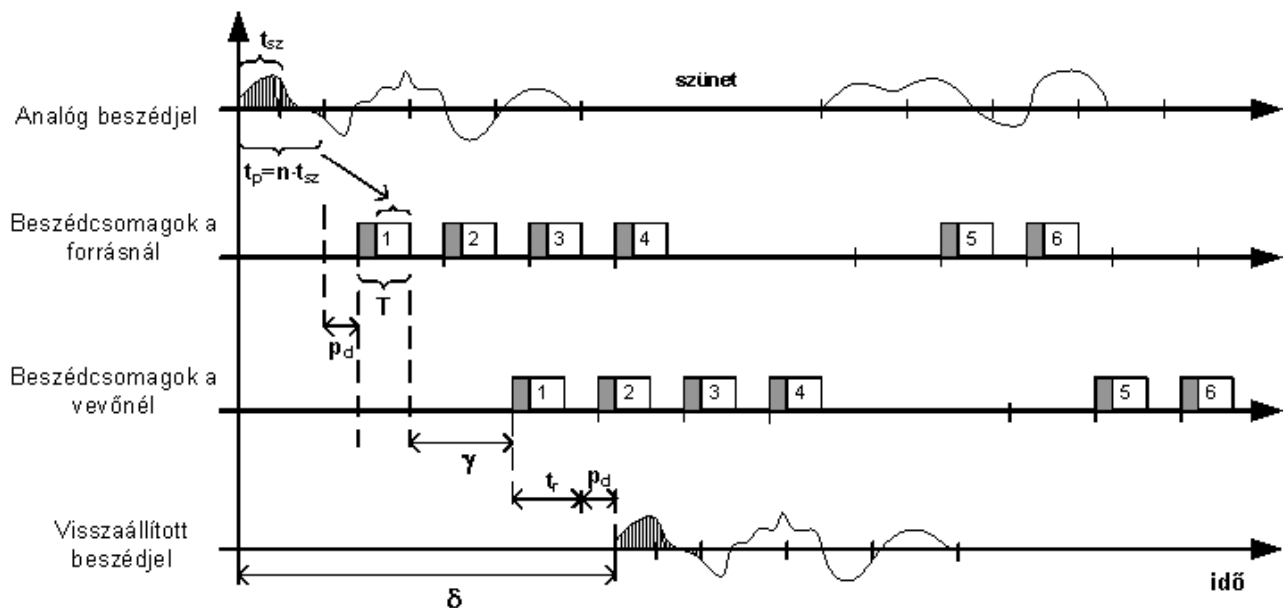


## 11. gyakorlat: VoIP átvitel; Forgalmi méretezés

### O.11.1. Késleltetések a VoIP átvitel során

Azt, hogy mennyi beszédsegmentet tudunk egy csomagba tenni, a beszédminták késleltetésének maximális megengedett értéke határozza meg. (Ez 150ms – 200ms, irodalmi forrástól és használati módtól függően). A befolyásoló tényezők a szegmenshossz ( $t_{sz}$ ), az, hogy mennyi szegmenst pakolunk egy csomagba ( $n = t_p/t_{sz}$ ), a kódoló működési sebességéből adódó késleltetés ( $p_d$ ), a csomag-továbbítási idő ( $T$ ) (pl. amíg az első csomagot megérkezettnek tekinthetjük a dekódoláshoz), a jelterjedésből fakadó késleltetés ( $\gamma$ ), a vevő oldali sorbanállási ( $t_r$ ), valamint kicsomagolási késleltetés ( $p_d$ ). Ha egy csomagban  $n$  beszédsegment van, akkor a késleltetés:

$$\delta = n \cdot t_{sz} + p_d + T + \gamma + t_r + p_d$$



### O.11.2. Hagyományos tömegkiszolgálás-elmélet

A távközlési hálózatok és erőforrások tervezésének folyamatát megkönnyítő tömeg-kiszolgálási és sorbanállási elméletek az élet számos területére beszivárogtak. Itt csak ezek első jelentős képviselőivel, az ún. Erlang formulákkal foglalkozunk.

Az Erlang B-formula annak a számítására szolgál, hogy ha egy adott (nagy) sokaságú felhasználó-tömeg által felajánlott forgalom kiszolgálásához bizonyos számú kiszolgáló egységet (pl. szerver, beszédáramkör, banki pénztáros, stb.) tudunk alkalmazni, akkor mennyi lesz a blokkolási valószínűség, azaz annak a valószínűsége, hogy egy felhasználó nem jut azonnal kiszolgálóhoz.

Az Erlang C-formula segítségével ezzel szemben annak a valószínűségét tudjuk kiszámolni, hogy a felhasználónak várakoznia kell a kiszolgálásra. gyakorlatban ennek a számításához a felajánlott forgalom és a kiszolgálók száma mellett még olyan összetevőket is figyelembe vesznek, mint az átlagos és maximális várakozási idők. A formulákban  $A$  a felajánlott forgalom,  $N$  pedig a kiszolgálók száma.

Az előadáson a formulák így szerepeltek:

A felajánlott forgalmat a hívásintenzitás és az átlagos tartási idő szorzataként számíthatjuk:  $A = h \cdot \lambda$ .

Erlang B:

$$P_B = \frac{\frac{A^N}{N!}}{\sum_{x=0}^N \frac{A^x}{x!}}$$

Erlang C:

$$P_C(>0) = \frac{\frac{A^N e^{-A}}{N!} \frac{N}{N-A}}{1 - P + \frac{A^N e^{-A}}{N!} \frac{N}{N-A}}$$

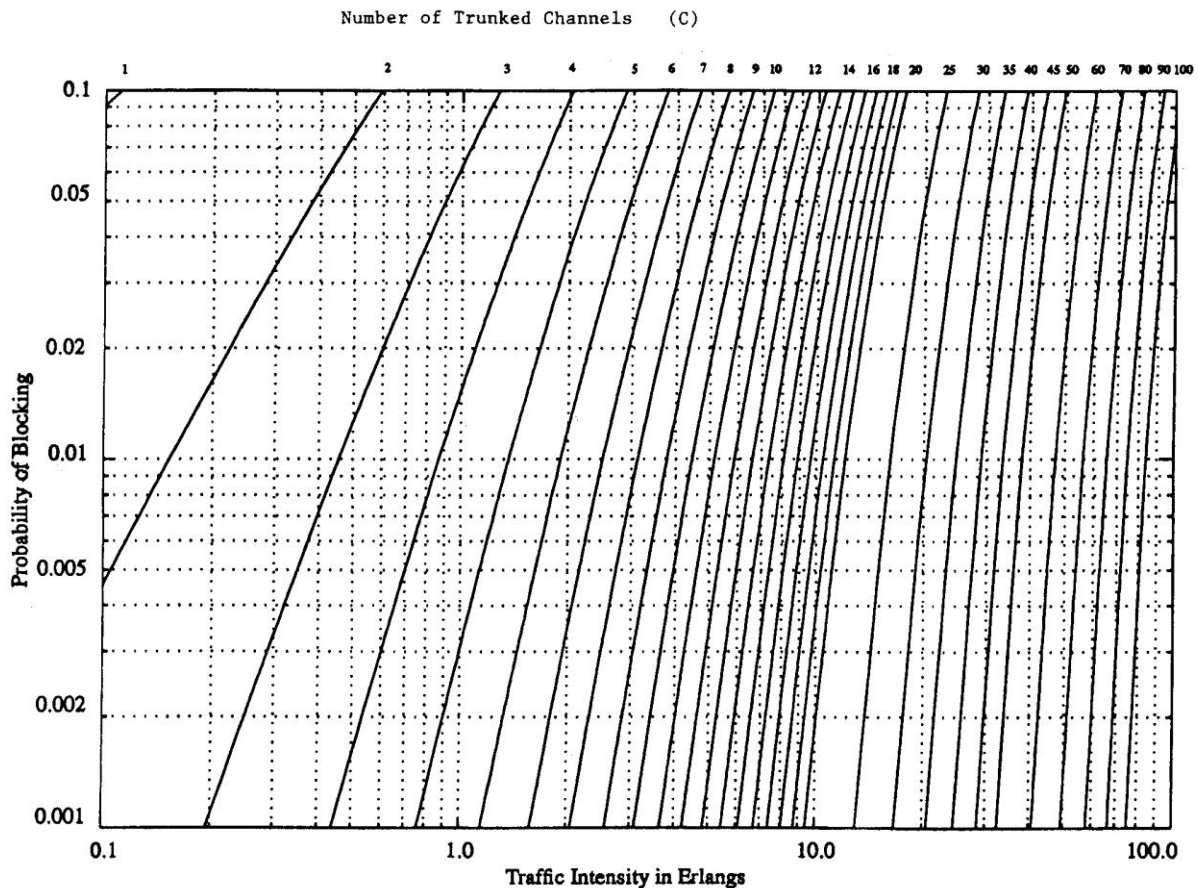
## 11. gyakorlat: VoIP átvitel; Forgalmi méretezés

Itt  $h$  az átlagos tartási idő,  $\lambda$  pedig a hívásintenzitás, azaz adott idő alatt indított hívások száma. A mértékegységekre csak az a szabály van, hogy az idődimenziók egyezzenek. A felajánlott forgalom mértékegysége erlang (E).

Egy kiszolgáló átlagos kihasználtsága így számítható:  $a = A/N [1-P_B]$ .

A kiszolgálás időtartamának (pl. híváshosszak..) eloszlását jó közelítéssel számíthatjuk az exponenciális eloszlás eloszlásfüggvényével:

$$F(x) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x} & , x \geq 0, \\ 0 & , x < 0. \end{cases}$$



The Erlang B chart showing the probability of blocking as functions of the number of channels and traffic intensity in Erlangs.

## 11. gyakorlat: VoIP átvitel; Forgalmi méretezés

### P.11.1. VoIP sávszélesség tervezés -alapozás

VoIP-átviteli megvalósításunkhoz a G.723.1 kodek 5.3kbps bitsebességű változatát (ACELP, Algebraic Code Excited Linear Prediction) használjuk. Ennél a kodeknél egy beszédsegment mérete:  $l_p = 20$  byte; egy csomagba egy beszédsegmentet csomagolunk. Tudjuk emellett, hogy az átvitel során használt csomagfejrészek önmagukban (a beszédsegmentek nélkül) 47 byte-ot tesznek ki.

a) Mennyi a beszéd csomagsebessége?

b) Mennyi a hívásonkénti sávszélesség?

Megoldás:

a) Mennyi a beszéd csomagsebessége?

Egy csomagban a hasznos adatok mérete:  $n \cdot l_p = 20$  byte. ( $n=1$  esetünkben)

Ebből a nyers beszéd csomagsebessége =  $5.3\text{ kbit/s} / 20 \cdot 8\text{ bit} = 33.125$  pps (packet per second), azaz a kodek ilyen sebességgel adja ki magából az adatokat.

b) A teljes csomag, mindenféle fejrészekkel:  $47\text{ byte} + 20\text{ byte} = 67\text{ byte}$ .

A hívásonkénti sávszélesség:

$$B_c = 67 \cdot 8 [\text{bit/packet}] \cdot 33.125 \text{ pps} = 17.755\text{ kbit/s}.$$

### P.11.2. VoIP sávszélesség tervezés – kicsit részletesebben

Cégünk egyik telephelyére hagyományos telefon-alközpont helyett VoIP megvalósítást választunk. Ismerjük a következő kritériumokat:

Kodek: G.729

➤ Egy beszédminta mérete:  $l_p = 10$  byte

➤ Egy beszédminta szegment hossza:  $t_p = 10$  ms

➤ A kódolási és csomagolási késleltetés csomagonként az adó és a vevő oldalon is egyaránt:  $d_p = 5$  ms

Tudjuk emellett, hogy a csomagfejrészek a következő többlet-információval terhelik a beszédinformációt hordozó csomagokat:

➤ Layer2 alagutazás (tunneling) overhead (CRC-t is tartalmazza): 6 byte

➤ IP header: 20 byte

➤ UDP header: 8 byte

➤ RTP header: 12 byte

➤ (Frame flag: 1 byte)

A vevő oldalon a sorbanállási késleltetés nem haladja meg a 10ms-t.

a) Mekkora a forrássebesség?

b) Mennyi a beszéd csomagsebessége?

c) Mennyi a hívásonkénti sávszélesség?

d) Hogyan módosul ez, ha a hívásfelépítési/karbantartási vezérlőüzenetek miatt még további 5% forgalmi terheléssel számolunk?

Megoldás:

a) A forrássebesség a kodek adatai alapján:

$$v_s = l_p / t_p = (8 \cdot 10)\text{ bit} / 0,01\text{ s} = 8 \text{ kbit/s}$$

b) Először is tisztázzuk, mennyi beszédsegment fér egy csomagba úgy, hogy nem lépjük túl a késleltetési kívánalmakat!

Ha egy csomagban  $n$  beszédsegment van, akkor a késleltetés (lásd a bevezetőben is):

$$\delta = n \cdot t_{sz} + p_d + T + \gamma + t_r + p_d$$

➤ A szegmenthossz ( $t_{sz}=10\text{ms}$ ) adott.

➤ A kódoló működéséből és a csomagolásból (tömörítés, look-ahead,...) adódó késleltetés (packetizing delay) további  $p_d = 5\text{ms}$ , csomagonként.

## 11. gyakorlat: VoIP átvitel; Forgalmi méretezés

- A csomagtovábbítási idő ennél már 2.048Mbps előfizetői hozzáférési vonalon is egy nagyságrenddel kisebb (kb. 100 byte-os csomagokkal számolva - miért ekkorával!? - is  $T \approx 0.4$  ms-os értéket kapunk).
- A jelterjedési időből adódó késleltetés nem elhanyagolható mértékű.
- Üvegszálaban cca. 200 000 km/s. A Föld legtávolabbi pontjára 20 000 km a késleltetés  $\gamma=100$  ms, más kérdés, hogy nem ezzel a worst case-el szoktak számolni (inkább 70ms).
- A vevő oldali késleltetésre ( $t_r$ ) a sorbanállás (max. 10ms-ra szoktak tervezni), valamint a kicsomagolás ( $p_d$ ) miatt kell számítani.

Ezek alapján  $\delta$  [ms] =  $n \cdot 10 + 5 + 0.4 + 100 + 10 + 5 = n \cdot 10 + 120.4$

Ha a késleltetésre adott 150 ms-os korlátot be szeretnénk tartani, akkor  $n = 2$  beszéd-szegmenseket tudunk egy csomagba csomagolni (de akár 3 is beleférhetne, ha szélsőségesen tervezünk). Így tesznek a G.729-et használó gyártók is.

- Egy csomagban a hasznos adatok mérete:  $n \cdot l_p = 20$  byte.
- Ebből a nyers beszéd csomagsebessége =  $8\text{kbit/s} / 20 \cdot 8\text{bit} = 50$  pps (packet per second), azaz a kodek ilyen sebességgel adja ki magából az adatokat.

c) A teljes csomag, mindenféle fejrészekkel:  $47\text{byte} + 20 \text{ byte} = 67 \text{ byte}$ .

A hívásonkénti sávszélesség:

$$B_c = 67 \cdot 8 \text{ [bit/packet]} \cdot 50 \text{ pps} = 26,8\text{kbit/s}.$$

d) Tanultuk, hogy (főleg) a hívásfelépítési/karbantartási vezérlőüzenetek miatt még további kb. 5% forgalmi terheléssel érdemes számolni.

- A hívásonkénti *valódi* sávszélesség-igény (+5%):  $28,1 \text{ kbit/s}$

### P.11.3 A tartási idő eloszlása

A hívások hány százaléka után fizetnek 30, 60, 90, illetve annál több forintot azok, akik olyan tarifacsomagot választottak, amiben minden megkezdett percért 30 forintot kell fizetni, ha tudjuk, hogy az ő beszélgetéseik átlagos tartási ideje 2 perc? (A híváshosszak eloszlása nagyon jó közelítéssel exponenciálisnak tekinthető.)

#### Megoldás

Ha a híváshosszak eloszlása exponenciálisnak tekinthető, és átlaguk 2 perc, akkor a percet véve alapegységként az eloszlás paramétere:  $\lambda = 0.5$ .

Az exponenciális eloszlás eloszlásfüggvénye:

$$F(x) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x} & , x \geq 0, \\ 0 & , x < 0. \end{cases}$$

- 30 forintot akkor fizet valaki, ha megkezdte a hívást, és kevesebb, mint 1 percet telefonált – ekkor a behelyettesítendő változó  $x = 1$ .  $F_{\text{exp}}(x=1) = 0.3935$ , azaz a hívást indítók 39.35%-a így jár.
- 60 forintot az 1 és 2 perc közötti hosszúságú hívást bonyolítók fizetnek:  $F_{\text{exp}}(x=2) - F_{\text{exp}}(x=1) = 0.6321 - 0.3935 = 0.2386$ , azaz a hívások 23.86%-át érinti ez.
- 90 forintot a 2 és 3 perc közötti hosszúságú hívást bonyolítók fizetnek:  $F_{\text{exp}}(x=3) - F_{\text{exp}}(x=2) = 0.7769 - 0.6321 = 0.1448$ , azaz a hívások 14.48%-a ilyen.
- Több, mint 90 forintot  $1 - F_{\text{exp}}(x=3) = 0.2231$ , azaz a telefonálások 22.31%-áért fizetnek.

### P.11.4. Az Erlang B formula és diagram bevezetéséhez

Egy szerver állomáshoz a kliensek a nyilvános telefonhálózaton keresztül csatlakozhatnak. Egy forgalmas órában átlagosan 120 hívás érkezik és egy-egy hívás kiszolgálásának várható értéke 20 perc.

- Mekkora a felajánlott forgalom?
- Hány telefonos interfészre van szükség, ha azt akarjuk, hogy a foglaltság valószínűsége ne haladja meg a 2%-ot?
- Hány %-os egy interfész kihasználtsága?

## 11. gyakorlat: VoIP átvitel; Forgalmi méretezés

d) Mekkora az egyidejűleg foglalt interfészek darabszámának várható értéke?

### Megoldás:

a) A felajánlott forgalmat a hívásintenzitás és az átlagos tartási idő szorzataként számíthatjuk:  $A = h \cdot \lambda$ .

A feladatban a felajánlott forgalom:  $A = h \cdot \lambda = 20 \text{ [perc]} \cdot 2 \text{ [1/perc]} = 40 \text{ erlang}$ .

b) A feladat megoldásához használjuk az Erlang B diagramokat. A 2% blokkolási valószínűség görbéje a 40 erlangos vonalat 50 alatt metszi – tehát legalább 50 kiszolgáló (telefonos interfész) kell. Megjegyezhetjük, hogy ha E1-es vonalakban gondolkozunk, akkor 2 kétirányú E1-re van szükségünk (ez tipikusan 60 beszédcsatorna).

c) Egy interfész átlagos kihasználtsága  $a = A/N [1-P_B]$

➤ itt N a kiszolgálók száma, esetünkben 51,

➤  $P_B$  a blokkolási valószínűség, esetünkben 2%.

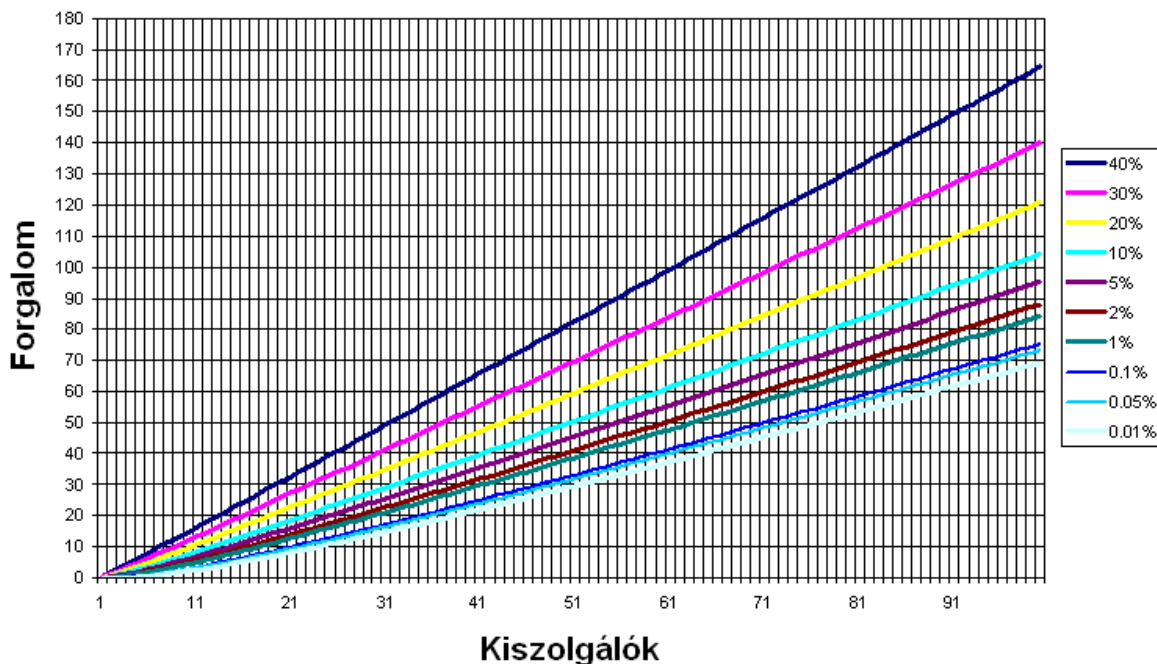
Azaz:  $a = 40 / 50 [1-0.02] = 0.784$ . Az átlagos kihasználtság tehát 78.4% (bő háromnegyed-gőzzel megy átlagosan).

d) Ha egy interfész átlagos kihasználtsága 78.4% és van 50 (...vagy akármennyi...) ilyen interfészünk, akkor a sok független, átlagos kihasználtságú interfész alkotta rendszer átlagos kihasználtsága is 78.4% lesz. Az 50 interfészből egyidejűleg várhatóan

$50 \cdot 0.784$ , azaz 40 lesz foglalt.

(„Milyen érdekes, hogy számszakilag ez megegyezik a felajánlott forgalommal.”)

## Erlang B



### P.11.5. Hívástartási valószínűség és Erlang B – még egyszer

Egy tömegkiszolgáló rendszerben (ahol a felhasználók száma jóval nagyobb a kiszolgáló egységek számánál) mérésekkel megállapítottuk, hogy a hívásintenzitás értéke a forgalmas órában 2.48 hívás félpercenként, valamint hogy a másfél percnél hosszabb ideig tartó hívások gyakorisága (előfordulási valószínűsége) 0.6.

a) Mekkora a felajánlott forgalom?

b) Hány kiszolgáló egységet kell telepíteni, ha a torlódás valószínűsége nem haladhatja meg a 0.01% szintet?

c) Mennyi lesz így a rendszer átlagos kihasználtsága?

## 11. gyakorlat: VoIP átvitel; Forgalmi méretezés

### Megoldás

Többféleképpen megoldhatjuk a feladatot – csak figyeljünk a dimenziók egyeztetésére!

Egy hagyományos megoldás:

a) Perces időalappal számolva az exponenciális eloszlás „1.5 perc feletti maradékát”:

$$1 - F_{\text{exp}}(x=1.5) = e^{-\lambda \cdot 1.5} = 0.6, \text{ amiből}$$
$$-\lambda \cdot 1.5 = \ln 0.6 = -0.5108$$
$$\lambda = 0.3406$$

A felajánlott forgalom:  $A = h \cdot \lambda_i$

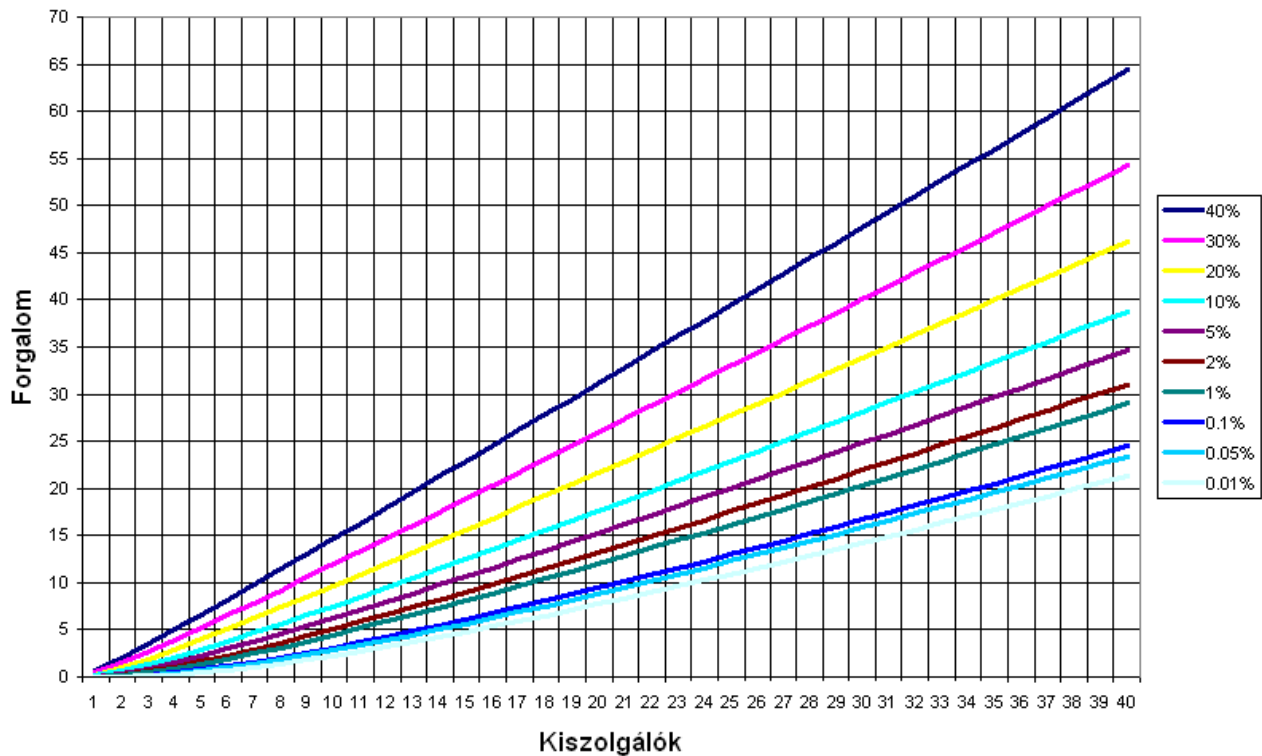
- ahol a  $\lambda_i$  a hívásintenzitás - nem ugyanaz, mint az exp. eloszlás paramétere - semmi közük egymáshoz!! Képletszerűen véletlenül mindkettőre ugyanazzal a betűvel hivatkozunk – de nem a képleteket sulykoljuk, ugye, hanem a jelentésüket. (Könnyítésül itt önhatalmúan  $i$  indexet használok).  $\lambda_i = 2.48 / 0.5\text{perc} = 4.96$  hívás percenként.

Itt  $h$  az átlagos tartási idő, ami épp az exp. eloszlás várható értékének reciproka, azaz  $h = 2.94$  perc (mivel ilyen „időalappal” számoltunk).

Ezekből  $A = 2.94 [\text{perc}] \cdot 4.96 [1/\text{perc}] = 14.58$  erlang.

(Megj: 1.5 perces, vagy bármi más időalappal számolva ugyanez jön ki, csak jól kell egyeztetnünk.)

### Erlang B



b) A kiszolgáló egységek száma (a 0.01%-nál kisebb blokkolási valószínűséghez) legalább 31.

Megjegyezhetjük, hogy ha E1-es vonalakban gondolkozunk, akkor „hivatalosan” nem elegendő egyetlen kétirányú E1 a maga 30 beszédcsatornájával. Ellenben mérnökök vagyunk („leszünk”), így más tényezők figyelembevételével (pl. ár/érték arány) kiegyezhetünk egy kétirányú E1-ben.

c) A rendszer (vagy akár) egy interfész átlagos kihasználtsága  $a = A/N [1 - P_B]$

➤ itt  $N$  a kiszolgálók száma, esetünkben 31,

➤  $P_B$  a blokkolási valószínűség, esetünkben 0.01%.

Azaz:  $a = 14.58 / 31 [1 - 0.0001] = 0.4703$ .

Az átlagos kihasználtság tehát 47.03% - ami jóval kevesebb, mint a korábbi példában. Ez a blokkolási valószínűség adott szigorúbb követelménynek köszönhető.

### P.11.6 Kiszolgálók számának tervezése

Egy új bankfiók tervezésénél arra számítanak, hogy a bankban óránként 40 ügyfél fordul majd meg, és átlagosan mindenkivel 15 percet foglalkozik az illetékes ügyintéző. Mennyi ügyintézőnek kell helyet biztosítani, ha a vezetés azt a szokatlan módszert és minőségi mutatót szeretné bevezetni és betartani, hogy nincs várakozásra lehetőség, és több ügyfélnek kell úgy érkeznie a bankba, hogy azonnal kiszolgálják, mint olyanoknak, akik nem talál magának kiszolgálót.

#### Megoldás

A felajánlott forgalom:  $A = h \cdot \lambda_i$ . Itt  $h=0.25$  óra (negyedóra),  $\lambda_i=40/\text{óra}$ . Ebből a felajánlott forgalom:  $A=10$  erlang.

Ebben az esetben a blokkolási valószínűséget Erlang B képletének segítségével határozhatjuk meg:

$$P_N(A) = \frac{\frac{A^N}{N!}}{\sum_{k=0}^N \frac{A^k}{k!}}$$

Itt  $N$  a kiszolgálók száma,  $A$  pedig a felajánlott forgalom.

A feladat szerint  $P_N(A) < 0.5$  adott, de az Erlang B reverz képlet számolása macerás. Most emiatt szemléltessük a megoldást a nyers erő módszerével, próbálkozzunk 4 kiszolgálóval.

$$P_4(10) = \frac{\frac{10^4}{4!}}{\sum_{k=0}^4 \frac{10^k}{k!}} = \frac{\frac{10^4}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4}}{\frac{10^0}{1} + \frac{10^1}{1!} + \frac{10^2}{2!} + \frac{10^3}{3!} + \frac{10^4}{4!}} = 0.647$$

Ez tehát 64.7%-os blokkolás, azaz az ügyfelek majd  $2/3$ -a várakozni készül. Több ügyintéző kell. Nézzük tovább a „brute force” számolást. (Ha megvannak a részeredmények, akkor nem annyira brutális...)

$$P_5(10) = \frac{\frac{10^5}{5!}}{\sum_{k=0}^5 \frac{10^k}{k!}} = \frac{\frac{10^5}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5}}{\frac{10^0}{1} + \frac{10^1}{1!} + \frac{10^2}{2!} + \frac{10^3}{3!} + \frac{10^4}{4!} + \frac{10^5}{5!}} = 0.546$$

Ez 54.6%-os blokkolás, azaz ha biztosan pontosak a kiindulási adatok, *akkor* nem elég 5 kiszolgáló. Még egy asztalt kell vennünk, és nagyobb irodahelyiséget?

$$P_6(10) = \frac{\frac{10^6}{6!}}{\sum_{k=0}^6 \frac{10^k}{k!}} = \frac{\frac{10^6}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6}}{\frac{10^0}{1} + \frac{10^1}{1!} + \frac{10^2}{2!} + \frac{10^3}{3!} + \frac{10^4}{4!} + \frac{10^5}{5!} + \frac{10^6}{6!}} = 0.485$$

Ezzel el is értünk a megoldáshoz: 6 kiszolgálóval már 50% alatt lehet tartani a 10 erlangos forgalom blokkolását.

(Ugyanez kicsit erőltetetten mondható el mai telefonos példával – mert már nem nagyon vannak ennyire türelmes előfizetőkkel működő blokkolós rendszerek. Elég csak ránézni az Erlang B diagramokon megjelenített blokkolási valószínűség-görbékre. Ha valakinek van kedve/ideje, felvezethet „műszaki blokkolás-igényekhez közelebb” példát, 3 erlang forgalommal, és 6 szerverrel; itt a blokkolási valószínűség 5.22%-ra jött ki. Több szerverrel, vagy nagyobb forgalmakkal számolni értelemszerűen nem nagyon lehet „fejben”.)