

# Gázelegyek Robbanáshatár Vizsgálata

# 1 Tartalomjegyzék

1	Tartalomjegyzék .....	2
2	Bevezetés .....	3
3	Gázrobbanás.....	3
3.1	A robbanáshatár-görbe és jellemzői .....	4
3.1.1	Terner gázelegyek ábrázolása .....	5
3.2	Robbanási Határgörbe Jellemző Értékei .....	6
3.2.1	Minimális inertgáz-éghetőgáz arány (ICR).....	6
3.2.2	Maximálisan megengedhető éghetőgáz (MXC) .....	7
3.2.3	Minimális inertgáz-oxidátor arány (IAR).....	7
3.2.4	Minimálisan szükséges inertgáz (MAI) .....	7
3.2.5	Maximális oxigén (vagy oxidátor) tartalom (MOC vagy LOC) .....	7
3.3	A robbanáshatár-görbe közelítése, spline-ok.....	8
3.3.1	Harmadfokú egyváltozós spline-függvények .....	8
3.3.2	Harmadfokú, paraméteres spline görbék.....	8
4	Irodalomjegyzék .....	10
5	Ábrajegyzék .....	10

## 2 Bevezetés

A robbanásveszélyes gázelegyek biztonságos felhasználásához elengedhetetlen ezek égési tulajdonságainak pontos ismerete. Éghető gázok esetében általában két határérték ismert, az alsó és felső robbanási koncentráció határ. A gyakorlatból is tudjuk, hogy gyulladás és robbanás csak bizonyos koncentráció-arányok mellett történhet, és a robbanásveszélyes koncentráció arányok összefüggő tartományt képeznek a komponens-arány térben.

Az a robbanási tartomány, ahol a gázelegy robbanásának láncreakciója meg tud indulni, mérésekkel határozható meg. Robbanásbiztosnak mondhatók azok az elegyek, amelyekben a lángterjedés bizonyos távolságot nem ér el, begyújtáskor a láng hossza kisebb, mint a szabvány szerinti hosszúság.

## 3 Gázrobbanás

Gázrobbanás alatt az a folyamat értendő, amikor homogén gázelegy – robbanógáz-levegő vagy robbanógáz-oxidátor – égése gyors nyomásnövekedést okoz. Gázrobbanások történhetnek feldolgozó berendezésekben vagy csövekben, épületekben vagy külső egységekben, nyitott feldolgozó területeken vagy szabad térben. A gázrobbanás eseménye szabadabban is értelmezhető – beleérthetőek a robbanás pillanatát megelőző és az azt követő események is.

Amikor a létrejövő gázfelhő nincs a gyulladási határon belül, vagy amikor nincs begyújtó forrás, a gázfelhő egyszerűen eloszolhat, eltűnhet. Ha gyulladás történik, az égés hatására létrejövő nyomásváltozás mértéke függ a lángterjedési sebességtől és a tágulási tértől. A gázrobbanások következményei eltérő nagyságú károk lehetnek, a semmilyen gyakorlati kártól egészen a teljes pusztításig. A robbanás által kifejtett nyomásnövekedés anyagi és személyi károkat okozhat, vagy balesetekhez és tüzesetekhez vezethet, láncreakciót indíthat el. A gázrobbanásokat nagyon gyakran tűz követi.

Amikor az éghetőgáz-felhő begyullad, a lángterjedés két fajtája lehetséges, deflagráció vagy detonáció. A deflagráció gyakoribb, mint a detonáció. Ilyenkor a tűz hangsebességnél lassabban terjed a még el nem égett gázhoz képest, tipikusan 1-től 330 m/s-os lángterjedési sebességgel. Detonáció folyamán a lángterjedés hangsebességnél gyorsabban történik, 1500-2000 m/s-os jellemző sebességgel, amit lökéshullám jellemez.

A szénhidrogének és levegő keverékének gyenge szikra hatására történő robbanásakor a lángterjedés lassú, lamináris áramlású, 3-4 m/s-es terjedési sebességgel. Valóban lezáratlan körülmények között, ahol sem épület, sem egyéb eszközök nem állják útját a gázfelhő tágulásának, a robbanás terjedésének sebessége nem haladja meg a 20-25 m/s-ot, a nyomásnövekedés pedig elhanyagolható mértékű. Amennyiben viszont a robbanás épületben, vagy feldolgozó egységeken belül következik be, a lángterjedés elérheti a több száz m/s-os sebességet. A gáz égése során a hőmérsékletnövekedés és gyakran a keletkező reakció következményeként beálló térfogatnövekedés miatt a nyomásnövekedés akár 8-9-szeres is lehet. Ilyenkor a láng maga előtt tolja a még el nem égett gázt, turbulens áramlási mezőket kialakítva. Amikor a láng a turbulens területekre ér, az effektív égési ráta növekszik, ezzel

láncreakciószerűen tovább növelve a turbulencia mértékét. Az ilyen erős pozitív visszacsatolási mechanizmus okozza a nagy lángterjedési gyorsulást, az erőteljes nyomásváltozást, ami bizonyos esetekben átlendülhet deflagrációból detonációba is.

Elzárt esetben, például egy zárt tartályban (állandó térfogatú helyzetben), még nagy lángterjedési sebesség sem szükséges a nyomásváltozáshoz. A tartályban nincs, vagy nagyon kicsi a nyomáskiegyenlítődé (szellőzés) lehetősége, így akár már lassú lángterjedés is nyomásnövekedéshez vezet.

A gázrobbanás következményei az alábbi szempontoktól függenek:

- éghetőanyag és oxidátor típusától,
- a gázfelhő méretétől és koncentrációs viszonyaitól,
- a gyújtási pont helyétől és erősségétől,
- tartály esetén a rajta levő nyílás helyétől, méretétől és alakjától,
- a berendezés belső strukturális felépítésétől,
- a csillapítástól.

A gázrobbanások mértéke erősen függ a fentiektől, így elég nehéz előre megbecsülni egy robbanás lefolyását és mértékét. Az elméleti megfontolásokon kívül jellemzésükben nagyon fontosak a gyakorlati mérések. A robbantási kísérletek veszélyes és költséges volta azonban viszonylag kis számú mérést tesz lehetővé, így szükségessé válik a mérési eredmények között a valóságot minél jobban megközelítő interpolációs eljárások alkalmazása. A gázrobbanások veszélyessége rendkívüli elvárásokat támaszt a robbanásokat leíró adatbázisok adatainak megbízhatóságával szemben.

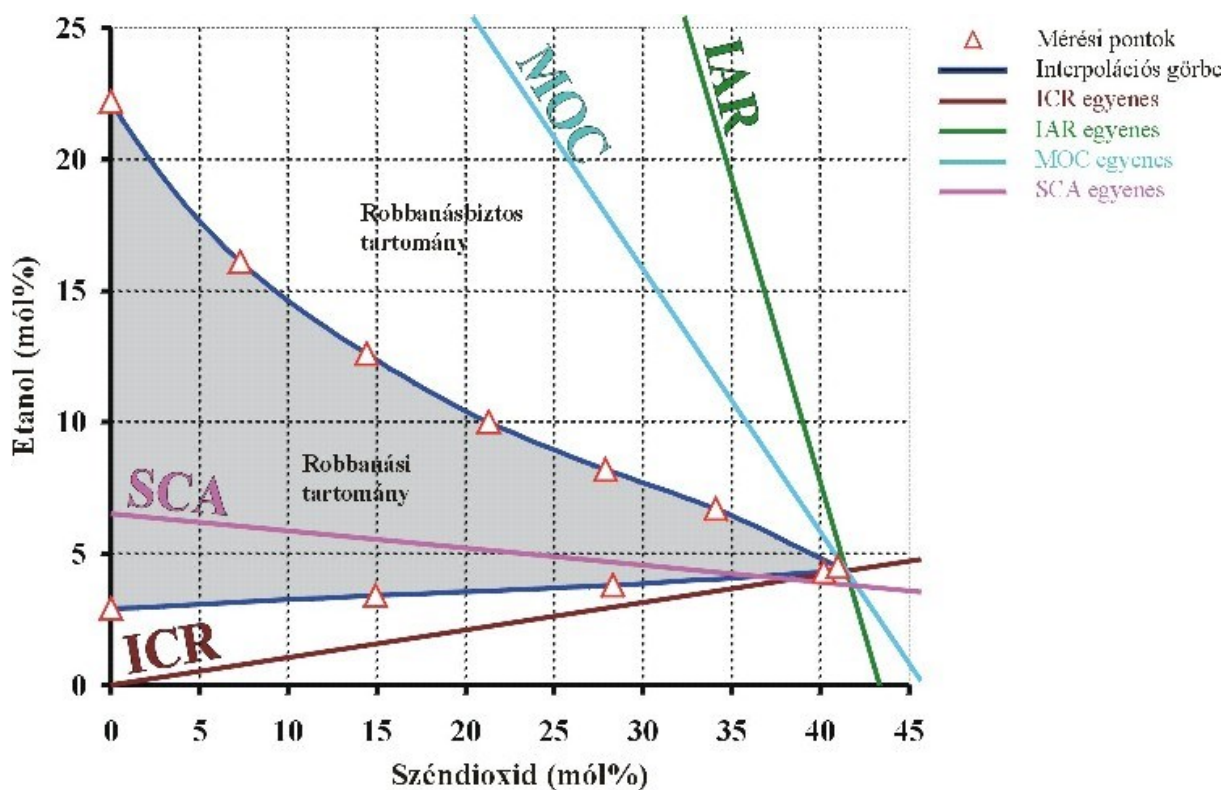
### 3.1 A robbanáshatár-görbe és jellemzői

Az általunk vizsgált rendszerek háromkomponensűeknek tekinthetők, általánosan éghetőgáz, inertgáz és oxidátor komponenseket tartalmaznak. A háromkomponensű rendszerként való kezelést akkor is alkalmazzák, ha az oxidátor levegő, esetleg az inertgáz-komponens két gáz meghatározott összetételű keveréke, mint pl. a szénmonoxid/(nitrogén + vízgőz)/levegő, vagy a szénmonoxid/(argon + vízgőz)/levegő rendszerek esetében. A rendszereket leíró adatok az éghetőgáz, az oxidátor és az inertgáz arányát leíró móltörtök, valamint a kezdeti hőmérséklet és nyomás. Általában izoterm vagy izobár kísérletsorozatok elvégzésével határozható meg a robbanási tartomány, amelyen belüli éghetőgáz/oxidátor/inertgáz arányok robbanásveszélyesek, e tartományon kívül eső gázkeverék arányoknál pedig a gázelegy robbanásbiztos. Az izoterm és izobár robbanási tartományok ipari felhasználásánál a robbanási határgörbe segítségével célszerűen megválasztott jellemző pontokat és értékeket határoznak meg, amelyek megadásához a robbanási tartományt határoló síkgörbe megfelelő pontosságú leírása szükséges.

A továbbiakban áttekintést adunk az izoterm és izobár terner gázelegyek összetételét leíró derékszögű és szabályos háromszögdiaagram felépítéséről, majd definiáljuk a robbanási tartomány alapján meghatározott jellemzőket. Végül a gyakorlatban is alkalmazott interpolációs módszereket mutatjuk be, amelyek segítségével a mért pontokra a robbanási határgörbe illeszthető.

### 3.1.1 Turner gázelegyek ábrázolása

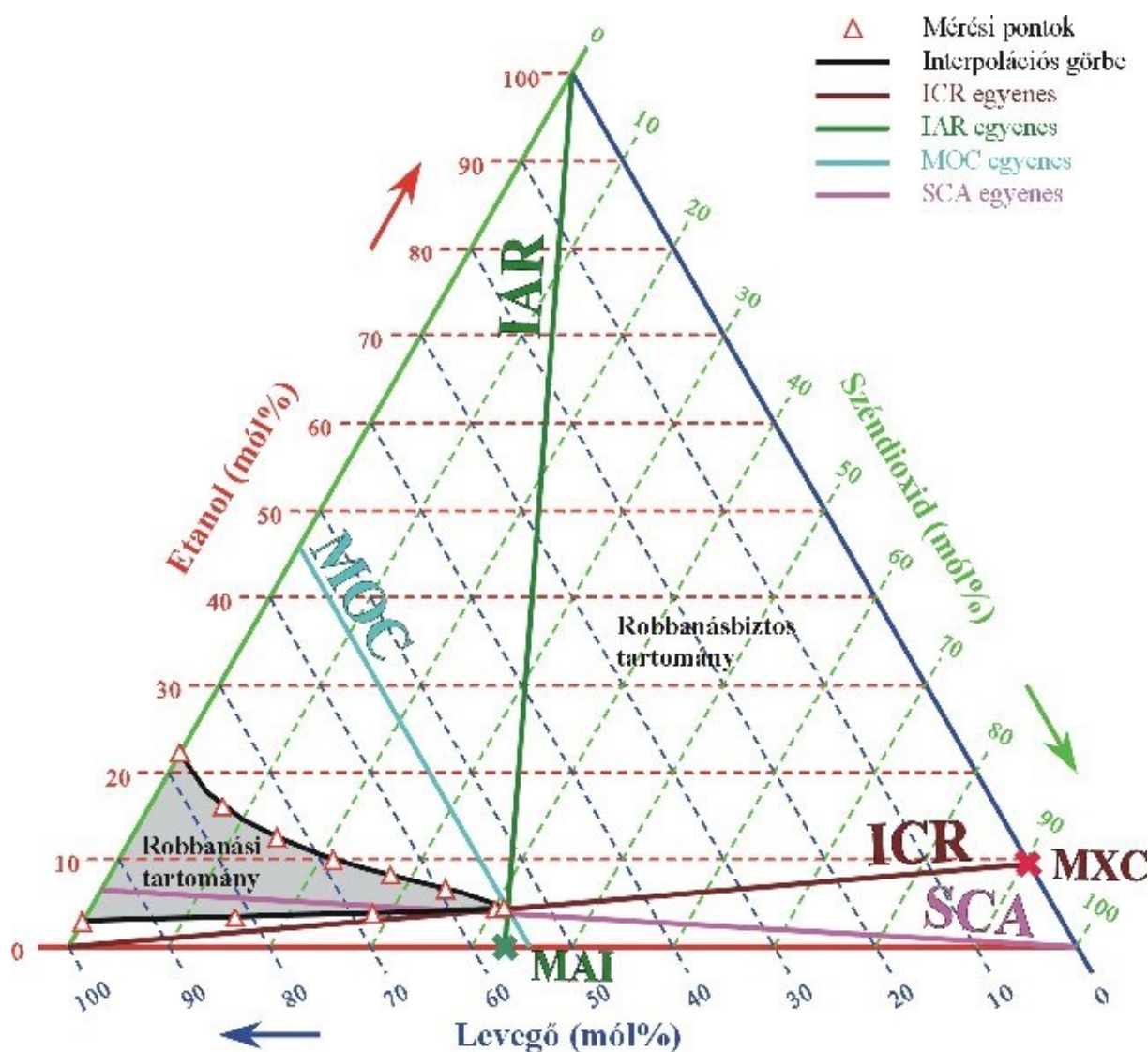
A három komponens különböző koncentráció-arány állapotainak ábrázolása a harmadik móltört ( $x_3=1-x_1-x_2$ ) függése miatt síkban történik – vagy a derékszögű koordináta-rendszerben megadott alapszimplexen, vagy pedig szabályos háromszögön, ahol minden egyes komponensnek a háromszög egy-egy csúcsa felel meg, az oldalakon pedig a kétkomponensű rendszerek összetétele olvasható le.



1. ábra: Derékszögű diagram

Az 1. ábra egy robbanási tartomány derékszögű diagramban való ábrázolását mutatja be. A diagram függőleges tengelyéről az éghetőgáz, vízszintes tengelyéről pedig az inertgáz koncentrációt lehet leolvasni. A harmadik, oxidátor- (a konkrét esetben levegő-) koncentráció az előbbi kettő ismeretében kiszámítható. A szürkével kitöltött terület a robbanásveszélyes tartomány, az ezen kívül eső területen a három komponens nem alkot robbanó elegyet. A robbanásveszélyes tartományt határoló kék színű görbe a robbanáshatár-görbe, amelyen a piros háromszögek mért pontokat jelölnek, a görbe többi pontját interpolációval határozzák meg. A robbanási tartományt jellemző berajzolt egyenesek jelentését a későbbiekben ismertetjük.

A 2. ábra ugyanezt a robbanási tartományt mutatja szabályos háromszög diagramon. Ez az ábrázolási mód közvetlen lehetőséget biztosít a harmadik komponens százalékos értékének leolvasására.



2. ábra: Szabályos háromszög diagram

### 3.2 Robbanási Határgörbe Jellemző Értékei

A robbanási határgörbe pontos ismerete fontos, de a gyakorlati alkalmazások során sokszor hatékonyabb egy-egy numerikus korlát, jellemző érték ismerete. A robbanási határgörbéket három limitáló aránnyal és ezekhez tartozó határoló-értékekkel szokták jellemezni [1, 2, 4], ezeket ismertetjük az alábbiakban. Pontosabb megértésükhöz segítséget nyújt az 1. ábra és a 2. ábra.

#### 3.2.1 Minimális inertgáz-éghetőgáz arány (ICR)

Az ICR (Inert gas/Combustible gas Ratio) egyenes egy olyan arány-korlátot jelent az inertgáz és éghetőgáz között, amely esetén további oxidátor hozzáadása már nem okozhat robbanást.

Az ICR egyenes meghatározása a nyomással és hőmérséklettel paraméterezett robbanáshatár-görbéhez a háromszögdiagram oxidátor-csúcsán keresztülhaladó érintő megadását jelenti. Erre a vonalra esnek azok az összetételek, amelyek úgy kaphatóak, hogy

az érintő pontban lévő elegyhez egyre nagyobb mennyiségű oxidátort kevernek, így aszimptotikusan közeledve a diagram csúcsához.

### 3.2.2 Maximálisan megengedhető éghetőgáz (MXC)

Ha az ICR érintőt a háromszög diagram inertgáz-éghetőgáz biner oldaláig meghosszabbítjuk, a metszéspontban kapjuk az MXC (Maximum Combustible gas) pontot. Ez az éghetőgáz/inertgáz keveréknek azon maximális éghetőgáz koncentrációja, amelyhez további oxidátor hozzáadása már nem okozhat robbanást.

A robbanáshatár-görbe az ICR határvonalnak a háromszög oxidátor-inertgáz biner oldalához képest mindig a "másik" oldalán lesz, amiből az következik, hogy az ICR egyenes MXC végpontja valamint az inertgáz és az oxidátor csúcsok által meghatározott háromszögben nincs robbanékony gázelegy, ez tehát szűkebb értelemben vett robbanásbiztos terület.

### 3.2.3 Minimális inertgáz-oxidátor arány (IAR)

Az ICR egyeneshez hasonló gondolatmenettel írható le az **IAR** (Inert gas/Air (oxidator) Ratio) vonal. Ez az egyenes az alábbi értelemben jelent határt az éghetőgáz/inertgáz/oxidátor rendszerben: az ezen az egyenesen kívül eső (az ábra szerinti tengely elhelyezkedés esetén az **egyenestől jobbra eső**) koncentráció értékeknél további **éghetőgáz hozzáadása már nem okozhat robbanást**.

Az IAR vonal a robbanáshatár-görbe fordulópontján és az éghetőgáz csúcsponton keresztül haladó egyenes.

### 3.2.4 Minimálisan szükséges inertgáz (MAI)

Az MAI (Maximum Air-Inert gas Concentration) érték az inertgáz/oxidátor keveréknek azon minimális inertgáz koncentrációja, amelyhez további éghetőgáz hozzáadása már nem okozhat robbanást. Az MXC ponthoz hasonlóan, ennek meghatározásához az IAR vonalat kell meghosszabbítani egészen az oxidátor-inertgáz biner oldalig, a kettő metszéspontja adja a minimálisan szükséges inertgáz értéket.

### 3.2.5 Maximális oxigén (vagy oxidátor) tartalom (MOC vagy LOC)

Az MOC (Maximum Oxygen Concentration) vagy a szintén elterjedten használt LOC (Limiting Oxygen Concentration) elnevezés a háromkomponensű rendszer azon maximális oxigén (oxidátor) koncentrációját jelöli, amelyhez további éghetőgáz hozzáadása már nem okozhat robbanást. Meghatározásakor a robbanáshatár-görbéhez a háromszög éghetőgáz-inertgáz biner oldalával párhuzamos érintőt rajzoljuk be.

### 3.3 A robbanáshatár-görbe közelítése, spline-ok

Munkánkban az izoterm és izobár robbanáshatár-görbékhez egyparaméteres síkgörbék interpolációs közelítésére volt szükség. A síkbeli paraméteres görbék közelítéséhez általában nem csak a függvény egy pontsorozata áll rendelkezésre, hanem gyakran ismertek a differenciálhatóságra illetve közvetlenül a deriváltakra vonatkozó feltételek is. A robbanáshatár-görbék közelítésénél kiindulhattunk abból, hogy a közelítendő függvény sima, görbülete folytonos valamint a kezdő és végpontokban ismert vagy az érintő egyenes iránya, vagy az érintő kör görbülete. Az irodalom szerint a fenti szokásos feltételeket legjobban a spline-függvények elégítik ki [3, 4]. Az alábbiakban megadjuk a spline-függvények általános, valamint a munkánk során alkalmazott speciális spline-ok definícióját.

#### 3.3.1 Harmadfokú egyváltozós spline-függvények

Adott az  $\begin{Bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & \dots & x_n \\ y_1 & y_2 & y_3 & \dots & y_n \end{Bmatrix}$  pontsorozat, továbbá kezdő és végpontfeltételként a kezdő és a végpontokban az illeszkedő görbének a meredeksége:  $m_1$  és  $m_n$ . Harmadfokú egyváltozós interpoláló spline-függvénynek nevezzük azt a teljes  $[x_1, x_n]$  intervallumon kétszer folytonosan differenciálható függvényt, melyre teljesülnek az alábbiak:

$$\boxed{f(x) = a_i \cdot (x - x_i)^3 + b_i \cdot (x - x_i)^2 + c_i \cdot (x - x_i) + d_i \quad \text{ha } x \in [x_i, x_{i+1}] \quad (i = 1, 2, \dots, n-1) \quad (1)}$$

továbbá  $f'(x_1) = m_1$  és  $f'(x_n) = m_n$

Az (1) összefüggéshez hasonlóan megadható a harmadfokú spline a második deriváltakra (görbületre) vonatkozó kezdő és végpont-feltételekkel is.

#### 3.3.2 Harmadfokú, paraméteres spline görbék

Az  $\begin{Bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & \dots & x_n \\ y_1 & y_2 & y_3 & \dots & y_n \end{Bmatrix}$  pontsorozatot, ahol az  $x_1, x_2, \dots, x_n$  sorozatra nem szükséges, hogy a szigorú monotonitás teljesüljön, leggyakrabban az  $s$  ívhossz szerint paraméterezik, ahol

$$\boxed{s_1 = 0 \text{ és } s_{i+1} = s_i + \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} \quad ; \quad (i = 1, 2, \dots, n-1) \quad (2)}$$

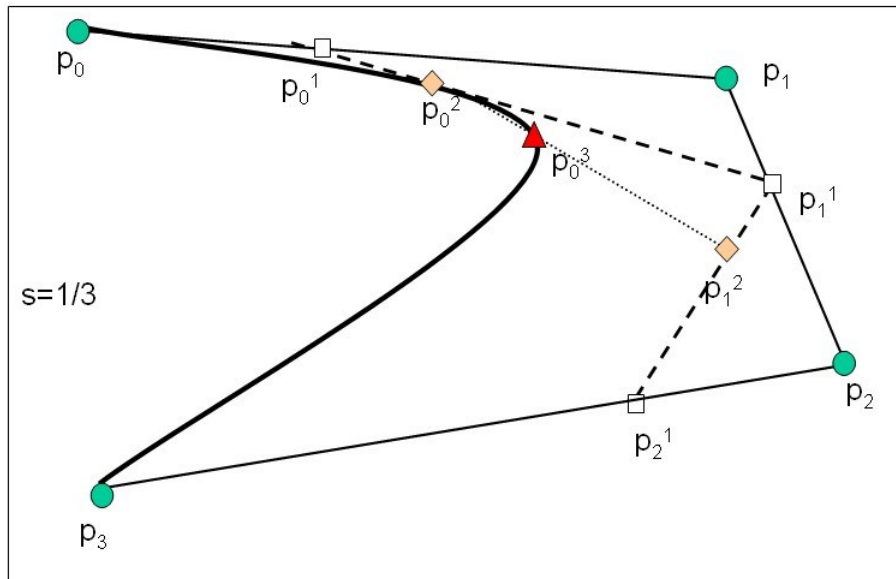
A (2) összefüggésből látható, hogy az  $s_i$  sorozat szigorúan monoton növekvő. A paraméteres spline-t vektorként adják meg, úgy, hogy a megfelelő – érintőre vagy görbületre vonatkozó – kezdő és végpont-feltételekkel mind az  $(s_i, x_i)$  abszcissa sorozatra, mind az  $(s_i, y_i)$  ordináta sorozatra az előzőek szerinti kétszer folytonosan deriválható, szakaszonként harmadfokú függvényt illesztenek.

Előnye a paraméteres görbéknek az  $f(x)$  alakú függvény görbékkel szemben, hogy az  $x_i$  abszcissa értékeknek nem kell szigorúan monoton sorozatot alkotniuk. Így a paraméteres görbékkel akár hurkok, spirálok, vagy tetszőleges  $C''$  síkgörbék is leírhatók.



A harmadfokú, paraméteres spline síkgörbe pontjainak számításához gyakran használják az úgynevezett spline-tartópontokon alapuló DeCasteljau algoritmust, melyet a 3. ábra szemléltet.

$$\begin{aligned} \underline{p}_0^1(s) &= (1-s) \cdot \underline{p}_0 + s \cdot \underline{p}_1 \\ \underline{p}_1^1(s) &= (1-s) \cdot \underline{p}_1 + s \cdot \underline{p}_2 \\ \underline{p}_2^1(s) &= (1-s) \cdot \underline{p}_2 + s \cdot \underline{p}_3 \\ \underline{p}_0^2(s) &= (1-s) \cdot \underline{p}_0^1 + s \cdot \underline{p}_1^1 \\ \underline{p}_1^2(s) &= (1-s) \cdot \underline{p}_1^1 + s \cdot \underline{p}_2^1 \\ \underline{p}_0^3(s) &= (1-s) \cdot \underline{p}_0^2 + s \cdot \underline{p}_1^2 \end{aligned} \quad s \in [0;1]$$



**3. ábra: Az  $s=1/3$  paraméter-értékhez tartozó spline-pont szerkesztése**

A 3. ábra  $P_0, P_1, P_2, P_3$  pontjai a spline-tartópontok, melyek közül az első és az utolsó a spline-görbére illeszkedik. A két középső pont csupán azokhoz a segéd-szakaszokhoz szükséges, amelyek megfelelő ( $s$ ) arányú osztópontjai 3 lépésben meghatározzák a spline görbe azon pontját, amely az adott  $s$  paraméter értékhez tartozik.

## 4 Irodalomjegyzék

1. CHEMSAFE®- Datenbank für bewertete sicherheitstechnische Kenngrößen, erstellt von der BAM, Berlin, PTB, Braunschweig und DECHEMA, Frankfurt am Main (ajánlott mérési adatok éghetőgázok, folyadékok, porok és elegyeik biztonságtechnikai jellemzői számára) Internet: [www.dechema.de](http://www.dechema.de),  
Online: STN International, FIZ-Karlsruhe, Tokyo, Colombus Ohio
2. Molnárné-Jobbágy M., Bulin M., Viczián G., Kollár-Hunek K.: TRIANGLE - ein Computer-Programm zur Darstellung und Auswertung der Explosionsbereiche von Dreistoffsystemen, Technische Überwachung Springer-VDI Verlag, Bd.44, Nr. 1/2, S32-35, 2003
3. Späth, H.: Algorithmen zur Konstruktion glätter Kurven und Flächen, Oldenburg, München, Wien, 1983
4. Viczián G., Molnárné-Jobbágy M., Heszberger J., Kollár-Hunek K.: Explosion areas of flammable substances and their numerical approximation, Hung. Journal of Ind. Chem., Vol 29, p143-148, 2001

## 5 Ábrajegyzék

- |   |   |
|---|---|
| 1. ábra: Derékszögű diagram .....   | 5 |
| 2. ábra: Szabályos háromszög diagram .....                                    | 6 |
| 3. ábra: Az $s=1/3$ paraméter-értékhez tartozó spline-pont szerkesztése ..... | 9 |