t_{zc} - (x+y)) + t_{zd} - (x - y))$$

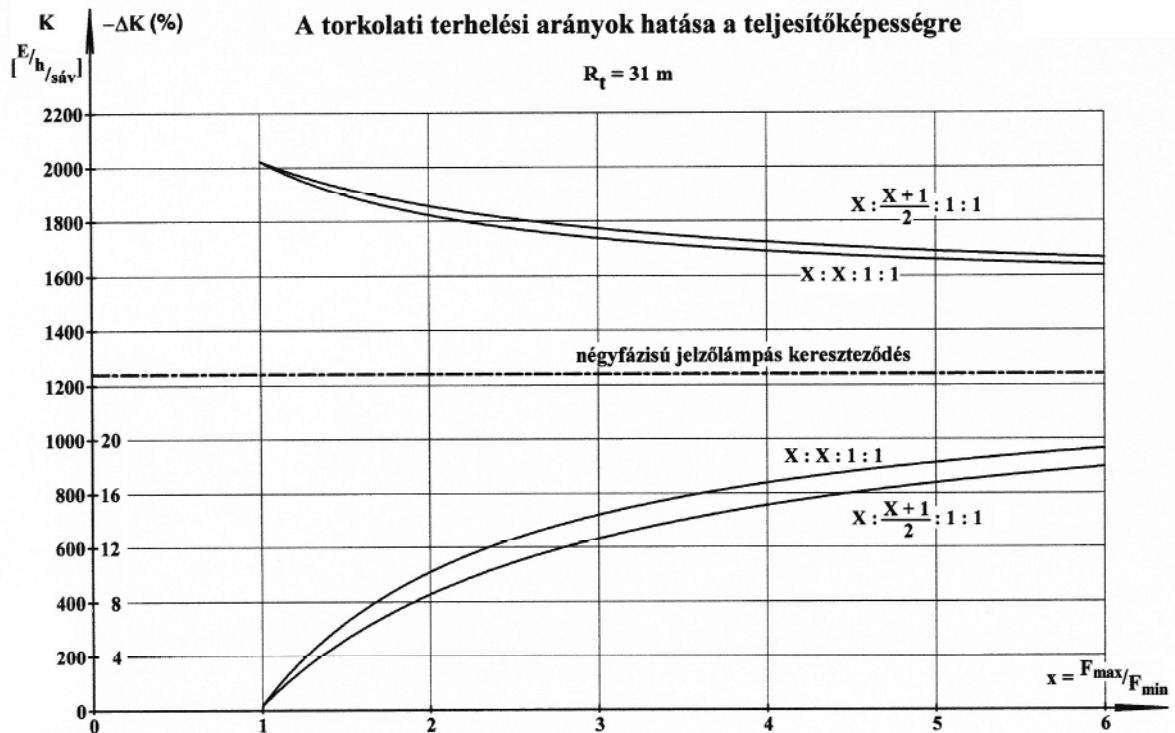
A zárójelek felbontásával:

$$\Sigma t_z = t_{za} + t_{zb} + t_{zc} + t_{zd} - (x + y) = \Sigma t_{za} - (x + y)$$

vagyis a módosítás – az alaprogramtól való eltérés – ezúttal is a teljesítőképesség csökkenésével jár. Ennek nagysága a terhelési arányoknak az 1:1:1:1 aránytól való eltérés mértékétől függ. A torkolati terhelési arányok teljesítőképesség-módosító hatását a 6. ábra mutatja egy konkrét csomópont (Győr FISZ csomópont) példáján. A kapacitás csökkenésének mértéke a szokásos 2,0 -2,5 (3)-szoros eltérések esetén sem lépi túl a 15%-ot és az igen jelentős hatszoros különbség esetén is 20% alatt marad. (Az összehasonlításként feltüntetett kereszteződést szabályozó négyfázisú jelzőlámpa teljesítőképességét még így is jelentősen meghaladja.) A nyújtás maximális értéke akkora lehet, hogy a kisebb irányok mindegyikében biztosítva legyen a minimális szabad jelzés, azaz

$$C(\text{vagy } D) - (x + y) \leq t_{zmin}$$

amennyiben csak egy torkolat szabad jelzésének a növelése szükséges, akkor ez az érték egy irány számára is felhasználható.



6. ábra A torkolati terhelési arányok ( $x$ ) hatása a teljesítőképességre. (Négyágú csomópontok)

Ha a terhelési arányok alapján a szabad jelzések növelése szembenlévő torkolatokban válna szükségessé, az előző kifejezések alapján belátható, hogy ekkor csak a két torkolat egymás közötti helyes zöldidő-arányának a kialakítására van lehetőség. Ebben az esetben ugyanis a két torkolat forgalma azonos belső perióduson belül bonyolítandó le. A másik „belső” periódusban lévő két kisebb forgalmú torkolat szabad jelzésének a rövidítése – fenti aránymódosítás hatásán felül – szükségtelen. Ekkor tehát az alpprogramhoz igen közel álló program működtetendő. Mindez egyben jelzi is a turbina-elv szerinti irányítás korlátját.

Olyan csomópontokban, ahol az egyik útvonal – vagyis az egyik szemben lévő torkolatpár – forgalmi terhelése többszöröse, vagy nagyságrendekkel nagyobb, mint a másik útvonal, illetve torkolatpár terhelése, ott turbina-elvvel a terhelésarányos zöldidők biztosítása, illetve a zöldidők azonos kihasználtsága csak az erősebb irány forgalmi sávszámának a megnövelésével lenne elérhető. Ilyen esetekben ezért nem a turbina-elv szerinti irányítás alkalmazása célszerű.

### Adott teljesítőképességű program tervezése

A feladat egy meghatározott teljesítőképességű ( $K$ ) program előállítása. Ez elsősorban a periódusidőnek ( $t_p$ ) mint legfontosabb jelzésidőtervi paraméternek a meghatározását jelenti. A periódusidő célszerűen – és az esetek túlnyomó többségében – a

$$t_p \leq t_{pa}$$

tartományban keresendő. Az új program hossza egy ismeretlen „ $a$ ” értékkel fog eltérni az alpprogramtól:

$$t_{pa} - t_p = a$$

A (14a) kifejezés alapján a teljesítőképesség:

$$K = \frac{\sum t_{zi} \cdot S_s}{t_p}$$

Alkalmazva a programrövidülés esetén a szabad jelzések összegére érvényes (19) kifejezést és (x) szerinti behelyettesítést:

$$K = \frac{(\sum t_{zai} - 2a)S_s}{t_p - a}$$

Átrendezés után a keresett „a” érték (előjelhelyesen) az alábbi kifejezéssel határozható meg:

$$a = \frac{K \cdot t_{pa} - S_s \cdot \sum t_{zai}}{2 \cdot S_s - K}$$

A keresett K kapacitású program periódusideje:

$$t_p = t_{pa} + a$$

$t_p > t_{pa}$  esetén a (14a), a (16) és (y) kifejezések felhasználásával a programhosszúság módosulása a következő kifejezéssel határozható meg:

$$a = \frac{S_s \cdot \sum t_{zai} - K \cdot t_{pa}}{K - S_s} \quad (26)$$

A keresett K kapacitású program periódusideje:

$$t_p = t_{pa} + a$$

Ez utóbbi kifejezés az alaprogram szabad jelzéseivel azonos zöldidő-arányok esetén érvényes. A torkolatok eltérő terhelését az előző pont szerint vesszük figyelembe.

## 3.2. Háromágú csomópontok

### 3.2.1. Az alaprogram jellemzői

A négyágú jelzőlámpás szabályozású körforgalomra vonatkozó összefüggések jórésze itt is érvényes. Különbség elsősorban a kihaladási és behaladási hosszakban beálló változásból fakad. Amíg a négyágú csomópontban a kihaladási szakasz hossza kb. a körpálya hosszának fele volt, most csak harmada, a behaladási szakasz viszont egynegyedről egyharmadra nőtt. Ez utóbbi azt is jelenti, hogy a ki- ill. behaladási szakaszok hossza azonos lett. A behaladási és kihaladási feltételek (2) és (3) és az azokból következő alaprogram-számítás is változatlanul érvényesek:

$$t_{pa} = \sum t_{ki} + \sum t_{bi} + \sum t_{kői21} - \sum t_{kői12}$$

Alkalmazva a

$$\sum t_{kői21} \approx \sum t_{kői12}$$

$$\sum t_{ki} \approx \sum t_{bi}$$

egyszerűsítő feltételezéseket, akkor

$$t_{pa} \approx 2 T_k$$

ahol  $T_k$  – a körpálya egyszeri körbejárásához szükséges idő.

Ebből következően a periódusidő tehát kb. 1/3-al rövidebb, mint azonos méretű négyágú csomópontban.

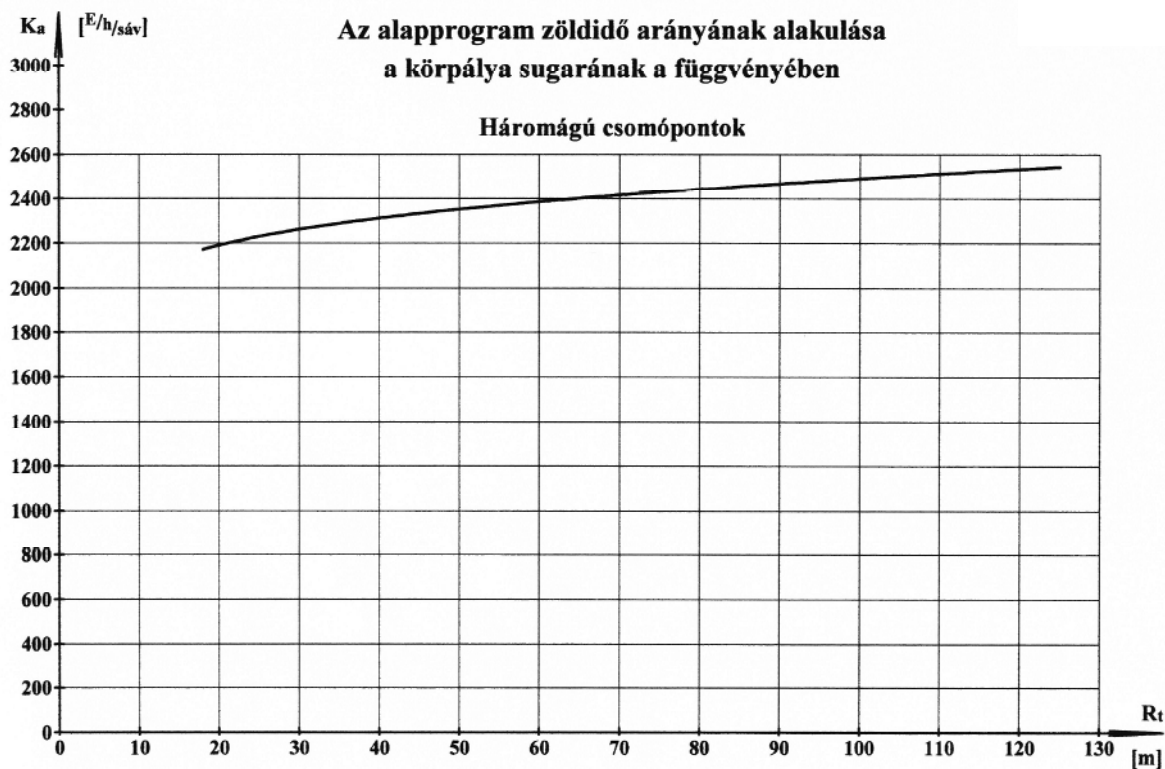


A szabad jelzések összegére vonatkozó kifejezés (13) ezúttal is alkalmazható ugyanúgy, mint a teljesítőképességre vonatkozó (14) számú:

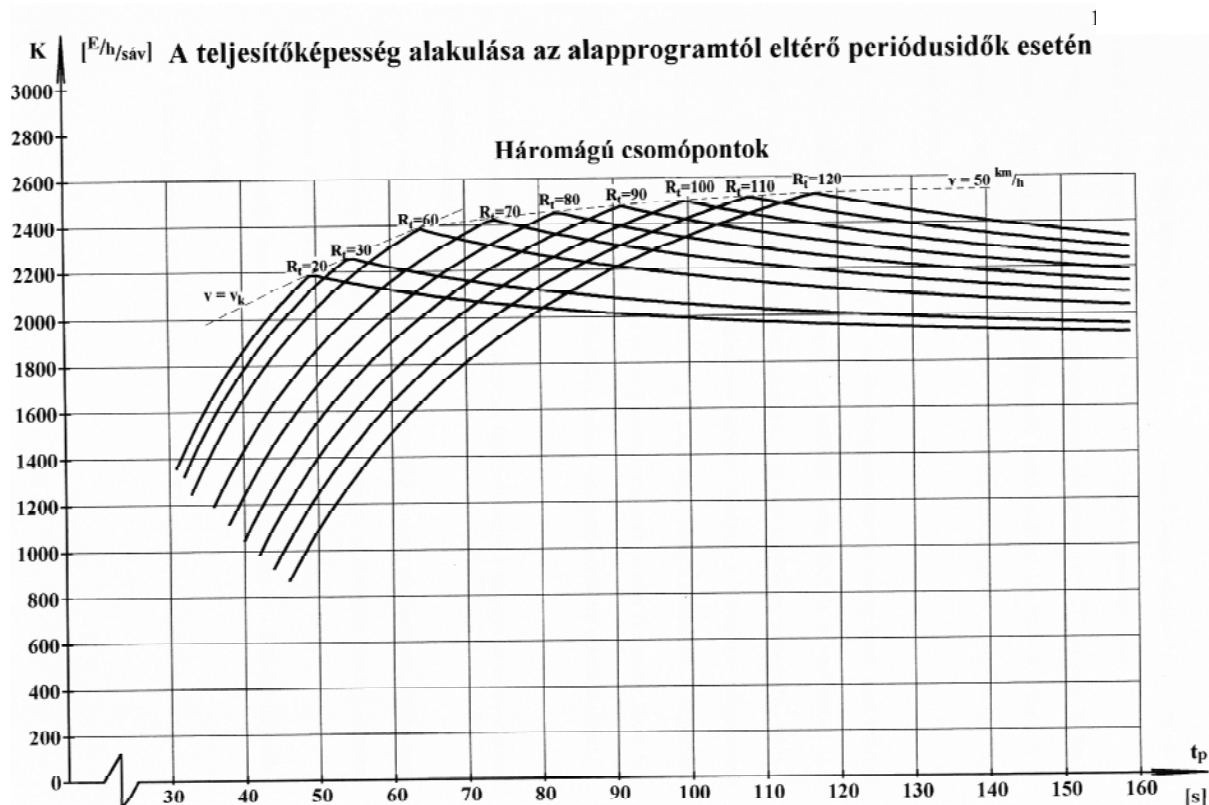
$$\Sigma t_{zi} = t_{pa} + \Sigma t_{bi} - \Sigma t_{k\delta 12}$$

$$K_a = \frac{\Sigma t_{zi} \cdot S_s}{t_{pa}}$$

Az alprogram teljesítőképességét a 7. ábra mutatja. A négyágú csomópontok kapacitásgörbéjéhez képest mindössze annyi az eltérés, hogy annál mintegy 200 E/h-val magasabban halad. Az alprogramtól eltérő periódusidők teljesítőképességi jellemzőit a 8. ábra mutatja.



7. ábra Az alprogram teljesítőképességének alakulása a körpálya sugarának a függvényében. (Háromágú csomópontok)



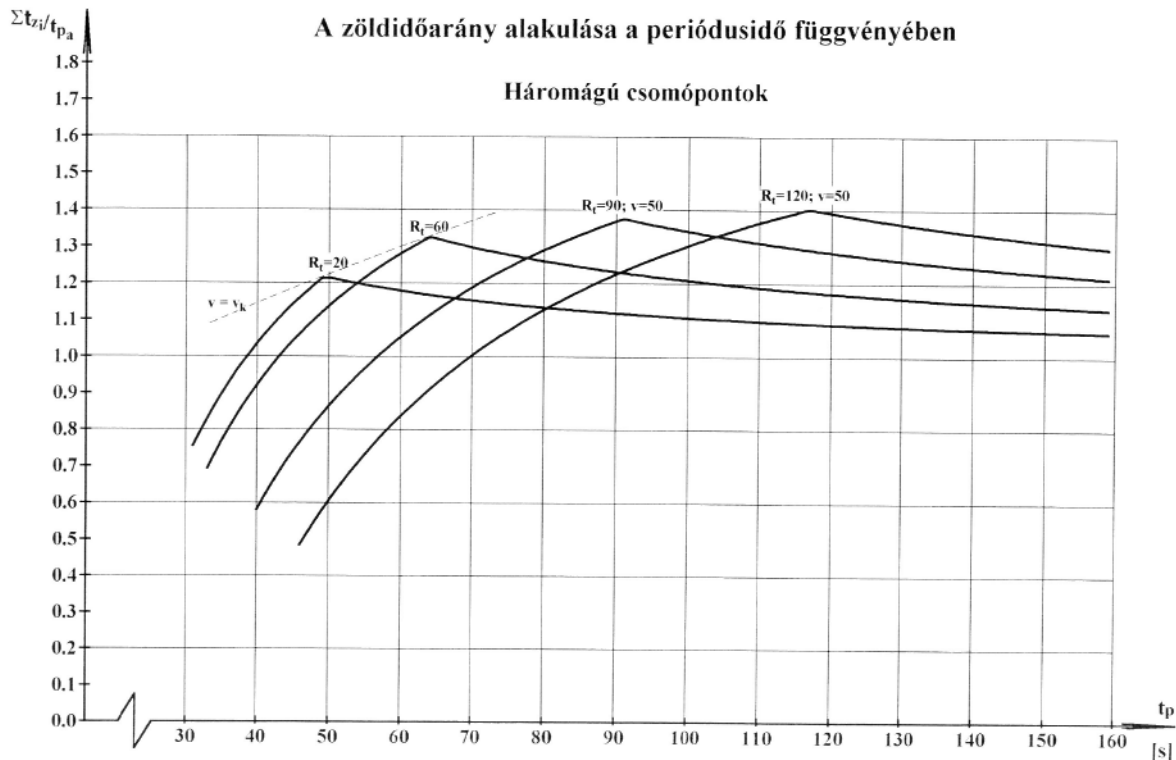
8. ábra. A teljesítőképesség alakulása az alapprogramtól eltérő periódusidők esetén. (Háromágú csomópontok)

A négyágú csomópontok azonos típusú görbéivel meglévő hasonlóság (4. ábra) ellenére jelentős eltérések is mutatkoznak. A háromágú csomópontok kapacitásgörbéi egyrészt

- magasabban haladnak (200-250 E/h) és
- mintegy 15-20 másodperccel balra tolódva helyezkednek el.

Ez azt jelenti, hogy három ág esetén rövidebb periódusidővel nagyobb fajlagos teljesítőképesség érhető el, mint négyágú csomópontban.

A zöldidő-arányokat szemléltető 9. ábra igen kedvező forgalomtechnikai helyzetet mutat. E rendszerben már 35-40 másodperc „hosszúságú” programok is igen nagy teljesítőképességűek lehetnek. A szabad jelzések összege  $t_p = 50$  s-tól kezdődően mintegy 20-40 %-al hosszabb, mint a periódusidő. Mindezen előnyös hatások a háromágú körgeometria alapadottságaiból következnek és a  $\Sigma t_{zi} = t_{pa} + \Sigma t_{bi} - \Sigma t_{k012}$  alapján beláthatók. A négyágúnál relatíve hosszabb összegezett szabad jelzés a negatív tényezők kisebb (kevesebb fázis) és a pozitívak – elsősorban a hosszabb behaladási szakasz – magasabb értékére vezethető vissza.



9. ábra A zöldidőarány alakulása a periódusidő függvényében. (Háromágú csomópontok)

Mindezekből – a négyágú csomóponttal való összehasonlítás alapján – a háromágú rendszer főbb jellemzői:

- azonos körméret esetén mintegy 30%-kal rövidebb program alkalmazható, ami nemcsak a gépjárműforgalom, hanem a gyalogosforgalom és a tömegközlekedési járművek számára is előnyös,
- teljesítőképessége azonos hosszú programmal mintegy 25-35%-kal nagyobb a négyágúénál
- a szabad jelzések időbeli átfedése nagyobb, ezért folyamatosabb a forgalomáramlás
- közepes és kis csomópontméretek ill. program-hosszúság esetén is igen nagy a zöldidő-arány, ezért 2 sávú kiépítésben is igen nagy a teljesítőképessége. Pl.  $R_i = 20$  m-es 2-sávú körpályán 2-sávú csatlakozó utakkal 4300 E/h feletti teljesítőképesség érhető el.
- rövidebb a körpálya mentén szükséges összehangolás és három kordon helyett csak kettő van. Ez kevesebb kötöttséggel jár és nagyobb rugalmasságot nyújt.
- legnagyobb teljesítőképességi zónája egybeesik a leginkább használatos periódusidő-tartománnyal (60-90 s), melyet az egészen rövid zóna (40-45 s) felé még ki is terjeszt, amivel a várakozási idők jelentősen csökkenthetők.

A szabad jelzések terheléssel arányos kiosztásakor figyelembe kell venni e csomóponttípus kötöttségeit. Elsősorban azt, hogy egy előnyben részesítendő, azaz megnövelni kívánt irányval szemben két konkurens irány lép fel, melyek között azonban további érdemleges differenciálásra kiadható szabad jelzés(ek) előny nélküli visszatartásának kivételével – nincs lehetőség.

### 3.2.3. Az alapprogram módosítása

Valamely irány szabad jelzésének a növekedése ( $\Delta t_z$ ) a két másik iránynál azonos mértékű zöldidő csökkenést eredményez. Ennek hatására a zöldidők összege az alábbiak szerint módosul:

$$\begin{aligned}\Sigma t_{zi} &= (t_{zaa} + \Delta t_z) + (t_{zab} - \Delta t_z) + (t_{zac} - \Delta t_z) = t_{zaa} + \Delta t_z + t_{zab} - \Delta t_z + t_{zac} - \Delta t_z = t_{zaa} + t_{zab} + t_{zac} - \Delta t_z \\ \Delta t_{zi} &= \Sigma t_{zai} - \Delta t_z \\ \Delta t_z &= \Sigma t_{zai} - \Delta t_{zi}\end{aligned}$$

A módosítás, azaz az alapprogramtól való eltérés ezúttal is kapacitáscsökkenéssel jár. Kérdés, hogy az arányok módosítása és a kapacitás csökkenése között milyen összefüggés van. Az arányosításban csak két irány vesz részt, a harmadik a kisebbikkel megegyezően módosul.  $\Delta t_z$  nem más, mint az alapprogramban egy irány számára adott szabad jelzéstől való eltérés (másodperc). Az alapprogramban

$$t_{zaa} \approx t_{zab} \approx t_{zac} \approx \frac{\sum t_{zai}}{3} = \bar{t}_{zai}$$

belátható, hogy a megnövelt zöldidő és az átlagérték különbsége  $\Delta t_z$ , azaz

$$t_{zaa} - \bar{t}_{zai} = \Delta t_z$$

A módosítás célja, hogy a szabad jelzések aránya megegyezzen a torkolatok forgalomnagysága egy sávra jutó értékének arányával.

Legyen az egyes torkolatok forgalmának nagysága

$$F_a > F_b > F_c$$

és legyen

$$\frac{F_a}{F_b} = x$$

Elérendő, hogy  $\frac{t_{za}}{t_{zb}} \cong x$  értéket vegyen fel.

Az új arányok kialakításához  $t_{zaa} + t_{zab}$  hosszúságú szabad jelzés áll rendelkezésre. Az új arányoknak megfelelő hosszúságú szabad jelzések:

$$t_{za} = \frac{(t_{zaa} + t_{zab}) \cdot x}{(x + 1)}$$

$$t_{zb} = \frac{t_{zaa} + t_{zab}}{(x + 1)}$$

A  $t_{zaa} + t_{zab} = \frac{2 \cdot \sum t_{zai}}{3}$  behelyettesítéssel képezve az új, hosszabb zöldidőnek és az alapprogram zöldidejének ( $t_{zai}$ ) különbségét, mint  $\Delta t_z - t$

$$\Delta t_z = \frac{2 \cdot x \cdot \sum t_{zai}}{3(x + 1)} - \frac{\sum t_{zai}}{3}$$

Az egyenletrendezés után az aránymódosítás és a zöldidő-csökkenés közötti kapcsolatra az alábbi kifejezést kapjuk

$$\Delta t_z = \frac{\sum t_{zai}(x-1)}{3(x+1)} \quad (27)$$

Igen fontos lehet, hogy az egyes csomópontok milyen mértékű arányeltolódást viselnek el, azaz mekkora lehet  $x$  maximális értéke ( $x_{\max}$ ). Ennek nagysága a zöldidők összegezett értékétől, az pedig a körpálya sugarától ( $R_t$ ) függ.

Biztosítva, hogy a maximális arány esetén a legrövidebb szabad jelzés min. 5s legyen, az előző kifejezés felhasználásával a következő összefüggés írható fel:

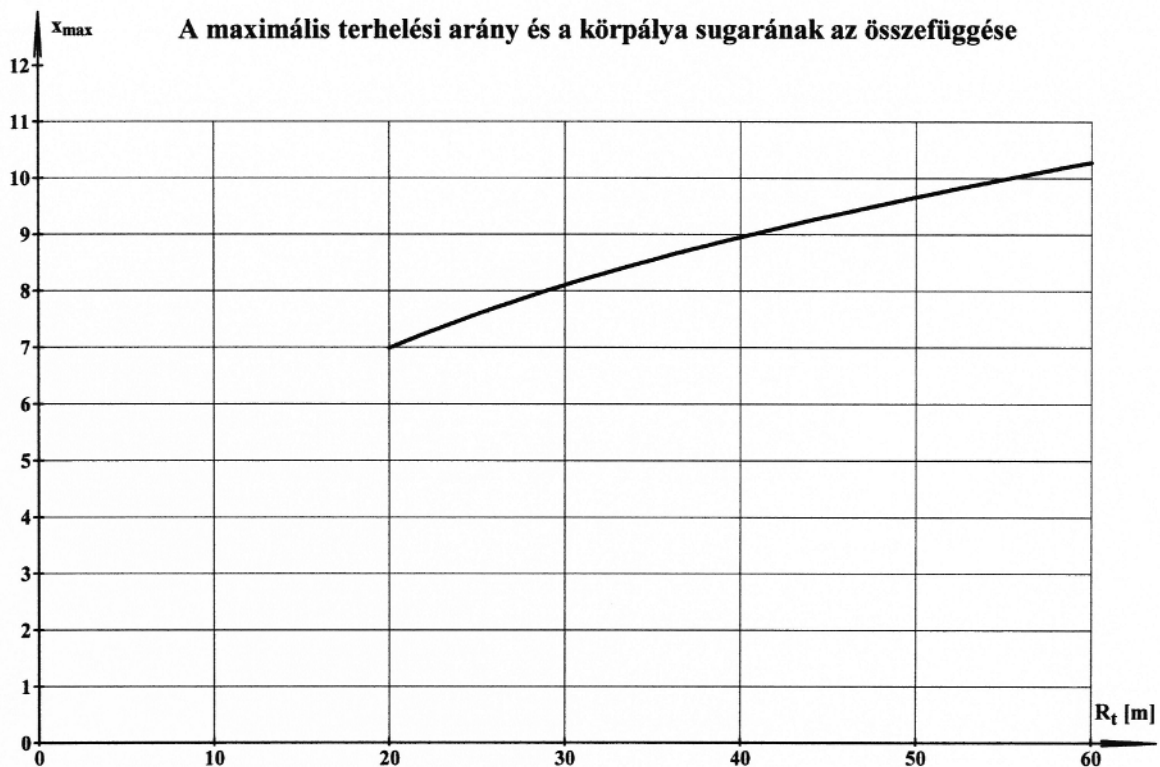
$$\frac{\sum t_{zai}}{3} - \frac{\sum t_{zai}(x_{\max}-1)}{3(x_{\max}+1)} = 5$$

Az egyenlet rendezése után a maximális zöldidő-arány:

$$x_{\max} = \frac{2 \cdot \sum t_{zai} - 15}{15} \quad (28)$$

A csomóponttervezés során igen fontos annak ismerete, hogy a lebonyolítani kívánt maximális terhelési arányok milyen összefüggésben vannak a geometriai kialakítás paramétereivel (forgalmi sávok száma, körpálya sugara).

A maximális terhelési arány és a körpálya sugarának összefüggését a 10. ábra mutatja be. A háromágú csomópont e szerint igen nagy rugalmasságú, mivel már kis sugárral, hétszeres terhelésbeli különbséggel is megfelel, mely érték a sugár növekedésével még tovább emelkedik. A szabad jelzések módosítása a  $t_p < t_{pa}$  illetve  $t_p > t_{pa}$  esetekben is az eddigiekben leírtak szerint történik. A kifejezésekben  $\Sigma t_{zai}$  helyére  $\Sigma t_{zi}$  érték helyettesítendő be.



10. ábra A maximális terhelési arány és a körpálya sugarának az összefüggése. (Háromágú csomópontok)

### 3.3. Ötágú csomópontok

#### 3.3.1. Az alapprogram jellemzői

A főbb forgalomtechnikai jellemzők meghatározása az előzőekben ismertetett elvek, illetve kifejezések alapján történik, mindössze néhány – a torkolatok számával és a körbejárás jellemzőivel összefüggő – paramétert kell módosítani.

A kihaladási hossz – azonos  $R_t$  esetén – itt a leghosszabb, míg a behaladási szakasz – az előzőekhez képest – itt a legrövidebb.

A behaladási és kihaladási feltételek ezúttal is érvényesek, valamint az ezek alapján meghatározható alapprogram számítása is:

$$t_{pa} = \Sigma t_{ki} + \Sigma t_{bi} + \Sigma t_{k\delta 21} - \Sigma t_{k\delta 12}$$

Az összegezett ki- és behaladási időigényre ezúttal a következő közelítő összefüggés érvényes:

$$\Sigma t_{ki} = 3 \cdot \Sigma t_{bi}$$

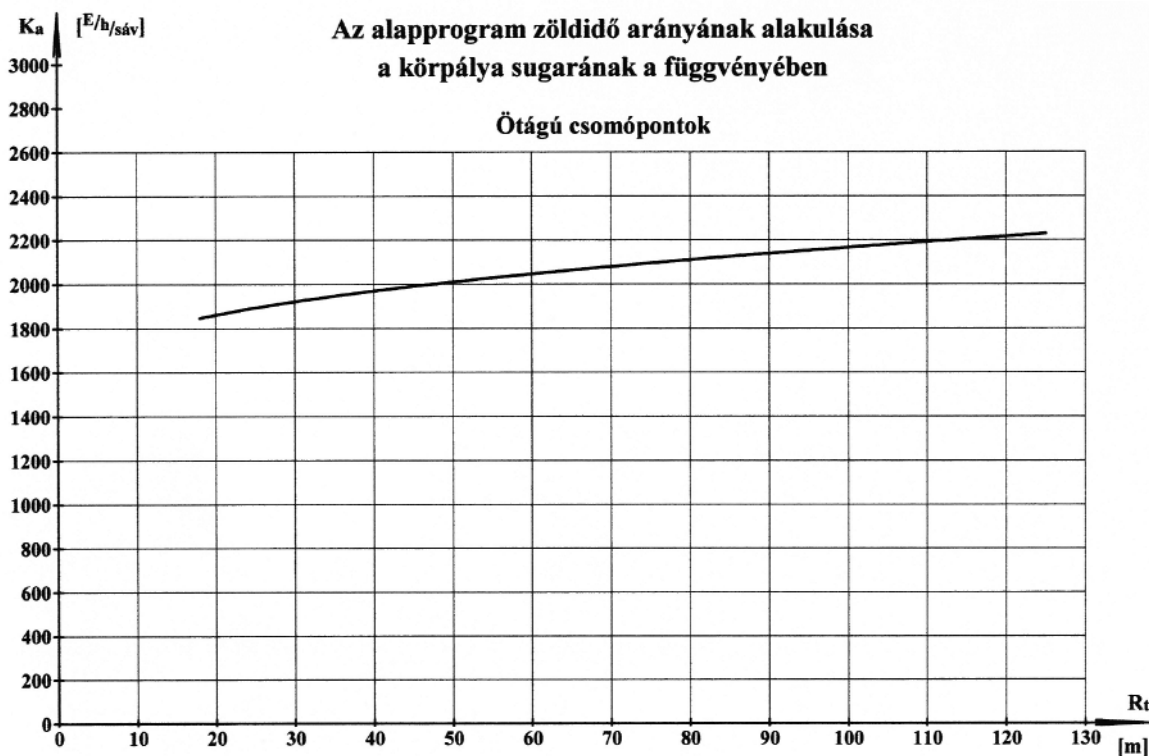
alkalmazva ezt, valamint a

$$\Sigma t_{k\delta 21} = \Sigma t_{k\delta 12}$$

egyszerűsítő feltételt, az alapprogram periódusidejére az alábbi közelítő érték adódik:

$$t_{pa} = 4 \cdot T_k$$

ahol  $T_k$  – a körpálya egyszeri körbejárásához szükséges idő.

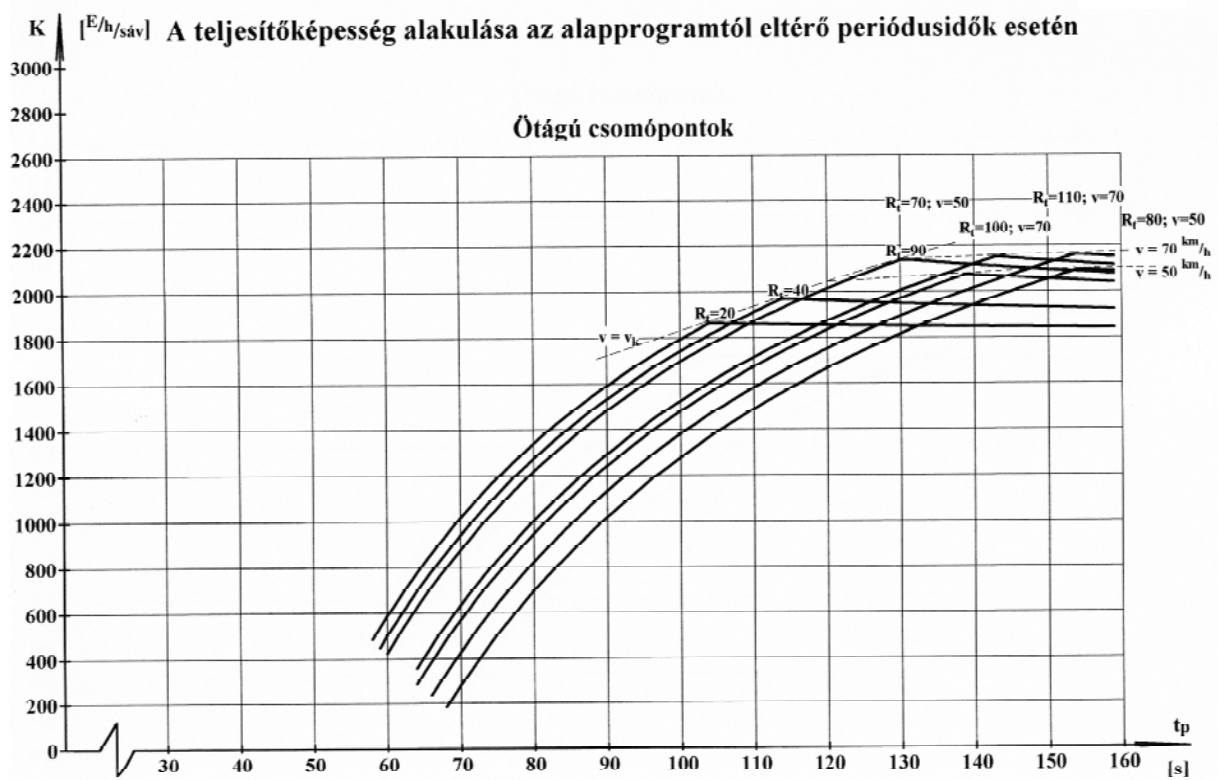


11. ábra Az alapprogram teljesítőképességének alakulása a körpálya sugarának a függvényében. (Ötágú csomópontok)

Az alapprogram teljesítőképességét a 11. ábra mutatja. A teljesítőképességet ábrázoló görbe mintegy 100-150 E/h értékkel alacsonyabban halad, mint a négyágú csomóponté, vagyis ez a csomóponttípus a legkevésbé teljesítőképes az eddigiek közül.

Az alapprogramtól eltérő periódusidők teljesítőképességi jellemzőit a 12. ábra mutatja. Az előző csomópontokhoz képest itt szükségesek a leghosszabb periódusidők és ennek ellenére itt adódnak a legkisebb teljesítőképességi értékek.

A csomópont teljesítőképességét ugyanis kedvezőtlenül befolyásolja, hogy a szabad jelzés hosszát növelő összetevő, a  $\Sigma t_{bi}$  ennél a csomóponttípusnál viszonylag a legkisebb, míg az azt csökkentő tényezők, a  $\Sigma t_{ki}$  és a  $\Sigma t_{ko21}$  itt a legnagyobbak. Mindezek ellenére az ötágú csomópont jelzőlámpás körgeometriájú szabályozással minden kapcsolatot megad, biztonságosan működő csomóponttá tehető. Ez jelzőlámpás irányítású hagyományos kereszteződéssel nem lenne lehetséges.



12. ábra A teljesítőképesség alakulása az alapprogramtól eltérő periódusidők esetén. (Ötágú csomópontok)

## Irodalom

- [1] Hallworth, M.S.: Signalling roundabouts. TEC 33 (1992), Heft 6.
- [2] Einsatzkriterien für grosse Kreisverkehrsplätze mit und ohne Lichtsignalanlage an klassifizierten Strassen. Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik. Heft 788. 2000. Herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen.
- [3] SCHNABEL/LOHSE:Grundlagen der Strassenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung. Band 1. Verkehrstechnik. Verlag für Bauwesen. Berlin 1997.
- [4] Beschreibung von Verkehrsabläufen an signalisierten Knotenpunkten. Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik. Heft 693. 1994. Herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr.
- [5] Dr. Maklári J.: A jelzőlámpás forgalomirányítás időszerű kérdései. Városi Közlekedés (VK), 2001/2
- [6] Dr. Maklári J.: Jelzőlámpás szabályozású körgeometriájú csomópontok jelzésidőtervi alapösszefüggései – II. rész. VK. 2002/3
- [7] Dr. Maklári J.: Jelzőlámpás szabályozású körgeometriájú csomópontok alkalmazási kérdései – Külföldi példák. VK 2002/4