



MISKOLCI EGYETEM
MŰSZAKI ANYAGTUDOMÁNYI KAR
TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT
3515 MISKOLC Egyetemváros



A vegyipari benzin sűrűségének hőmérsékletfüggése a csoport-összetétel figyelembevételével

Készítette:

Varga Tünde

BSc képzés, anyagmérnök szak, 4. évfolyam

Konzulens:

Belső konzulens: Némethné dr. Sóvágó Judit

egyetemi docens

Külső konzulens: Kerezsi János

TVK NyRt. Olefin Üzemcsoport Tartálpark Üzem főművezető

Petrolkémiai Technológiai (TVK) Kihelyezett Intézeti Tanszék
2012

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	4
2. IRODALMI ÖSSZEFOGLALÓ.....	5
2.1. A „GŐZKRACKOLÁSON” ALAPULÓ OLEFINGYÁRTÁS	5
2.1.1 <i>A gőzkrackoláson alapuló olefingyártási technológiában felhasznált alapanyagok.....</i>	<i>8</i>
2.1.2. <i>A vegyipari benzin eredete, annak minősítése</i>	<i>9</i>
2.2. A VEGYIPARI BENZIN CSOPORT-ÖSSZETÉTELÉNEK MEGHATÁROZÁSA GÁZKROMATOGRÁFIÁS MÓDSZERREL	10
2.3. A VEGYIPARI BENZIN SŰRŰSÉGÉNEK MEGHATÁROZÁSA	13
2.3.1. <i>Sűrűségmérés areométerrel.....</i>	<i>14</i>
2.3.2. <i>Sűrűségmérés Mohr-Westphal mérleggel</i>	<i>15</i>
2.3.3. <i>Sűrűségmérés piknométerrel</i>	<i>16</i>
3. KÍSÉRLETI RÉSZ	17
3.1. A VEGYIPARI BENZIN SŰRŰSÉG HŐMÉRSÉKLETFÜGGÉSÉNEK MEGHATÁROZÁSA AREOMÉTERREL	17
3.2. A VEGYIPARI BENZIN SŰRŰSÉG HŐMÉRSÉKLETFÜGGÉSÉNEK MEGHATÁROZÁSA MOHR-WESTPHAL MÉRLEGSEL.....	19
3.3. A VEGYIPARI BENZIN SŰRŰSÉGÉNEK MEGHATÁROZÁSA ADOTT HŐMÉRSÉKLETEN, PIKNOMÉTERREL	21
3.4. A VEGYIPARI BENZIN MINTÁK PIAN(O) TARTALMÁNAK MEGHATÁROZÁSA GÁZKROMATOGRÁFIÁS MÓDSZERREL	22
3.5. A MÉRÉSI ADATOK ALAPJÁN LEVONT KÖVETKEZTETÉSEK	25
3.5.1. <i>Statisztikai elemzések a Windows Microsoft Office Excel-es bővítménnyel, az Analysis Tool Pak segítségével</i>	<i>26</i>

3.5.2.	<i>Empirikus összefüggés meghatározása a vegyipari benzin sűrűségének hőmérsékletfüggésére, figyelembe véve a csoport-összetétel hatását.....</i>	29
4.	ÖSSZEFOGLALÁS	32
5.	IRODALOMJEGYZÉK.....	32
6.	MELLÉKLETEK	34
7.	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	47

1. BEVEZETÉS

A legnagyobb mennyiségben felhasznált olefinek, az etilén és propilén előállítására több különböző (alternatív) technológia ismeretes [1], azonban a Kelet-európai régió legtöbb petrokémiai komplexumára ugyanazon olefingyártási technológia jellemző. Itt „gőzkrakkoláson” alapuló technológiával valósítják meg az olefinek előállítását.

A technológia során a kemencébe bevezetésre kerülő alapanyagok vízgőz jelenlétében, magas hőmérsékleten hőbomlást szenvednek, melynek során változatos szénatomszámú szénhidrogén komponensek, többek között olefinek keletkeznek.

A keletkező főtermékek mennyiségét-, ill. azok termék-összetételbeli arányát az üzemeltetési paramétereken túl (pl.: reakcióidő, hőmérséklet, kemence-geometria, stb.) számos további tényező befolyásolja, úgy mint például az egyik legnagyobb termékhozam befolyásoló hatással bíró alapanyag minőség.

A felhasznált alapanyagok nagy részét a kőolaj-finomítók termékei képezik. Ezen finomítói termékek közül az egyik legnagyobb mennyiségben felhasznált olefingyártási alapanyag a vegyipari benzin [1]. Minősége – hasonlóan az összes többi finomítóból származó anyagéhoz – folyamatosan változik, adott tartományon belül változó sűrűséggel, valamint komponens-összetétellel kerül a kemencékbe betáplálásra. A gyártási folyamat során felhasznált különböző minőségű vegyipari benzin azonban eltérő termékhozamot eredményez, hiszen a benzinben található, különböző szerkezetű vegyületek (főként egyenes és elágazó láncú szénhidrogének) hőbomlása bonyolult reakciómechanizmussal játszódik le. Emiatt a vegyipari benzin minőségének folyamatos nyomon követése rendkívül lényeges az üzemeltetés és a megkívánt termékminőség elérésének szempontjából egyaránt [2].

A petrokémiai iparban az alapanyagok minőségének ellenőrzésére egyik leginkább alkalmazott makroszkopikus fizikai tulajdonság a sűrűség, melynek mérését az olefinüzemek minőségellenőrző laboratóriumai rutinszerűen végzik. Az ipari gyakorlatban azonban nem számolnak a csővezetéken beérkező vegyipari benzin sűrűségének a szezonális hőmérséklet-különbségek miatt fellépő változásával.

TDK dolgozatom a vegyipari benzin eredetének és minőségi jellemzőinek (pl.: sűrűség, csoport-összetétel), ill. minőségvizsgálati módszereinek rövid bemutatásán túl a rendelkezésemre bocsátott 21 darab minta sűrűségének háromféle módszerrel történő mérésének eredményeit is tartalmazza. Emellett mérési eredményeim alapján meghatároztam

az említett minták sűrűségének 15-40 °C közötti hőmérsékletfüggését is, aminek segítségével empirikus összefüggést állapítottam meg a sűrűség hőmérsékletfüggésére vonatkozóan. Ez nagy segítségül szolgálhat a jövőben a vegyipari benzin pontos mennyiségének elszámolása szempontjából is.

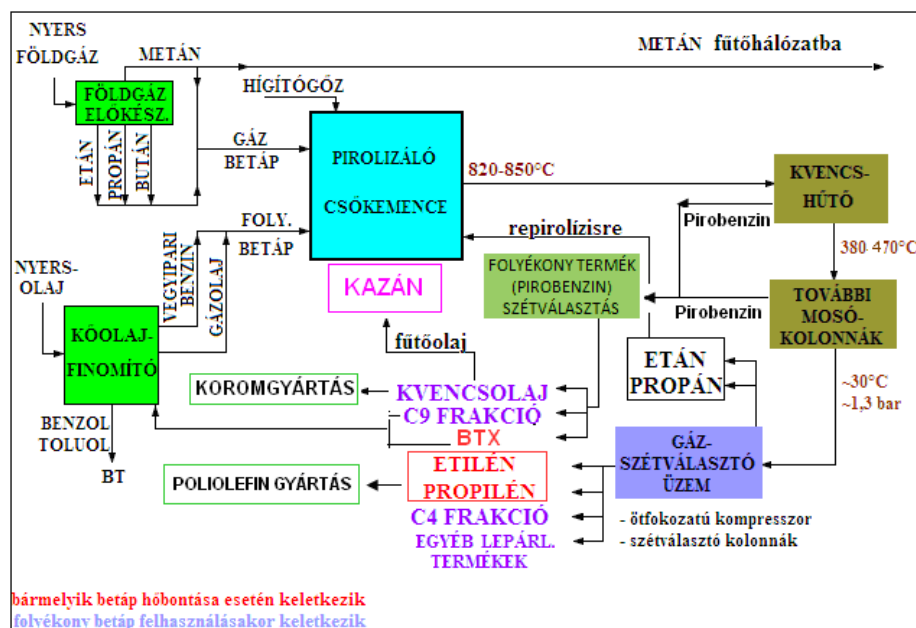
További vizsgálataim tárgyát képezte a minták komponens-összetételének elemzése, hiszen azok sűrűségre gyakorolt hatása szintén jelentős. Ebből a célból a fentebb említett minták összetételét kromatográfiás úton határoztam meg. Így a sűrűség hőmérsékletfüggésének feltárása mellett, a kromatogramokat kiértékelve lehetőségem nyílt összefüggéseket feltárni a vegyipari benzinben található komponensek mennyisége és a sűrűség alakulása között.

2. IRODALMI ÖSSZEFOGLALÓ

Az olefinek előállítása különböző technológiákkal lehetséges bármelyik halmazállapotból kiindulva (közvetett módon akár szilárdból is). Ám hangsúlyozni kell, hogy a sok létező és a folyamatosan napvilágot látó újabb és újabb technológiák ellenére is a legtöbb olefinüzem által alkalmazott technológia a gőzkrakkoláson alapuló, ún. „Steam Cracking” technológiát jelenti. A technológia részletes ismertetését előző TDK dolgozatomban [3] megtettem, így az alábbiakban csak a gyártási folyamat szempontjából legfontosabb lépéseket és technológiai egységeket mutatom be (1. ábra).

2.1. A „GŐZKRAKKOLÁSON” ALAPULÓ OLEFINGYÁRTÁS

A „gőzkrakkoláson” alapuló olefingyártás az alapanyagok hőbontásán (pirolízisén) alapul. Ennek során az alapanyagokban található magasabb szénatomszámú, telített szénhidrogének a pirolizáló kemencékben uralkodó magas (840°C körüli) hőmérsékleten, vízgőz jelenlétében kisebb szénatomszámú molekulákra hasadnak szét [1, 4]. A termékelegyben nagy hányaddal van jelen az etilén és a propilén.



1. ábra Az olefingyártás technológiájának egyszerűsített blokkdiagramja és az egyes anyagáramok kapcsolata a kőolaj-finomítókkal [1, 5]

Az ún. gőzkrakkolós olefingyártás folyamatai a pirolizáló csökemencében játszódnak le, amelyekbe a felhasznált alapanyagokat kb. 100°C-ra előmelegítve, összekeverve táplálják be [1]. A technológia bonyolultságán felül annak folyamatai, mechanizmusai is rendkívül összetettek, több ezer egyenlettel is csak részlegesen írhatók le a jellemző mechanizmusok. A pirolízis során a hozzávetőlegesen 840°C-os hőmérsékleten különböző mellékreakciók is lejátszódnak. Így számolni kell az ún. „kokszképződés” káros folyamatával is, mivel az a kemence falán lerakódik, ez pedig rontja a hőátadási folyamatokat. Ennek elkerülésére az alapanyag-betáplálás mellett technológiai gőzt, ún. hígító gőzt adagolnak egyidejűleg a rendszerbe [1], melynek mennyisége jellemzően 40-60% a betáplálásra kerülő szénhidrogén-mennyiséghez viszonyítva. A kemencék időszakos karbantartásakor emiatt elengedhetetlen azok koksztalanítása is, hiszen még a gőzadagolással sem előzhető meg teljes mértékben a kokszképződés [6]. A hígítógőz emellett a keletkezett pirogáz-komponensek parciális nyomását is csökkenti, elősegítve az olefinképződést [1].

A „gőzkrakkolós olefingyártás” megnevezés tehát megtévesztő, hiszen valójában nem a gőz termikus bontása történik, az elnevezés csupán a szénhidrogének gőz jelenlétében végzett termikus bontására utal [7]. Feltehetően ez a magyar nyelvű elnevezés az angol „Steam Cracking” kifejezésből származtatható.

A beadagolt alapanyagok a kemence konvekciós zónájának vízszintesen kígyózó csöveiben tovább keverednek (2. ábra), illetve a radiációs zónából felszálló hő hatására tovább melegednek, egészen 650°C körüli hőmérsékletre, a pirolízis ún. belépő hőmérsékletére (CIT = Coil Inlet Temperature) [1].

Ezek után a radiációs zónában megkezdődnek a gáz halmazállapotú elegy hőbontási reakciói, amelyek a másodperc töredéke alatt lejátszódnak [1]. A reakciók mechanizmusáról már többféle kutatás, publikáció is napvilágot látott [8, 9, 10, 11, 12], de az összetett, több ezer egyenlettel is csak részlegesen jellemezhető technológia teljes feltérképezése még várat magára.

A kemencét elhagyó, közelítőleg 820-850°C-os kilépő hőmérséklettel (COT = Coil Outlet Temperature) rendelkező elegy több másodlagos reakciót is elszenvedhetne, melyek az értékes termékek mennyiségét csökkentenék. Az elegyet a nem kívánt mellékreakciók befagyasztása miatt ezért kvencshűtőkre vezetik, majd tisztítás céljából olajos és vizes mosókolonnákra bocsájtják [1].

A mosótornyokat elhagyó, szénhidrogének egész sorát (többnyire C1-C9-ig) tartalmazó elegyet [1] ezek után a gázsztválasztó üzemszbe vezetik, ahol a különböző szénatomszámú molekulákat tartalmazó vegyületcsoportok elválasztása történik meg desztillációs úton, eltérő forráspontjuk alapján.

A termékek között legnagyobb részarányt a két főtermék, az etilén és a propilén képez, emellett pedig keletkezik többek között metán, etán, C4-től C9-es szénatomszámú vegyületekből álló szénhidrogének, valamint egyes alapanyagok (pl.: a vegyipari gázolaj) esetében a termékelegy nagy arányát C₁₀-es és nagyobb szénatomszámú frakciók alkotják (1. táblázat).

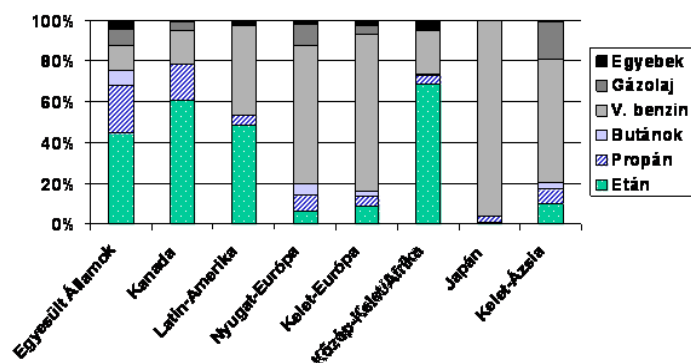
A gyártás során a két főtermék aránya, mennyisége a szükségleteknek megfelelően viszonylag szűk határok között az üzemeltetési paraméterekkel, elsősorban a radiációs zónából történő kilépési hőmérséklettel befolyásolható. Mivel a legnagyobb mennyiségben felhasznált alapanyagok finomítói termékeket jelentenek, azok minőségének befolyásolására az olefinüzemeknek nincs lehetősége. Azonban az alapanyagok összetételének termékszerkezetet befolyásoló hatása számottevő.

1. táblázat A „tisztá” alapanyagokból elméleti úton keletkező, tömegszázalékban kifejezett termékhozam [1]

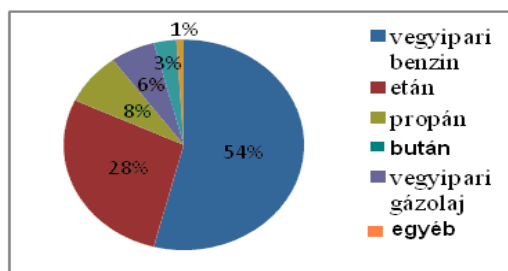
Kemencéből kilépő termékösszetétel m/m%	ALAPANYAGOK				
	Vegyipari benzin	Vegyipari gázolaj	n- Pentán	Propán	Etán
Hidrogén	1	1	1	1	4
Metán	15	11	16	18	4
Etilén	28	22	39	32	50
Etándús C2 frakció	4	3	5	3	38
Propilén	16	13	18	18	1
Propándús C3 frakció	1	1	1	23	0
C4 frakció	11	9	7	3	2
Összes C5-C9 frakció	21	23	12	2	1
Összes C10+ frakció	4	17	1	0	0
Szén-monoxid	0	0	0	0	0
Szén-dioxid	0	0	0	0	0
Propilén / Etilén arány	0,56	0,57	0,46	0,57	0,02
Σm	100	100	100	100	100
Az egyes frakciókban található vegyületcsoportok					
Etándús C2 frakció		etán, acetilén			
Propándús C3 frakció		propán, metil-acetilén, propadién			
C4 frakció		bután, vinil-acetilén, butadién, egyéb butének			
Megj.: a radiációs cső kilépési hőmérséklete (COT): 840 °C					

2.1.1 A gőzkrakkoláson alapuló olefingyártási technológiában felhasznált alapanyagok

Minden ipari technológia sajátossága a betáplálható alapanyagok mennyisége, halmazállapota. Emellett a felhasznált alapanyagokat tekintve döntő szempont elérhetőségük, az adott régióban rendelkezésre álló készletük és/vagy beszerezhetőségük. Így technológiánként és földrajzi helyenként az olefingyártásra felhasznált alapanyagok eltérőek. A gőzkrakkoláson alapuló olefingyártás alapanyagainak régiónkénti és típusonkénti megoszlása a 2. és 3. ábrán látható.



2. ábra Az olefingyártásra felhasznált alapanyagok régiónkénti megoszlása [1, 13]



3. ábra A jellemzően felhasznált alapanyagok százalékos megoszlása [1, 14]

A technológia kialakítása lehetőséget ad arra, hogy egyszerre többféle alapanyag is bevezethető a rendszerbe és rendszerint így is történik. A kemencékbe jellemzően régiók petrokémiai komplexumai vegyipari benzint, vegyipari gázolajat, propánt és butánt táplálnak be. Mint az a 2. és 3. ábrán látható is, a Kelet-Európai régióban leggyakrabban felhasznált alapanyag a vegyipari benzin, így az alapanyag-minőség termékhozamra gyakorolt szerepét ezen alapanyag esetében vizsgáltam.

2.1.2. A vegyipari benzin eredete, annak minősítése

A kőolaj-finomítók elsődleges feladata az üzemanyag előállítás. Ehhez a kitermelt kőolajból előbb a különböző szennyeződések távolítják el (víztelenítéssel, sótelenítéssel). Az így nyert nyersolajat ezután atmoszferikus, ill. vákuum desztillációnak vetik alá, a párlatokra való szétválasztás céljából [13]. A finomítói folyamatok során több különböző, üzemanyag-előállításra már nem alkalmas elegy is keletkezik, mint például a vegyipari benzin, vegyipari gázolaj. Ezen frakciók kémiai úton történő feldolgozását a petrokémiai komplexumok végzik [13], mivel azok az olefingyártás alapanyagául alkalmazhatók.

A vegyipari benzin könnyen illó, gyúlékony, sokkomponensű, folyékony szénhidrogén elegy [15]. Minősítésére leggyakrabban a sűrűségét használják, ami jellemzően

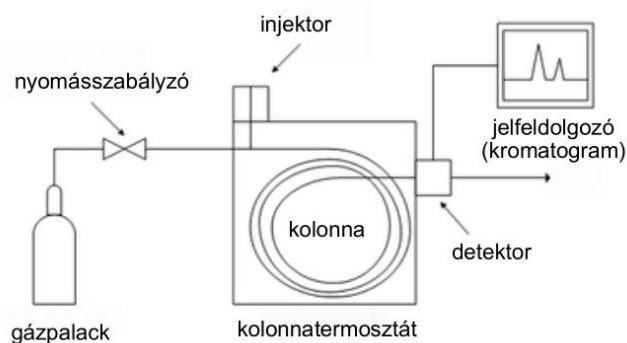
0,65-0,75 g/cm³ között változik. Azonban sokkomponensű összetétele miatt nem elegendő csupán a sűrűségének ismerete, hiszen attól, hogy két vegyipari benzin minta ugyanolyan sűrűségű, még a bennük található komponensek aránya belül eltérhet.

A vegyületek széles skáláját tartalmazó vegyipari benzint több mint száz különböző vegyület alkotja [1, 6]. Emiatt a vegyipari benzint az alkotó normál paraffin (P), i-paraffin (I), naftén (N) és aromás (A) vegyületcsoportok alapján szokás jellemezni. Ezt a csoportösszetételt adják meg a vegyipari benzin minősítése során, annak sűrűsége mellett. Ez a PIAN(O) összetétel, amely mozaikszó az ipari gyakorlatban is használt kifejezés, ill. a módszer is PIAN(O) (vagy PI(O)NA) néven ismert [16]. A paraffin-, izoparaffin-, aromás- és naftén-tartalom mellett egyes vegyipari benzin-minősítő dokumentációkban a vegyipari benzinben egyáltalán nem, vagy csak csekély mértékben fellelhető olefin (O)-tartalom is szerepel.

Átlagos összetétel-értékekről csak abban az esetben érdemes beszélni, ha azokat a benzin „származási helyéhez” kötik, vagyis az őt biztosító finomítóhoz. Mivel a gyakorlati tapasztalatok szerint a különböző finomítókból érkező benzin-minták átlagos csoportösszetétele más és más, a PIAN(O) összetételük eltéréseket mutat. Viszont éppen emiatt a minták csoportösszetételének meghatározása után könnyen megbecsülhető, hogy azok mely finomítóból származnak.

2.2. A VEGYIPARI BENZIN CSOPORT-ÖSSZETÉTELÉNEK MEGHATÁROZÁSA GÁZKROMATOGRÁFIÁS MÓDSZERREL

A szerves keverékek alkotó vegyületeinek kimutatására alkalmazható a gázkromatográfia [17], amely nagy hatékonyságú és szelektivitású gazdaságos módszer könnyen illó folyadék- és gázminták minőségi és mennyiségi analizisére [6]. Az alkalmazott PIAN(O) csoportösszetétel meghatározására vonatkozó gázkromatográfias módszer lényege, hogy az elválasztásban két fázis vesz részt, melyek közül az egyik mozgó-, a másik pedig állófázis. A mozgófázis (vagy vivőgáz) szállítja az analizálandó keverék vegyületeit az állófázison keresztül. A gázkromatográfia esetében a mozgófázis minden esetben gáz, az állófázis lehet szilárd, gél vagy folyadék is [6, 17].



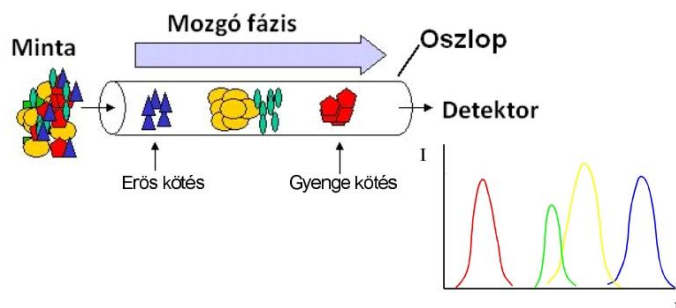
4. ábra A gázkromatográf sematikus felépítése, automatikus injektor résszel feltüntetve [17]

A gázkromatográfiás mérések esetén a kérdéses összetételű anyagot, a folyadék- vagy gázmintát mikro- vagy gázfecskendővel, kézi injektálással vagy automata injektor segítségével juttatjuk a készülékbe [17, 18]. A beinjektált térfogat folyadék esetében jellemzően 0,5-5 μl , gázmintánál tipikusan 0,5-1 cm^3 [18].

A minta az injektorrészbe kerülés után elpárolog és a vivőgáz áramába kerül. A vivőgáz valamilyen inert gázt, általában nitrogén-, hélium- vagy hidrogéngázt jelent, forrása rendszerint nagynyomású, nyomásszabályozóval ellátott palack. A vivőgáz kiválasztása a detektor típusa alapján történik, ahhoz igazított. A vivőgáz anyagárama és nyomása így szabályozott és állandó értéken tartott. A mozgófázis szerepe a többi elválasztási technikával (HPLC, SFE) ellentétben itt tisztán mechanikus jellegű, hiszen csak az elpárolgott mintakomponensek szállítására szolgál [18].

A minta elpárolgott részei így a vivőgáz segítségével, állandó anyagárammal és gőznyomással (ami a hőmérséklettől függ) a kolonnára jutnak, ahol megtörténik az elválasztás. Ez történhet állandó hőmérsékletű kolonnatérben, ill. hőmérséklet-szabályozott működés is lehetséges (ez utóbbi a gyakoribb).

A kolonna tartalmazhat finom szemcsés töltetet, ill. lehet kapilláris is [17, 18]. A töltetes kolonna olyan cső, amelynek belső felületén nagy fajlagos felülettel rendelkező részecskék vannak, így akadályozva a mintakomponensek szabad áramlását. A kapilláris kolonnák ezzel szemben üvegcsövek, belső felületükön szilárd adszorbenssel vagy folyadékfilmmel ellátva.



5. ábra Az oszlopkromatográfia elve [17]

A minta különböző komponensei eltérő idő alatt, rájuk jellemző ún. retenciós idővel érnek át a kolonna teljes hosszán és jutnak el a detektorba, hiszen a többkomponensű elegyet alkotó komponensek szerkezetüktől, fizikai és kémiai tulajdonságaiktól függően különbözőképpen kötődnek meg az állófázison (5. ábra), így eltérő arányban oszlanak meg a két fázis között [17]. Ebből kifolyólag az állófázishoz kevésbé kötődő komponensek érnek keresztül a legrövidebb idő alatt az oszlopon, az erősebb kötést mutató vegyületek átjutásához szükséges idő pedig nagyobb lesz [17].

Az oszlopon áthaladó komponensek ezután a detektorba jutnak. Különböző típusú detektorok léteznek, a leggyakrabban alkalmazott detektor a hővezetőképességi detektor (TCD), a lángionizációs detektor (FID), illetve az elektronbefogásos detektor (ECD) [18]. A kolonnán elválasztott és a detektorba jutó komponensekről a detektor azok koncentrációjával arányos jelet szolgáltat, így információt szolgáltat a beinjektált minta komponensösszetételére vonatkozóan is. Ezen kívül regisztrálásra kerül a komponensek retenciós ideje, vagyis azon időtartam, ami alatt átjutnak a kolonnán. A retenciós idő pedig (adott állófázis és azonos mérési körülmények esetén) az adott vegyületre jellemző, így a kromatográfias elemzések kvantitatív elemzés mellett kvalitatív elemzésre is egyaránt alkalmasak.

A vegyipari benzinek gázkromatográfias úton meghatározott csoportösszetétele mellett jellemző minősítő paramétere a sűrűség is, melynek különböző hőmérsékleteken történő meghatározásával célom volt a vegyipari benzin sűrűség hőmérséklet-függésére összefüggést megállapítani. Az alábbiakban az általam alkalmazott, sűrűség meghatározására irányuló különböző klasszikus módszerek bemutatását végzem el.

2.3. A VEGYIPARI BENZIN SŰRŰSÉGÉNEK MEGHATÁROZÁSA

A vegyipari benzin jellemzői, annak eredetétől, keletkezésétől függően széles tartományon belül változhatnak [6]. Minősítésekor leggyakrabban a csoport-összetétele és a sűrűsége kerül megadásra.

A sűrűség, mint az ipari gyakorlatban legkönnyebben nyomon követhető makroszkopikus paraméter hőmérsékletfüggő, így megadásakor elengedhetetlen a hőmérséklet feltüntetése is. Ellenkező esetben a sűrűség a IUPAC meghatározása szerinti Standard Temperature and Pressure-n (STP-n) értelmezendő, vagyis a standard hőmérsékleten és nyomáson: 101325 Pa-hoz és hivatalosan 0°C-hoz (bár gyakran 25°C-hoz) társítják.

A sűrűség szezonális-függése pedig rendkívül lényeges a vegyipari benzin esetében, mivel az a környezeti hatásoknak és a környezeti hőmérsékletnek teljes mértékben kitett csővezetéseken érkezik az üzemekbe. Emiatt elengedhetetlen az adott hőmérséklethez tartozó sűrűség ismerete.

A sűrűség mérésére léteznek relatív és abszolút mérési módszerek is.

A mérési körülmények teljes azonosságának hiányában a gyakorlatban kedvelt eljárás, ha a mérést egy ismert tulajdonságú anyagon is elvégezzük, vagy arra kalibráljuk a készüléket és ezt az anyagot vonatkoztatási alapnak használjuk. Így az abszolút sűrűség helyett a relatív sűrűséget határozzák meg jellemzően az ipari sűrűségmérések során, ami definíció szerint a kérdéses sűrűségű anyag abszolút sűrűsége, a vonatkoztatási anyag abszolút sűrűségéhez viszonyítva [19]. A vonatkoztatási anyag folyékony anyag vizsgálata esetén jellemzően 20°C-os víz [20].

Annak érdekében, hogy rutint szerezzek a különböző sűrűségmérési módszerekben, a méréseim során abszolút és relatív sűrűségmérést is egyaránt alkalmaztam, az eredményeket összehasonlítottam, az esetleges módszeres hibákat összevetettem.

A kőolajiparban előszeretettel alkalmazzák az ásványolajok esetében a relatív sűrűség egyik jellegzetes fajtáját, az ún. API (American Petroleum Institute) sűrűséget [6, 21]. Ez a sűrűségérték megadja, hogy az adott kőolajszármazék relatív sűrűsége hogyan viszonyul a víz sűrűségéhez az adott hőmérsékleten, Ha az API sűrűség nagyobb tíznél, az adott folyékony elegy könnyebb a víznél, azon úszik; ha tíznél kisebb az API, az elegy nagyobb sűrűségű a víznél. Mértékegysége °API.

Az API sűrűség ill. a relatív sűrűség egymásba könnyen átszámolható, a következő képlet segítségével [6]:

$$^{\circ}API = \frac{141.5}{\rho} - 131.5 \quad (1)$$

ahol:

- $^{\circ}API$: a kérdéses sűrűségű olajszármazék API sűrűsége 15°C-on, [-]
- ρ : a kérdéses anyag relatív sűrűsége 15°C-on, [kg/dm³]

Az (1) képletből is látszik, hogy az API-sűrűség származtatott mennyiség, így a méréseim során csak az abszolút és relatív sűrűség értékek meghatározását végeztem el.

2.3.1. Sűrűségmérés areométerrel

Az areométerek mindkét végén leforrasztott, alul kiszélesedő, sörét- vagy higanynehezékekkel, esetleg higanyos hőmérővel ellátott hosszú, vékony üvegcsövek (6. ábra) [20]. Méretezésüknek köszönhetően függőlegesen úsznak a folyadékokban, működésük pedig Archimédész törvényén alapul, miszerint a vízbe merülő test által kiszorított folyadékmennyiség megegyezik a test súlyával. Minél kisebb a folyadék sűrűsége, annál több folyadékot tud kiszorítani az areométer, így annál mélyebbre merül. Két fő típusa létezik, ezek közül a gyakorlati használatban leginkább elterjedtek az állandó súllyal és felső részükön skálával ellátott térfogati (vagy skála) areométerek [22].

Az areométerekből sorozatok állnak rendelkezésre, melyek tagjai egy-egy sűrűség-intervallumban használhatók. Mérés során előbb a tágabb méréshatárú, ún. kereső areométert használják a sűrűségérték közelítő becslésére, majd az ez alapján kiválasztott szűkebb méréshatárú műszerrel állapítják meg a pontos értéket [20].



6. ábra Sörétnehezékes areométer

2.3.2. Sűrűségmérés Mohr-Westphal mérleggel

A berendezést egy mérleg, egy üvegtest és lovasok alkotják (7. ábra). A mérés során a kérdéses sűrűségű folyadékkal töltött mérőhengerbe merítjük az üvegtestet. A testre Archimédész törvénye alapján a folyadék sűrűségétől függően eltérő nagyságú felhajtóerő hat, a felhajtóerők aránya pedig egyenlő a sűrűségek viszonyával [23]:

$$\frac{F}{F_0} = \frac{\rho}{\rho_0} \quad (2)$$

ahol:

- F, F_0 : az üvegtestre a kérdéses sűrűségű folyadékban, ill. a vonatkoztatási folyadékban (vízben) ható felhajtóerő (N)
- ρ, ρ_0 : a kérdéses sűrűségű folyadék, ill. a vonatkoztatási folyadék (víz) sűrűsége (g/cm^3)

A mérleg kalibrálását szobahőmérsékletű vízre szabványos végezni. A víz és levegő szobahőmérsékleten vett sűrűsége azonban csak az ötödik, hatodik tizedesjegyen tér el, így a harmadik tizedesjegyre mérő Mohr-Westphal víz helyett levegőre történő kalibrálása nem okoz mérési hibát. Megfelelő kalibrálás után így a mérleg végére akasztott üvegtest által kifejtett súlyerőt levegőn a mérleg másik karján lévő nehezék egyensúlyozza ki [23].

Az üvegtestre ható felhajtóerő a folyadékba merítés során megváltozik, így a tengelyre általa kifejtett forgatónyomaték is, vagyis a forgatónyomatékok egyensúlyra jellemző zérus összege is változik, így a mutató kitér [23]. Ezen kitérést a mérleghez tartozó lovasokkal egyenlíthetjük ki úgy, hogy azokat a kalibrált skálával rendelkező mélyedésekbe helyezzük [23]. Az egység és a lovasok az üvegtesttel egyenlő térfogatú $4,0^\circ\text{C}$ -os víz tömegével egyenlő tömegű, U alakúra hajlított, vastag sárgaréz drót ill. annak 0,1-0,001-ed tömegű részei. A mérés előnye, hogy a lovasok pozíciójából közvetlenül leolvasható az adott folyadék relatív sűrűsége (annak helyi értékeit adják meg a lovasok).



7. ábra A Mohr-Westphal mérleg [23]

2.3.3. Sűrűségmérés piknométerrel

A piknométer rendszerint egy 10-,50- vagy 100 cm³ térfogatú, lombik alakú, szűk nyakú üvegedény, melybe csiszolatos hőmérő illeszkedik (8. ábra) [23]. Létezik egyszerű típusa is, illetve oldalán kis kapilláris csővel ellátott fajtája is, ami lehetővé teszi a folyadékszint pontosabb beállítását.

A piknométeres sűrűségmérés az ismert hőmérsékletű és térfogatú folyadék tömegének mérésén alapszik. Így a mérést az üres piknométer tömegének (m_e) mérésével kezdjük, majd a szobahőmérsékletű vízzel jelig feltöltött piknométer tömegét is megmérjük ($m_{e+víz}$), miközben mindkettő esetén feljegyezzük a hőmérsékletet is. Ezek után a desztillált vízzel alaposan kimosott, szárítószekrényben teljesen kiszáritott piknométereket a vizsgálandó anyaggal töltjük fel és ennek tömegét is feljegyezzük (m_{e+VB}). Ezeknek az adatoknak az ismeretében kiszámítható a vizsgált folyadék adott hőmérsékleten érvényes sűrűsége [23]:

$$\rho_{VB}(T) = \frac{m_{e+VB} - m_e}{m_{e+víz} - m_e} * \rho_{víz}(T) \quad (3)$$

ahol:

- $\rho_{VB}(T)$: a vegyipari benzin adott hőmérsékleten érvényes sűrűsége (g/cm³)
- m_e : az üres piknométer tömege (g)
- m_{e+VB} : a vegyipari benzinnel feltöltött piknométer tömege (g)
- $m_{e+víz}$: a desztillált vízzel feltöltött piknométer tömege (g)
- $\rho_{víz}(T)$: a desztillált víz adott hőmérsékleten érvényes sűrűsége (g/cm³)

A számításhoz szükséges, adott hőmérséklethez tartozó víz-sűrűség érték fizikai-kémiai táblázatokból kereshető ki.



8. ábra Kapilláris és egyszerű dugós piknométerek

3. KÍSÉRLETI RÉSZ

Méréseim során a rendelkezésemre bocsátott 21 darab vegyipari benzin minta sűrűségét háromféle módszerrel is meghatároztam. A minták sűrűségének meghatározását 15-40°C közötti tartományban 5°C-onként végeztem el. Az adatsorból empirikus összefüggést állapítottam meg a vegyipari benzin sűrűségének hőmérsékletfüggésére vonatkozóan, ami nagy segítségül szolgálhat a vegyipari benzin felhasznált mennyiségének pontos elszámolásában is.

Emellett a vegyipari benzin sűrűségét szintén befolyásoló tényezőt, a komponens-összetételt is vizsgáltam, melynek során a minták elemzését gázkromatográfiás módszer segítségével végeztem el. A kromatogramokat kiértékelve, illetve a sűrűség hőmérsékletfüggésének ismeretében összefüggést tártam fel a vegyipari benzinben található komponensek mennyisége és a sűrűség alakulása között.

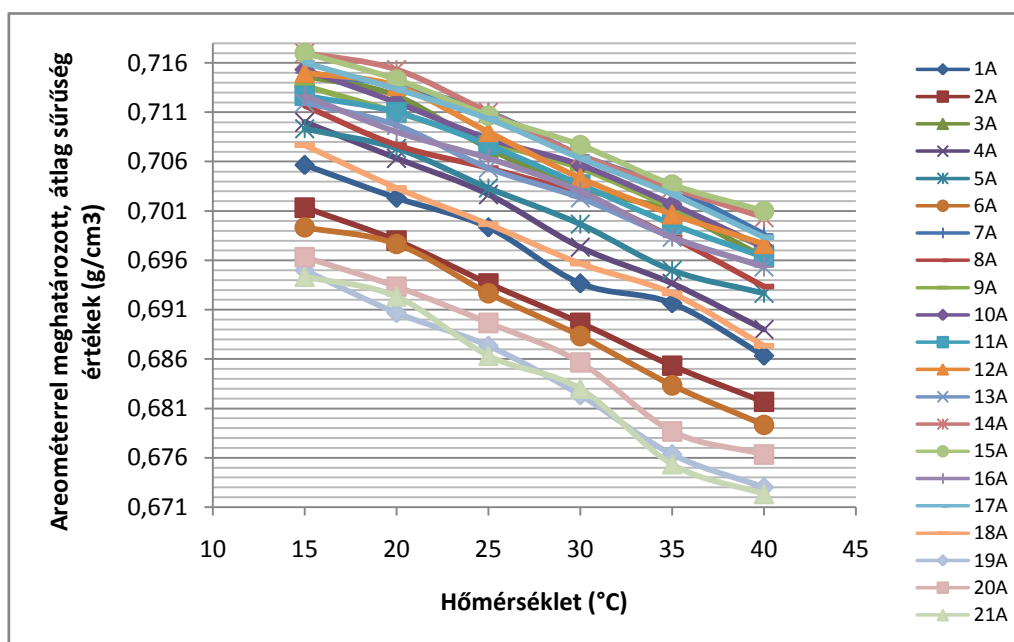
3.1. A VEGYIPARI BENZIN SŰRŰSÉG HŐMÉRSÉKLETFÜGGÉSÉNEK MEGHATÁROZÁSA AREOMÉTERREL

Az areométeres mérésekhez 15, 20, ..., 40°C-on termosztált vízfürdőbe helyeztem az előzőleg alaposan megtisztított, megszáritott, majd vegyipari benzinnel feltöltött üveghengereket. Az adott sűrűségértéket csak akkor olvastam le, miután a minta hőmérséklete is elérte a kívánt értéket. Mindegyik mintánál három párhuzamos mérést végeztem és lehetőség szerint a párhuzamos méréseknél használt areométerek is különböző méréstartományú mérőeszközök voltak. A mérések mindegyikénél feljegyeztem a mérőhengerben lévő folyadék pontos hőmérsékletét. Az areométerek folyadékba merülésekor ügyelni kellett, hogy a műszer ne érjen a mérőhenger falához, a mérőhengereknek pedig függőlegesen kellett állnia a pontos sűrűség-érték leolvasásának biztosítása céljából. Újabb minta sűrűségének megméréséhez ugyanazt a mérőhengert az új mintával kétszer átöblítettem és csak ezek után történt meg annak feltöltése. Tekintettel a vegyipari benzin illékonyságára, a mintákat tartalmazó üveghengert óraüveggel fedtem le a párolgás mérséklésére.

A mérések teljes adatsorát, azok szórását is az 1. sz. melléklet tartalmazza. A különböző hőmérsékleteken mért átlag-sűrűség értékeket a 2. táblázat foglalja össze, míg a minták hőmérsékletfüggését bemutató grafikont a 9. ábrán tüntetem fel.

2. táblázat Az adott hőmérsékleten történt areométeres sűrűségmérésekből számolt
átlag sűrűségértékek, g/cm³-ben megadva

	Hőmérséklet (°C)					
Mintaszám	15	20	25	30	35	40
1A	0,706	0,702	0,699	0,694	0,692	0,686
2A	0,701	0,698	0,694	0,690	0,685	0,682
3A	0,715	0,713	0,707	0,703	0,701	0,696
4A	0,710	0,706	0,703	0,697	0,694	0,689
5A	0,709	0,707	0,703	0,700	0,695	0,693
6A	0,699	0,698	0,693	0,688	0,683	0,679
7A	0,715	0,714	0,711	0,707	0,703	0,699
8A	0,712	0,708	0,705	0,703	0,698	0,693
9A	0,714	0,711	0,708	0,705	0,701	0,697
10A	0,715	0,712	0,708	0,706	0,702	0,697
11A	0,713	0,711	0,708	0,704	0,700	0,696
12A	0,715	0,714	0,709	0,704	0,701	0,698
13A	0,712	0,710	0,705	0,702	0,698	0,695
14A	0,717	0,715	0,711	0,707	0,703	0,700
15A	0,717	0,714	0,711	0,708	0,704	0,701
16A	0,713	0,709	0,706	0,703	0,698	0,695
17A	0,716	0,713	0,710	0,706	0,703	0,698
18A	0,708	0,703	0,700	0,696	0,693	0,687
19A	0,695	0,691	0,687	0,682	0,676	0,673
20A	0,696	0,693	0,690	0,686	0,679	0,676
21A	0,694	0,692	0,686	0,683	0,675	0,672



9. ábra A 21 darab vegyipari benzín minta areométeres sűrűségmérési módszerrel meghatározott abszolút sűrűségének hőmérsékletfüggésére vonatkozó grafikon

Az areométeres sűrűségmérés eredményeit bemutató 9. ábra is szemlélteti a nyilvánvaló tény, miszerint a hőmérséklet emelése a sűrűség csökkenését eredményezi. Emellett a teljes adathalmaz alapján az feltételezhető, hogy a hőmérséklet függvényében felvett sűrűséggörbék egyforma trendet követnek.

A görbék trendtől való eltéréseért a PIAN(O) összetétel-beli eltéréseket okolhatjuk. Ez is azt igazolja, hogy a vegyipari benzin sűrűsége és a hőmérséklet közötti kapcsolat megállapításához az adott minták sűrűségének és komponens-összetételének együttes ismerete szükséges.



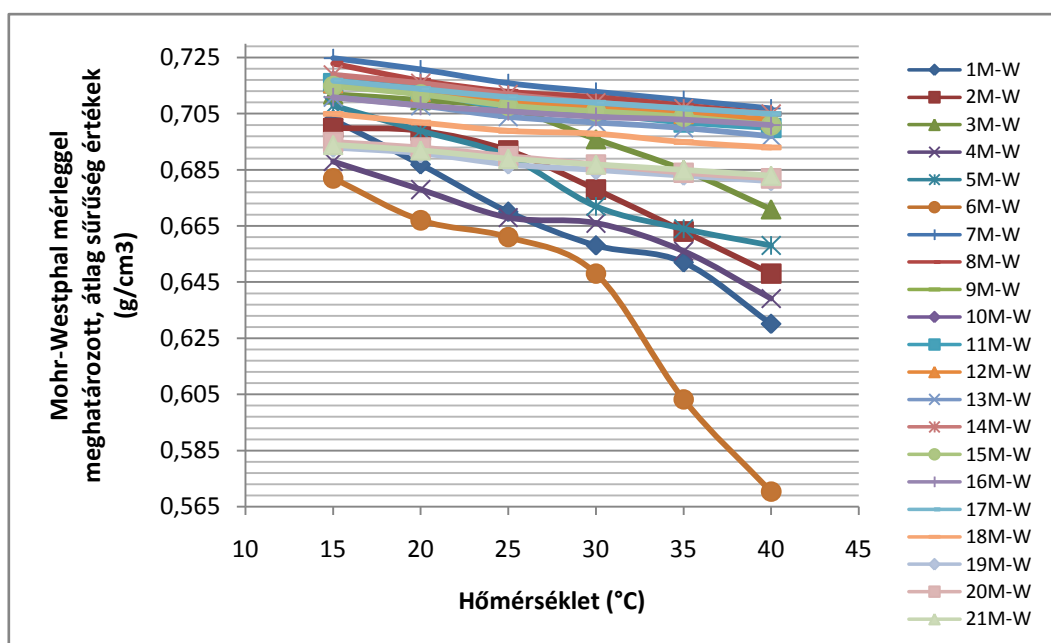
10. ábra Az areométeres sűrűségmérés során használt termosztált berendezés működés közben a mérőhengerekkel, hőmérővel és az egyik mérőhelyen az areométerrel

3.2. A VEGYIPARI BENZIN SŰRŰSÉG HŐMÉRSÉKLETFÜGGÉSÉNEK MEGHATÁROZÁSA MOHR-WESTPHAL MÉRLEGSEL

A Mohr-Westphal típusú sűrűségmérésnél az eszközt levegőre ($T_{\text{átlag}} = 25^{\circ}\text{C}$) kalibráltam, majd a kettős falú, adott hőmérsékletre termosztált üvegedénybe öntött és adott hőmérsékletre beállt vegyipari benzin-mintákba merítettem üvegtestet. Egymást követő benzin minták sűrűségmérése között az üvegtestet papírtörölővel szárazra töröltem és ezt követően helyeztem a következő mintába. A hőmérsékletet folyamatosan ellenőriztem és jegyeztem. Mivel a mérleg egy éken ül, így annak precíz, stabil, ugyanakkor a mérleg mozgását nem gátló felfekvésére is ügyelni kell. Az üvegtestnek az üvegedénnyel nem érintkezve, a folyadékba függőlegesen, teljes méretében el kell merülnie. A mérési eredményeket a 3. táblázat, azok kiértékelését a 11. ábra tartalmazza.

3. táblázat A Mohr-Westphal mérleggel meghatározott sűrűségértékek, g/cm³-ben

Minta száma	Hőmérséklet (°C)						Minta száma	Hőmérséklet (°C)					
	15	20	25	30	35	40		15	20	25	30	35	40
1	0,703	0,687	0,670	0,658	0,652	0,630	12	0,716	0,713	0,710	0,707	0,705	0,703
2	0,700	0,699	0,692	0,678	0,663	0,648	13	0,711	0,708	0,704	0,702	0,700	0,697
3	0,712	0,710	0,707	0,696	0,685	0,671	14	0,719	0,716	0,712	0,709	0,707	0,705
4	0,688	0,678	0,668	0,666	0,656	0,639	15	0,715	0,712	0,708	0,706	0,704	0,701
5	0,708	0,699	0,690	0,672	0,664	0,658	16	0,711	0,708	0,706	0,704	0,703	0,701
6	0,682	0,667	0,661	0,648	0,603	0,570	17	0,717	0,714	0,711	0,709	0,707	0,705
7	0,725	0,721	0,716	0,713	0,710	0,707	18	0,705	0,702	0,699	0,698	0,695	0,693
8	0,723	0,717	0,713	0,711	0,708	0,705	19	0,693	0,691	0,687	0,685	0,683	0,681
9	0,718	0,715	0,711	0,708	0,705	0,701	20	0,695	0,693	0,690	0,687	0,684	0,682
10	0,717	0,714	0,710	0,707	0,704	0,701	21	0,694	0,692	0,689	0,687	0,685	0,683
11	0,716	0,713	0,707	0,705	0,702	0,700							



11. ábra A vegyipari benzin minták sűrűségének hőmérsékletfüggése Mohr-Westphal mérleg segítségével meghatározva

A különböző minták adott hőmérsékleteken érvényes sűrűségértékei a Mohr-Westphal típusú mérések esetén nagyfokú szórást mutatnak. Egyes minták esetében az értékek nagyobb mértékű szórása várható jelenségnek minősült, például a 21-es számú minta már 30°C és 35°C között elkezdett formni, a 6-os sz. minta pedig hosszú időn keresztül állt, mielőtt a mérésre sor került volna. Ugyanakkor még ezen körülmények figyelembevételével, az említett minták görbéinek elhanyagolásával sem nevezhetők azonos lefutásúnak a sűrűséggörbék. Ez betudható az areométer mérőhengereinek térfogatához viszonyított sokkal kisebb térfogatú Mohr-Westphal üvegedényeknek, hiszen a kisebb térfogat ugyanolyan

párolgási intenzitás mellett nagyobb tömegvesztést eredményez. Így nagyobb mértékben változhat a minta sűrűsége is. Emellett a termosztálási körülmények beállítása több időt vett igénybe az areométeres sűrűségméréseknél tapasztalt beállítási időhöz képest, ami hosszabb mérési időt eredményezett, a minták relatív több ideig álltak és párologtak.



12. ábra A Mohr-Westphal mérleget és termosztátot tartalmazó, relatív sűrűség mérésére alkalmas berendezés

A Mohr-Westphal mérleggel végzett mérések teljes adathalmaza a 2. sz. mellékletben található.

3.3. A VEGYIPARI BENZIN SŰRŰSÉGÉNEK MEGHATÁROZÁSA ADOTT HŐMÉRSÉKLETEN, PIKNOMÉTERREL

A rendelkezésemre álló 50 cm^3 térfogatú piknométerekkel a laboratóriumban uralkodó adott hőmérsékleten ($T_{\text{átlag}} = 25^\circ\text{C}$) három párhuzamos mérést végeztem a minták sűrűségére vonatkozóan.

Előbb a piknométerek üres tömegét határoztam meg, majd a desztillált vízzel feltöltött eszközök tömegét mértem meg. Ezek után a piknométereket desztillált vízzel alaposan kimostam és szárítószekrényben szárítottam meg őket. Az immár száraz piknométereket ezek után az adott vegyipari benzin mintákkal töltöttem fel és mértem azok együttes tömegét. A tömegméréseket négy tizedesjegy pontosságú analitikai mérleg segítségével végeztem (13. ábra).



13. ábra A tömegmérésekhez használt analitikai mérleg

4. táblázat A piknométerekkel mért átlagos vegyipari benzin-sűrűségek, g/cm³-ben

Minta sorszáma	$\rho_{\text{át}}(\text{g/cm}^3)$	Minta sorszáma	$\rho_{\text{át}}(\text{g/cm}^3)$
1	0,6939	12	0,7094
2	0,6936	13	0,7056
3	0,7042	14	0,7150
4	0,6993	15	0,7107
5	0,7090	16	0,7088
6	0,6928	17	0,7176
7	0,7166	18	0,7022
8	0,7156	19	0,6904
9	-	20	0,6924
10	-	21	0,6903
11	0,7085		

A teljes adattáblázatot a 3. sz. melléklet tartalmazza.

3.4. A VEGYIPARI BENZIN MINTÁK PIAN(O) TARTALMÁNAK MEGHATÁROZÁSA GÁZKROMATOGRÁFIÁS MÓDSZERREL

Gázkromatográfiás mérés esetén a kérdéses anyag injektor részbe juttatásakor a fecskendő tűjét egy gumiszeptumon szúrjuk keresztül, ami biztosítja a kamra azonnali zárását a fecskendő kihúzása után. Kézi injektálás esetében a mérés körülményei nagyobb figyelmet igényelnek. Szem előtt tartandó egyrészt a beadagolás során a pontos minta-mennyiség kimérése. Ezen felül, folyadékminta esetében ügyelni kell a minta buborékmentességére, hiszen a mintával együtt bevitt levegőbuborékok meghamisíthatnák eredményeinket. Nem utolsósorban, a beadagolásnak pillanatszerűnek kell lennie. Ezen körülményeket tehát feltétlenül biztosítani kell a pontos, valóságnak megfelelő, ill. legalább az azt közelítő eredmény érdekében. Az azonos mérési körülmények, ill. a mérés reprodukálhatóságának

biztosítása céljából a mintákat adott hőmérsékleten, hűtőben tároltam. Emellett alacsonyabb hőmérsékleten kevésbé párolog a minta, így könnyebb a mérés elején a buborékmentes felszívás is.

Az injektálást kézzel végeztem, Hamilton (0-10 µl-es) mikrofecskendővel a készülékbe 0,5 µl-t injektáltam. Ezek után a készülék megfelelő programját beállítva a készülék automatikusan végezte a minta felfűtését-lehűtését és magát az elválasztást is.

Az injektálást követően elindítottam a vegyipari benzinre vonatkozó hőmérséklet-programozást a gázkromatográfhoz kötött számítógépen. Ezzel egy időben az adatgyűjtés, -rögzítés is elkezdődött. A vegyipari benzin-minta hőmérséklet-program általi hőközlése több lépcsőben történt, a hevítések között pedig a program által meghatározott ideig, adott hőmérsékleten hőntartás történt.

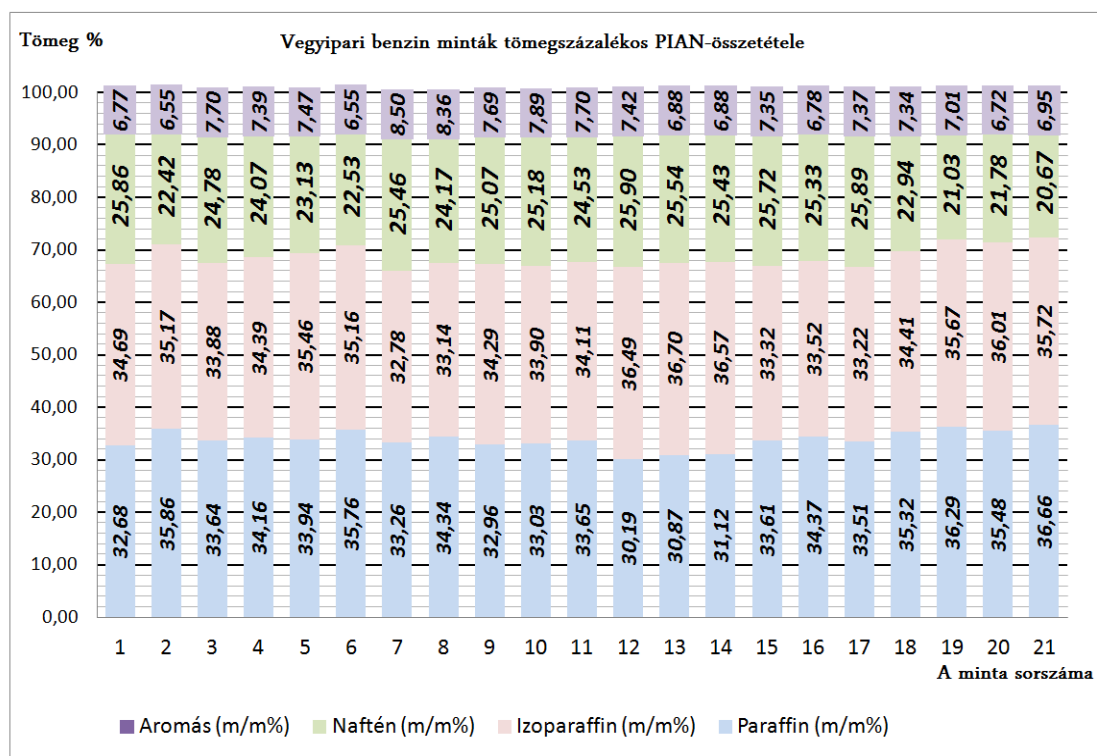
A méréseket egy GC 8000 TOP típusú gázkromatográfon végeztem, amely berendezés a következő paraméterekkel rendelkezik [24, 25]:

- GYÁRTÓ: Thermoscientific Instruments
- TÍPUS: OL – 027 számú, GC 8000 Top típusú gázkromatográf a TVK NyRt. Olefin Minőség-ellenőrzés Laboratóriumában
- DETEKTOR: FID lángionizációs detektor, 200 °C
- KOLONNA: 60m, 0,28 mm ID, 1,0 µm d_f, MXT – 1 (Crossbond, 100% dimetil polisziloxán)
- VIVÓGÁZ: N₂ (5.0 tisztaságú palackról), Áramlás: 0,60 ml/min (50°C-on), Nyomás: 62kPa (50°C-on és 0,60 ml/min áramlásnál)
Lefúvatás(split): 50 ml/min, Szeptum öblítés (top): 4,5 ml/min
- LÁNGHOZ: Levegő: 90 kPa, H₂: 100 kPa, make-up: nincs
- BEMÉRÉS: 0,5 µl, split injektálás
Injektor hőmérséklet: 250 °C
- ELEKTROMÉTER: érzékenység 100x20
- PROGRAM: P9
- PARAMÉTEREK:
 - stand-by: 1 min hőntartás
 - 1. szakasz: 50°C hőntartás 40 percig, utána 10°C/min hevítés
 - 2. szakasz: 100°C hőntartás 20 percig, utána 20°C/min hevítés
 - 3. szakasz: 150°C hőntartás, 15 percig, utána hűtés
 - 1. zóna: 250°C, 2. zóna (detektor): 200 °C

A mérés végeztével a számítógép által kirajzolt kromatogram kiértékelése történt. Mivel méréseimet szabvány szerinti [MSZ-09-60.0133:1984] kidolgozott módszerrel végeztem, a kromatográfhoz kapcsolt számítógépbe már a vegyipari benzin komponenselemzésére vonatkozó mérések végzése óta betáplálták az arra vonatkozó programot. A program által tárolt jellemző retenciós idők pedig a kiértékelést segítették. A betáplált és a valós retenciós idők között azonban lehetnek eltérések, melyek némely esetben megakadályozzák a program általi vegyület-felismerését, esetleg más csúcsokhoz rendeli az adott vegyületet. Ezért elengedhetetlen a kromatogram alapos áttekintése, kiértékelése.

A kromatogram javítását követően lehetőség van a minta „riportjának” megtekintésére, amelyen fel van tüntetve a mintában talált összes vegyület, azok retenciós idejének sorrendjében (minőségi jellemzők) és a kromatográfiás csúcsok alatti, kiintegrált terület is (ez az adott vegyület mennyiségi jellemzője). A szoftver a kiértékelés utolsó lépéseként összesíti a komponenseket és megadja a csoport-összetételt (PIAN(O)) is [16, 25, 26]. Ugyanakkor a vegyipari benzinben jellemzően jelen van két olyan komponens, melyeknek retenciós ideje csak kis mértékben különbözik, így a gázkromatográfia során nem válnak szét. Ez a két komponens a ciklo-pentán és a 2,3-dimetil-bután. A kettő együttes tömege jelenik meg a szoftver számítása során az izoparaffin csoportban, azonban a dimetil-butánnal ellentétben a ciklo-pentán nem izoparaffin, hanem naftén. Így utólagos kalkuláció szükséges a csoport-összetétel meghatározására vonatkozóan: az izoparaffin-mennyiségből le kell vonni a ciklo-pentán mennyiségét és a naftén-mennyiséghez kell hozzáadni. A két komponens együttes tömegükben képviselt megoszlására vonatkozóan az üzemek a gyakorlatban tapasztalt, empirikus számaránnyal kalkulálnak. Ezek szerint a DUFI-ból, vagyis a Dunai Finomítóból származó vegyipari benzinre a 60/40 %-os, míg a Tiszai Finomítóból (TIFO-ból) érkező benzinre a 45/55 %-os megoszlás a jellemző a ciklo-pentánt és a dimetil-butánt illetően. A rendelkezésemre bocsátott 21 darab vegyipari benzin minta mindegyike a DUFI-ból érkezett az üzembe, így a csoport-összetételek meghatározásakor az említett két vegyület arányát 60/40 %-osnak számoltam.

A mérések során kapott értékeket a 4. sz. melléklet tartalmazza, a különböző minták csoport-összetételének tömegszázalékos megoszlását a 14. ábrán is szemléltetem [25].



14. ábra A vegyipari benzin minták PIAN(O) összetételének tömegszázalékos megoszlása a gázkromatográfiás méréseim alapján

3.5. A MÉRÉSI ADATOK ALAPJÁN LEVONT KÖVETKEZTETÉSEK

Az általam alkalmazott három sűrűségmérési módszer adatait tekintve (2., 3., 4. táblázat), fizikai-kémiai tanulmányaimmal összhangban nem lepődtem meg azon, hogy a hőmérséklet növelésével a sűrűség-értékek csökkentek [25, 27]. A háromféle módszer értékeinek különbözőségét a mérőműszerek mérési hibája, ill. a módszeres hibák okozták. Azonban az 5. sz. mellékletben időrendben feltüntetett méréseim eredményeként szolgáló átlagos sűrűségértékek is alátámasztják, hogy mintánként a különböző módszerekkel mért sűrűségértékekben maximum $0,04 \text{ g/cm}^3$ -s, jellemzően $0,005$ - $0,01 \text{ g/cm}^3$ -es eltérés figyelhető meg. Vagyis a vegyipari benzin sűrűségének közelítő becslésére mindhárom módszer alkalmas. Az 5. sz. melléklet szolgáltat arról is információt, ami a vegyipari benzin sűrűségmérésének egyik legnagyobb hibafaktora: a kisebb sűrűségű komponensekben gazdag vegyipari benzin könnyen illó komponensei már állás közben is gyors és nagyfokú párolgást mutatnak és így a sűrűség jelentős mértékben változik. Emiatt az időben később végzett sűrűségmérés még ugyanazon mérési módszer esetében is nagyobb sűrűség-értékeket eredményez, mint a korábban végzett mérések.

A Mohr-Westphal sűrűségmérések esetében a magasabb hőmérsékleteken mért sűrűségértékek jelentős eltérést mutatnak az areométeres eredményekhez viszonyítva. Ez a minta nagyobb fokú párolgására és így nagyobb mértékű töményedésére utal, mivel kisebb mennyiségű (kb. 100-200 cm³) minta kerül felhasználásra a Mohr-Westphal mérések esetében, mint az areométeres módszer során (kb.: 500-600 cm³). A kisebb folyadék-mennyiségből (effektíve nagyobb fajlagos párolgási felület miatt) könnyebben tudnak távozni az illékonyabb komponensek. Ez alapján a magasabb hőmérsékleten történő sűrűségmérésekre a Mohr-Westphal módszer megbízhatósága jelentősen kisebb. Így a statisztikai elemzésekre, a következtetések levonására a sűrűségértékek tekintetében az areométeres sűrűségmérési módszer értékeit vettem alapul.

A gázkromatográfiás mérések során meghatározott csoport-összetételek különbözősége is utal a minták minőségének különbözőségére. Emellett bármely két minta csoport-összetételének (14. ábra, 4. sz. melléklet) és sűrűségének (2. táblázat, 1. sz. melléklet) összevetése során látható, hogy az alacsonyabb sűrűségért a magasabb paraffin-, izoparaffin, ill. az alacsonyabb naftén- és aromás-tartalom felel. Míg a nafténeket és aromásokat nagyobb mennyiségben tartalmazó vegyipari benzin minták magasabb sűrűséggel rendelkeznek [25, 28].

A vegyipari benzin minták areométeres módszerrel különböző hőmérsékleten mért sűrűségértékeit, ill. a minták PIAN(O) összetételét a 6. sz. mellékletben foglaltam össze.

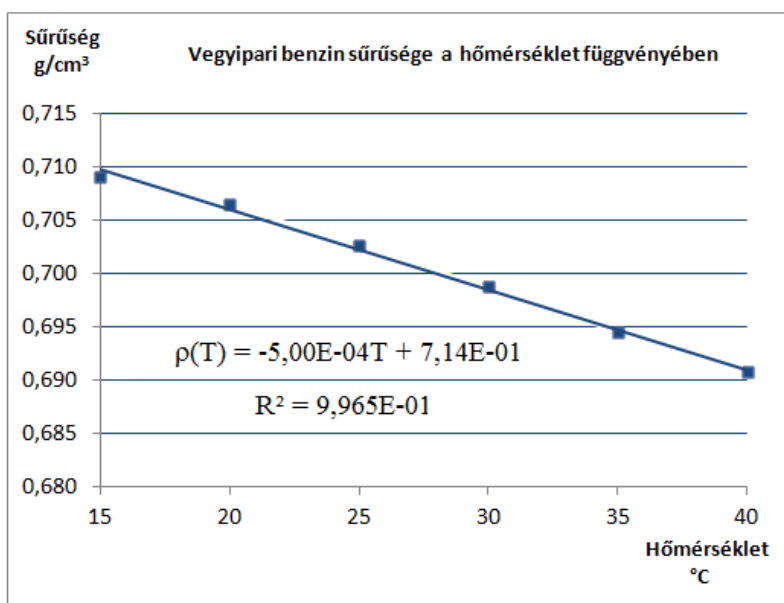
3.5.1. Statisztikai elemzések a Windows Microsoft Office Excel-es bővítménnyel, az Analysis Tool Pak segítségével

Az areométeres mérés eredményeit grafikusán ábrázoló diagram (9. ábra) alapján azt a következtetést vontam le, hogy a mérési hibahatáron belül az adott hőmérséklettartományban a sűrűség hőmérséklet függvényében vizsgált változása közel lineáris [25]. Ahhoz, hogy a vegyipari benzin sűrűségének hőmérsékletfüggésére egy általános empirikus összefüggést tudjak megállapítani, a statisztikai és mérnöki elemzésekre alkalmas Analysis ToolPak Excel-bővítmény segítségével meghatároztam a vegyipari benzin minták sűrűségének adott hőmérsékletre vonatkozó számtani középértékét, minimumát és maximumát, illetve szórását [25]. Ezt a bővítmény a 6. sz. mellékletben található adattartomány alapján szoftveres úton végezte el, a számításokat megfelelő beépített statisztikai makró függvényekkel végezve [25]. Az így meghatározott statisztikai adatokat az 5. táblázat tartalmazza.

5. táblázat A 21 darab vegyipari benzin mérési adatsora alapján az Analysis ToolPak segítségével meghatározott, különböző hőmérsékleten mért abszolút sűrűséget és komponens-összetételt jellemző statisztikai adatok

	Számítani középérték (g/cm ³)	Szórás	Minimum (g/cm ³)	Maximum (g/cm ³)
Sűrűség 15 °C	0,7091	0,0075	0,6943	0,7170
Sűrűség 20 °C	0,7064	0,0078	0,6907	0,7153
Sűrűség 25 °C	0,7026	0,0081	0,6863	0,7110
Sűrűség 30 °C	0,6987	0,0083	0,6823	0,7077
Sűrűség 35 °C	0,6945	0,0093	0,6753	0,7037
Sűrűség 40 °C	0,6907	0,0092	0,6723	0,7010
n-Paraffin (tömeg%)	33,84	1,73	30,19	36,66
i-Paraffin (tömeg%)	34,70	1,20	32,78	36,70
Naftén (tömeg%)	24,16	1,68	20,67	25,90
Aromás (tömeg%)	7,30	0,55	6,55	8,50

Ezen statisztikai értékeket a hőmérséklet függvényében ábrázoltam (15. ábra) és arra a következtetésre jutottam, hogy ezen adatok nagyon jól illeszkednek egy negatív meredekségű egyenesre, melynek determinációs koefficiense (mely a korrelációs együttható négyzete) 0,9965.



15. ábra A vegyipari benzin sűrűségének alakulása a hőmérséklet függvényében, a várható értékek alapján

Az egyenesnek az ábráról leolvasható meredeksége ($m = -0,0005$), ill. függőleges tengellyel való metszéspontja ($\rho = 0,7135$) alapján meghatározható volt az egyenes egyenlete is:

$$\rho(T) = -5,0 * 10^{-4}T + 7,135 * 10^{-1} \quad (4)$$

ahol:

- $\rho(T)$: az adott hőmérsékleten mért sűrűség (g/cm³)
- T hőmérséklet (°C)

A (4) grafikus úton meghatározott összefüggéssel, 5. táblázatban feltüntetett átlagos összetétel-intervallumok esetén, a 15-40°C közötti hőmérséklet-tartományban bármilyen hőmérsékleten kiszámítható a vegyipari benzin elméleti sűrűsége.

Így meghatároztam a vegyipari benzin adott hőmérsékletre vonatkozó elméleti sűrűségeit, valamint ezen értékeket összevetettem az átlagértékekkel (7. táblázat), ill. a mért sűrűség adatokkal is (2. táblázat). Az elméleti értékek rendkívül jó egyezést mutattak mind a számtani középértékekkel (minimum 99,56%-os egyezés), illetve a mért adathalmazzal is (maximum 3%-os eltérés).

Az (4) összefüggés alapján a vegyipari benzin adott hőmérsékleten érvényes sűrűsége átszámolható egy másik hőmérsékletre (5, 6):

$$m = \frac{\rho(T_1) - \rho(T_2)}{T_1 - T_2} = -0,0005 \quad (5)$$

ahol:

- m a hőmérsékletfüggést jellemző egyenes meredeksége (-)
- $\rho(T_1)$ és $\rho(T_2)$: T_1 , ill. T_2 hőmérsékleten mért sűrűség (g/cm³)
- T_1 és T_2 hőmérséklet (°C)

Az (5) egyenletből kifejtve a T_1 hőmérsékleten érvényes sűrűség:

$$\rho(T_1) = -0,0005 (T_1 - T_2) + \rho(T_2) \quad (6)$$

Az egyenletet több mérési adatra is ellenőriztem és megállapítottam, hogy ezen összefüggés egyértelműen alkalmazható a rutin mérések alapján történő, eltérő hőmérsékletekre való átszámításhoz [25]. Ugyanakkor az így meghatározott sűrűség nem veszi figyelembe a csoport-összetétel sűrűsége gyakorolt hatását [25].

3.5.2. Empirikus összefüggés meghatározása a vegyipari benzin sűrűségének hőmérsékletfüggésére, figyelembe véve a csoport-összetétel hatását

A vegyipari benzin minták csoport-összetételének meghatározása során (14. ábra) egyértelműen kiderült, hogy a vegyipari benzin összetétele nem állandó, a vegyületcsoportok aránya az 5. táblázatban feltüntetett minimum és maximum értékek közötti intervallumban vehet fel értékeket [25].

Az egyes változók különböző irányban és mértékben változtatják a sűrűség értékét. Ennek meghatározására a már fentebb említett Analysis ToolPak-ot használtam, mellyel korrelációelemzést végeztem. Ennek segítségével megállapítható, hogy két mérési változó egymáshoz képest hasonlóképpen (pozitív korreláció) vagy ellentétes irányban (negatív korreláció) változik-e. A korrelációs táblázatban szereplő együtthatók értéke +1 és -1 között változhat, a két változó közötti kapcsolat hiányára pedig nulla közeli érték utal [25]. A Pearson féle rangkorrelációs teszt eredményei a 6. táblázatban láthatók.

A 6. táblázat adataiból kiderül, hogy a vegyipari benzin sűrűségét a n-paraffin tartalom nagyobb mértékben csökkenti (negatív előjel), mint az izoparaffin tartalom, a naftén és aromás tartalom pedig növelik (ezek is a különböző mértékben) a sűrűség értékét (pozitív előjel) [25].

A korrelációs együtthatók meghatározása után ezeket a változókat is figyelembe véve módosítottam az előzőekben felírt, csoport-összetételt figyelembe nem vevő (4) egyenletet. Az így kapott sűrűségértékek azonban jelentős eltérést mutattak a valós mérési adatokhoz képest. Ezen nagyfokú különbség azonban nem meglepő, mivel a vegyipari benzin egy rendkívül sokkomponensű elegy, emiatt a különböző típusú vegyületek egymásra is hatással vannak (pl. a paraffin és a naftén típusú vegyületek között is fellép kölcsönhatás). Az előzőekben meghatározott korrelációs együtthatók ezen kölcsönhatásokat nem vették figyelembe, így a változók módosítására volt szükség. Ezt becslés útján állapítottam meg oly módon, hogy a becsléssel módosított korrelációs együtthatók segítségével kiszámolt sűrűségértékek maximum 5%-os hibahatáron belül egyezzenek a mért értékekkel [25]. Az így meghatározott egyenlet, amely a csoport-összetétel változását és annak vegyületei közötti kölcsönhatásokat is figyelembe veszi:

$$\rho(T) = -0,0005T + 0,7135 - 0,36\left(\frac{P}{100}\right) - 0,35\left(\frac{IP}{100}\right) + 0,83\left(\frac{N}{100}\right) + 0,63\left(\frac{A}{100}\right) \quad (7)$$

ahol:

- T hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$],
- $\rho(T)$ a T hőmérsékleten mért sűrűség (g/cm^3),
- P a vegyipari benzin paraffin tartalma (m/m %)
- IP a vegyipari benzin izoparaffin tartalma (m/m %)
- N a vegyipari benzin naftén tartalma (m/m %)
- A a vegyipari benzin aromás tartalma (m/m %)

Az eltérő csoport-összetételeket is figyelembe vevő 7. egyenlet alapján is kiszámoltam a vegyipari benzin minták elméleti sűrűségét, és ezek várható értékekkel való százalékos egyezését is megvizsgáltam (7. táblázat). A (7) összefüggés alapján számolt sűrűség-, illetve a mért sűrűség-értékek között jó közelítést tapasztaltam.

6. táblázat A vegyipari benzint alkotó vegyületsorok korrelációs együtthatói egymással, ill. a különböző hőmérsékletekhez tartozó sűrűség-értékekkel

	Sűrűség 15 °C	Sűrűség 20 °C	Sűrűség 25 °C	Sűrűség 30 °C	Sűrűség 35 °C	Sűrűség 40 °C	n-Paraffin	i-Paraffin	Naftén	Aromás
Sűrűség 15 °C	1									
Sűrűség 20 °C	0,9928	1								
Sűrűség 25 °C	0,9948	0,9937	1							
Sűrűség 30 °C	0,9916	0,9894	0,9951	1						
Sűrűség 35 °C	0,9952	0,9900	0,9960	0,9939	1					
Sűrűség 40 °C	0,9929	0,9928	0,9957	0,9963	0,9947	1				
n-Paraffin	-0,7548	-0,7782	-0,7612	-0,7397	-0,7516	-0,7673	1			
i-Paraffin	-0,4222	-0,3783	-0,4311	-0,4415	-0,4468	-0,3975	-0,1673	1		
Naftén	0,9026	0,8983	0,9098	0,8909	0,9113	0,9027	-0,8386	-0,3453	1	
Aromás	0,5566	0,5474	0,5743	0,5869	0,5740	0,5414	-0,2323	-0,6130	0,3544	1

7. táblázat A vegyipari benzin adott hőmérsékletre vonatkozó, 1. egyenlet alapján számolt elméleti sűrűségének értékei, azoknak a számtani középértéktől való %-os eltérése, ill. a 4. egyenlet alapján számolt elméleti sűrűség értékek a csoport-összetételt is figyelembe véve és azoknak a számtani középértékektől való százalékos eltérései

Hőmérséklet (°C)	A VB hőmérsékletfüggése alapján számolt sűrűség (g/cm ³)	Százalékos eltérés a sűrűség számtani középértékétől (%)	VB számolt sűrűsége figyelembe véve a csoport-összetételre vonatkozó korrekciót is (g/cm ³)	Százalékos eltérés a sűrűség számtani középértékétől (%)
15	0,7060	0,44	0,7093	0,02
20	0,7035	0,41	0,7068	0,05
25	0,7010	0,23	0,7043	0,24
30	0,6985	0,03	0,7018	0,44
35	0,6960	0,22	0,6993	0,69
40	0,6935	0,40	0,6968	0,87

4. ÖSSZEFOGLALÁS

TDK dolgozatomban az egyik legjelentősebb termékhozam-befolyásoló tényező, az alapanyag minőségével foglalkoztam, azok közül is a legnagyobb mennyiségben alkalmazott alapanyag, a vegyipari benzin minősítését tanulmányoztam. Az ipari gyakorlatban a vegyipari benzin pontos mennyiségének elszámolásához a szezonális hőmérséklet-ingadozásnak kitett csővezetéseken az üzemekbe érkező elegy sűrűségét fontos ismernünk, illetve annak alakulását a hőmérséklet függvényében. Ennek érdekében 21 darab, különböző időpontokban vételezett vegyipari benzin minta sűrűségét mértem meg háromféle módszerrel, a mérések többségét 15-40°C-os hőmérséklettartományban. Így meghatároztam a sűrűség ebben a tartományban érvényes hőmérsékletfüggését, arra lineáris összefüggést állapítottam meg.

További vizsgálataim tárgyát képezte a sűrűséget befolyásoló komponens-összetétel elemzése is, melyet gázkromatográfiás módszerrel végeztem el. A kromatogramok kiértékelése után így ismertté vált a vegyipari benzin mintákat alkotó fő vegyületcsoportok aránya is.

Az Analysis ToolPak Excel bővítmény segítségével, a mérési adatsorok alapján, különböző korrekciók használatával empirikus összefüggést tártam fel a vegyületcsoportok mennyisége és a sűrűség alakulása között. Ennek segítségével egy adott hőmérsékleten ismert sűrűség értéke 5%-os hibahatáron belül átszámítható egy másik hőmérsékletre, figyelembe véve a minta PIAN(O) összetételét is.

5. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Varga T., Kerezsi J., Némethné dr. S. J.: *Az olefingyártáshoz szükséges alapanyagok összetételének hatása a monomer kihozatalra. A Miskolci Egyetem közleménye. Anyagmérnöki Tudományok. 37. kötet, 1. füzet (2012) p. 2-4, 5.*
- [2] Hui-feng X., Xiao-jun Z., Man-cang L., Zhi-de H.: *Simultaneous determination of major characteristic parameters of naphtha by capillary gaschromatography. Fuel Processing Technology 87 (2006) p. 303 – 308.*
- [3] Varga T.: *A vegyipari benzin összetételének és sűrűségének hatása a monomer kihozatalra, Miskolci Egyetem, Tudományos Diákköri Dolgozat, 2011.*
- [4] Kolombos A. J., McNeice D., Wood D. C. et al: *Olefins production by steam cracking over manganese catalyst. The British Petroleum Company Limited. (1976)*

- [5] <http://chemengineering.wikispaces.com/Petrochemicals> (2012)
- [6] *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Electronic Release* (2002).
- [7] *Dr. Széchy G.: Bevezetés a kőolajfeldolgozás technológiájába. Jegyzet, Budapest. (2003).*
- [8] Wang, C., Xu, L, Wang, Q.: Review of Directly Producing Light Olefins via CO Hydrogenation, *Journal of Natural Gas Chemistry.* (2003).
- [9] *Dr. Gál T.: Pirolizáló kemence matematikai modellezése és számítógépes szimulációja, PhD dolgozat, Veszprém, 2007.*
- [10] Savage, P. E.: Mechanism and kinetics models for hydrocarbon pyrolysis, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 54. (2000) p. 109-126.
- [11] Belohlav, Z.; Zamostny, P.; Herink, T.: The kinetic model of thermal cracking for olefins production, *Chemical Engineering and Processing* 42. (2003) 461-473.
- [12] Sadrameli, S. M.; Green, A. E. S.: Systematics and modeling representations of naphtha thermal cracking for olefin production, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 73. (2005) 305-313.
- [13] *Dr. Gál T.: Petrolkémiai Technológiák. Miskolci Egyetem, elektronikus jegyzet. (2009).*
- [14] Moldoveanu S. C.: *Techniques and Instrumentation in Analytical Chemistry. Pyrolysis of Organic Molecules with Applications to Health and Environmental Issues.* (2010).
- [15] *Patkós A.: Kémiai kislexikon. Typotex Elektronikus Kiadó Kft.(2007) p. 365-366.*
- [16] ASTM D 6293-98: Standard test method for oxygenates and paraffin, olefin, naphthene, aromatic (O-PONA) hydrocarbon types in low olefin spark ignition engine fuels by gas chromatography, *Annual Book of ASTM Standard* (2005).
- [17] *Hornyánszky G., Poppe L., Hazai L., Nagy J., Tóth T.: Szerves kémiai praktikum. Typotex Kiadó. (2011) p. 85-.*
- [18] *Muránszky G.: Szerves kémiai analízis, Miskolci Egyetem, elektronikus jegyzet (2012).*
- [19] <http://goldbook.iupac.org/R05262.html> (2012)

- [20] Kovács I., Nyulászi L., Fekete Cs., Könczöl L., Terleczy P.: *Általános kémiai laboratóriumi gyakorlatok*. Typotex Kiadó (2012) p.69-72.
- [21] <http://www.petroileum.hu/apifok.html> (2012).
- [22] <http://www.kislexikon.hu/> (2012).
- [23] <http://www.physx.u-szeged.hu/index/index.php> (2012).
- [24] MSZ-09-60.0133:1984 szabvány
- [25] Varga T., Kerezsi J., Némethné S. J., Vigh E.: *A vegyipari benzin sűrűségének hőmérséklet-függése a komponens-összetétel figyelembe vételével. A Miskolci Egyetem közleménye. Anyagmérnöki Tudományok. 38. kötet (2012) (nyomtatás alatt)*
- [26] ASTM D 5134 - Standard Test Method for Detailed Analysis of Petroleum Naphthas through n-Nonane by Capillary Gas Chromatography
- [27] P. W. Atkins: *Fizikai kémia I.*, Nemzeti Tankönyvkiadó, 2002.
- [28] K. Keyvanloo, J. Towfighi, S.M. Sadrameli, A. Mohamadalizadeh: *Investigating the effect of key factors, their interactions and optimization of naphtha steam cracking by statistical design of experiments*, J. Anal. Appl. Pyrolysis 87. (2010) p. 224–230.

6. MELLÉKLETEK

1.sz. melléklet

Az areométerrel végzett sűrűségmérések összesített táblázata

Areo- méter	15 °C				20 °C				25 °C			
	T (°C)	ρ (g/cm ³)	átlag ρ (g/cm ³)	szórás*	T (°C)	ρ (g/cm ³)	átlag ρ (g/cm ³)	szórás*	T (°C)	ρ (g/cm ³)	átlag ρ (g/cm ³)	szórás*
1	14,9	0,705	0,706	0,0006	20,0	0,702	0,702	0,0006	25,1	0,700	0,699	0,0006
	15,0	0,706			19,9	0,702			25,0	0,699		
	15,0	0,706			19,9	0,703			25,0	0,699		
2	15,0	0,700	0,701	0,0012	20,1	0,699	0,698	0,0010	24,8	0,694	0,694	0,0006
	15,4	0,702			20,0	0,698			24,9	0,693		
	15,5	0,702			19,9	0,697			24,9	0,694		
3	15,0	0,716	0,715	0,0012	20,1	0,712	0,713	0,0006	25,2	0,708	0,707	0,0006
	15,2	0,714			19,9	0,713			25,3	0,707		
	15,5	0,714			19,9	0,713			25,2	0,707		
4	15,1	0,712	0,710	0,0020	20,1	0,706	0,706	0,0006	25,1	0,702	0,703	0,0006
	15,3	0,708			20,1	0,706			25,0	0,703		
	15,5	0,710			20,0	0,707			24,9	0,703		
5	15,2	0,710	0,709	0,0012	20,1	0,707	0,707	0,0006	24,9	0,703	0,703	0,0006
	15,4	0,710			20,1	0,708			24,9	0,703		
	15,5	0,708			20,2	0,707			24,9	0,704		
6	15,3	0,700	0,699	0,0006	20,1	0,698	0,698	0,0006	24,9	0,693	0,693	0,0006
	15,3	0,699			20,1	0,698			25,0	0,693		
	15,4	0,699			20,0	0,697			25,0	0,692		
7	14,5	0,713	0,715	0,0026	19,7	0,715	0,714	0,0012	24,5	0,712	0,711	0,0010
	14,9	0,718			19,8	0,713			24,6	0,711		
	15,0	0,714			20,0	0,713			24,8	0,710		
8	14,6	0,711	0,712	0,0012	19,7	0,709	0,708	0,0012	24,5	0,706	0,705	0,0006
	14,6	0,711			19,9	0,707			24,6	0,705		
	14,9	0,713			20,0	0,707			24,7	0,705		
9	14,6	0,712	0,714	0,0015	19,8	0,712	0,711	0,0010	24,6	0,709	0,708	0,0010
	14,8	0,715			19,9	0,710			24,7	0,708		
	15,1	0,714			20,1	0,711			24,7	0,707		
10	14,7	0,715	0,715	0,0006	19,8	0,713	0,712	0,0010	24,6	0,709	0,708	0,0006
	14,9	0,716			19,9	0,711			24,7	0,708		
	15,1	0,715			20,1	0,712			24,7	0,708		
11	15,1	0,711	0,713	0,0015	19,7	0,712	0,711	0,0010	25,3	0,708	0,708	0,0006
	15,3	0,714			19,8	0,710			25,3	0,707		
	15,4	0,713			19,8	0,711			25,3	0,708		
12	15,1	0,714	0,715	0,0012	19,7	0,716	0,714	0,0021	25,3	0,708	0,709	0,0010
	15,4	0,716			19,8	0,712			25,3	0,709		
	15,4	0,714			19,7	0,713			25,4	0,710		
Megj.:	*	korrigált tapasztalati szórás										

1.sz. melléklet

Az areométerrel végzett sűrűségmérések összesített táblázata (folyt.)

Areo- méter	15 °C				20 °C				25 °C			
	T (°C)	ρ (g/cm ³)	átlag ρ (g/cm ³)	szórás *	T (°C)	ρ (g/cm ³)	átlag ρ (g/cm ³)	szórás*	T (°C)	ρ (g/cm ³)	átlag ρ (g/cm ³)	szórás*
13	15,2	0,711	0,712	0,0010	19,6	0,711	0,710	0,0012	25,3	0,706	0,705	0,0006
	15,5	0,713			19,8	0,709			25,4	0,705		
	15,4	0,712			19,7	0,709			25,4	0,705		
14	15,3	0,716	0,717	0,0010	19,6	0,716	0,715	0,0006	25,2	0,710	0,711	0,0010
	15,5	0,718			19,8	0,715			25,3	0,712		
	15,5	0,717			19,9	0,715			25,4	0,711		
15	14,6	0,716	0,717	0,0010	19,9	0,715	0,714	0,0006	24,9	0,711	0,711	0,0006
	15,2	0,717			19,9	0,714			25,3	0,711		
	15,2	0,718			20,2	0,714			25,3	0,710		
16	14,7	0,711	0,713	0,0015	19,9	0,710	0,709	0,0010	25,0	0,706	0,706	0,0006
	15,2	0,713			19,9	0,709			25,2	0,707		
	15,2	0,714			20,2	0,708			25,2	0,706		
17	14,9	0,715	0,716	0,0010	20,0	0,714	0,713	0,0006	25,1	0,710	0,710	0,0006
	15,1	0,716			20,0	0,713			25,2	0,710		
	15,1	0,717			20,2	0,713			25,2	0,711		
18	14,9	0,708	0,708	0,0006	20,1	0,704	0,703	0,0012	25,1	0,700	0,700	0,0006
	15,0	0,707			20,1	0,704			25,1	0,700		
	15,0	0,708			20,1	0,702			25,1	0,699		
19	16,5	0,694	0,695	0,0010	20,5	0,690	0,691	0,0006	24,7	0,688	0,687	0,0006
	16,5	0,695			20,5	0,691			24,7	0,687		
	16,5	0,696			20,5	0,691			24,7	0,687		
20	16,4	0,696	0,696	0,0006	20,5	0,693	0,693	0,0006	24,7	0,689	0,690	0,0006
	16,4	0,697			20,5	0,694			24,7	0,690		
	16,4	0,696			20,5	0,693			24,7	0,690		
21	16,3	0,694	0,694	0,0006	20,5	0,692	0,692	0,0006	24,6	0,686	0,686	0,0006
	16,3	0,695			20,5	0,692			24,6	0,687		
	16,3	0,694			20,5	0,693			24,6	0,686		
Megj.:		*	korrigált tapasztalati szórás									

1.sz. melléklet

Az areométerrel végzett sűrűségmérések összesített táblázata (folyt.)

Areo- méter	30 °C				35 °C				40 °C			
	T (°C)	ρ (g/cm ³)	átlag ρ (g/cm ³)	szórás *	T (°C)	ρ (g/cm ³)	átlag ρ (g/cm ³)	szórás*	T (°C)	ρ (g/cm ³)	átlag ρ (g/cm ³)	szórás*
1	30,0	0,694	0,694	0,0006	34,8	0,692	0,692	0,0006	39,8	0,686	0,686	0,0006
	30,1	0,693			35,1	0,691				0,687		
	30,0	0,694			34,8	0,692				0,686		
2	30,0	0,689	0,690	0,0006	35,0	0,686	0,685	0,0006	40,0	0,682	0,682	0,0006
	30,0	0,690			34,9	0,685				0,681		
	30,0	0,690			34,8	0,685				0,682		
3	30,1	0,703	0,703	0,0006	34,7	0,700	0,701	0,0010	40,0	0,697	0,696	0,0006
	30,0	0,704			34,8	0,701				0,696		
	30,0	0,703			35,3	0,702				0,696		
4	30,0	0,697	0,697	0,0006	35,0	0,694	0,694	0,0006	40,0	0,688	0,689	0,0010
	30,0	0,698			34,8	0,693				0,689		
	30,0	0,697			34,8	0,694				0,690		
5	30,0	0,700	0,700	0,0006	34,9	0,696	0,695	0,0010	39,8	0,693	0,693	0,0006
	30,0	0,699			35,0	0,694				0,693		
	30,0	0,700			35,0	0,695				0,692		
6	30,0	0,689	0,688	0,0006	35,2	0,684	0,683	0,0006	40,0	0,680	0,679	0,0006
	29,8	0,688			35,3	0,683				0,679		
	29,8	0,688			35,3	0,683				0,679		
7	29,6	0,707	0,707	0,0006	34,5	0,703	0,703	0,0006	39,8	0,699	0,699	0,0006
	29,8	0,706			35,0	0,703			39,9	0,698		
	29,9	0,707			34,6	0,704			39,9	0,699		
8	29,7	0,702	0,703	0,0006	34,8	0,698	0,698	0,0006	39,6	0,694	0,693	0,0006
	29,9	0,703			34,6	0,699			39,7	0,693		
	29,9	0,703			34,7	0,698			39,8	0,693		
9	30,0	0,705	0,705	0,0006	35,2	0,701	0,701	0,0006	39,8	0,697	0,697	0,0006
	29,9	0,706			35,1	0,702			39,8	0,697		
	29,9	0,705			35,0	0,701			39,8	0,698		
10	29,6	0,706	0,706	0,0006	35,0	0,702	0,702	0,0006	39,9	0,698	0,697	0,0006
	29,9	0,705			34,8	0,702			39,9	0,697		
	29,6	0,706			35,1	0,701			39,9	0,697		
11	30,4	0,704	0,704	0,0006	35,0	0,699	0,700	0,0006	39,8	0,696	0,696	0,0006
	30,4	0,703			35,0	0,700			39,8	0,697		
	30,4	0,704			35,1	0,700			39,8	0,696		
12	30,4	0,705	0,704	0,0006	35,0	0,700	0,701	0,0006	39,8	0,698	0,698	0,0006
	30,5	0,704			35,1	0,701			39,8	0,698		
	30,4	0,704			35,1	0,701			39,8	0,697		
Megj.:		*	korrigált tapasztalati szórás									

1.sz. melléklet

Az areométerrel végzett sűrűségmérések összesített táblázata (folyt.)

Areo- méter	30 °C				35 °C				40 °C			
	T (°C)	ρ (g/cm ³)	átlag ρ (g/cm ³)	szórás *	T (°C)	ρ (g/cm ³)	átlag ρ (g/cm ³)	szórás*	T (°C)	ρ (g/cm ³)	átlag ρ (g/cm ³)	szórás*
13	30,4	0,703	0,702	0,0006	35,0	0,698	0,698	0,0006	39,8	0,695	0,695	0,0006
	30,4	0,702			35,0	0,699			39,8	0,696		
	30,5	0,702			35,1	0,698			39,8	0,695		
14	30,5	0,707	0,707	0,0006	35,0	0,702	0,703	0,0012	39,8	0,700	0,700	0,0006
	30,5	0,706			35,0	0,704			39,8	0,701		
	30,4	0,707			35,0	0,704			39,8	0,700		
15	30,0	0,708	0,708	0,0015	34,8	0,704	0,704	0,0006	40,1	0,702	0,701	0,0010
	30,0	0,709			34,9	0,703			40,1	0,700		
	30,2	0,706			34,9	0,704			40,1	0,701		
16	30,0	0,703	0,703	0,0010	34,8	0,699	0,698	0,0006	40,1	0,696	0,695	0,0006
	30,0	0,704			34,9	0,698			40,1	0,695		
	30,1	0,702			34,9	0,698			40,1	0,695		
17	30,1	0,706	0,706	0,0006	34,8	0,702	0,703	0,0006	40,1	0,698	0,698	0,0006
	30,1	0,707			34,9	0,703			40,1	0,699		
	30,1	0,706			34,9	0,703			40,1	0,698		
18	30,1	0,696	0,696	0,0006	34,8	0,692	0,693	0,0006	40,1	0,687	0,687	0,0006
	30,1	0,696			34,8	0,693			40,1	0,687		
	30,1	0,695			34,8	0,693			40,1	0,688		
19	30,0	0,682	0,682	0,0006	34,7	0,676	0,676	0,0006	40,4	0,674	0,673	0,0010
	30,0	0,683			34,7	0,677			40,4	0,672		
	30,0	0,682			34,7	0,676			40,4	0,673		
20	30,0	0,685	0,686	0,0006	34,5	0,678	0,679	0,0006	40,4	0,676	0,676	0,0006
	30,0	0,686			34,5	0,679			40,4	0,677		
	30,0	0,686			34,5	0,679			40,4	0,676		
21	30,0	0,683	0,683	0,0010	34,9	0,676	0,675	0,0006	40,4	0,672	0,672	0,0006
	30,0	0,682			34,9	0,675			40,4	0,673		
	30,0	0,684			34,9	0,675			40,4	0,672		
Megj.:		*	korrigált tapasztalati szórás									

2. sz. melléklet

A Mohr-Westphal mérleggel végzett mérések összefoglaló táblázata

M-W	15 °C			20 °C			25 °C			30 °C			35 °C			40 °C		
	T (°C)	ρ_{rel} (g/cm ³) *	ρ_{absz} (g/cm ³) **	T (°C)	ρ_{rel} (g/cm ³) *	ρ_{absz} (g/cm ³) **	T (°C)	ρ_{rel} (g/cm ³) *	ρ_{absz} (g/cm ³) **	T (°C)	ρ_{rel} (g/cm ³) *	ρ_{absz} (g/cm ³) **	T (°C)	ρ_{rel} (g/cm ³) *	ρ_{absz} (g/cm ³) **	T (°C)	ρ_{rel} (g/cm ³) *	ρ_{absz} (g/cm ³) **
1	14,6	0,705	0,703	19,4	0,689	0,687	25,2	0,672	0,670	30,5	0,660	0,658	34,8	0,654	0,652	40,4	0,632	0,630
2	15,4	0,702	0,700	19,6	0,701	0,699	24,6	0,694	0,692	29,5	0,680	0,678	34,5	0,665	0,663	39,6	0,650	0,648
3	15,2	0,714	0,712	19,8	0,712	0,710	24,2	0,709	0,707	30,4	0,698	0,696	35,4	0,687	0,685	39,9	0,673	0,671
4	14,5	0,690	0,688	20,0	0,680	0,678	25,0	0,670	0,668	29,6	0,668	0,666	34,6	0,658	0,656	39,6	0,641	0,639
5	15,8	0,710	0,708	20,4	0,701	0,699	25,2	0,692	0,690	29,6	0,674	0,672	35,5	0,666	0,664	40,2	0,660	0,658
6	16,4	0,684	0,682	20,5	0,669	0,667	24,6	0,663	0,661	30,0	0,650	0,648	35,2	0,605	0,603	39,6	0,572	0,570
7	14,9	0,727	0,725	20,4	0,723	0,721	24,9	0,718	0,716	29,7	0,715	0,713	34,9	0,712	0,710	40,0	0,709	0,707
8	15,2	0,725	0,723	20,4	0,719	0,717	24,9	0,715	0,713	29,7	0,713	0,711	34,9	0,710	0,708	40,0	0,707	0,705
9	15,4	0,720	0,718	20,5	0,717	0,715	24,9	0,713	0,711	29,7	0,710	0,708	34,9	0,707	0,705	40,0	0,703	0,701
10	15,7	0,719	0,717	20,4	0,716	0,714	24,9	0,712	0,710	29,7	0,709	0,707	34,9	0,706	0,704	39,9	0,703	0,701
11	15,4	0,718	0,716	20,1	0,715	0,713	24,8	0,709	0,707	29,7	0,707	0,705	34,9	0,704	0,702	39,9	0,702	0,700
Megj.:	* a mért, szobahőmérsékletű vízre vonatkoztatott relatív sűrűség **Az abszolút sűrűség egyenlő a relatív sűrűség és a szobahőmérsékletű (25°C) víz sűrűségének (0,997043) szorzatával.																	

2. sz. melléklet

A Mohr-Westphal mérleggel végzett mérések összefoglaló táblázata (folyt.)

M-W	15 °C			20 °C			25 °C			30 °C			35 °C			40 °C		
	T (°C)	ρ_{rel} (g/cm ³) *	ρ_{absz} (g/cm ³) **	T (°C)	ρ_{rel} (g/cm ³) *	ρ_{absz} (g/cm ³) **	T (°C)	ρ_{rel} (g/cm ³) *	ρ_{absz} (g/cm ³) **	T (°C)	ρ_{rel} (g/cm ³) *	ρ_{absz} (g/cm ³) **	T (°C)	ρ_{rel} (g/cm ³) *	ρ_{absz} (g/cm ³) **	T (°C)	ρ_{rel} (g/cm ³) *	ρ_{absz} (g/cm ³) **
13	15,0	0,713	0,711	20,4	0,710	0,708	25,2	0,706	0,704	29,6	0,704	0,702	34,8	0,702	0,700	40,0	0,699	0,697
14	15,0	0,721	0,719	20,3	0,718	0,716	25,2	0,714	0,712	29,6	0,711	0,709	34,8	0,709	0,707	40,0	0,707	0,705
15	15,3	0,717	0,715	20,2	0,714	0,712	25,2	0,710	0,708	29,7	0,708	0,706	34,8	0,706	0,704	40,0	0,703	0,701
16	15,5	0,713	0,711	20,0	0,710	0,708	25,2	0,708	0,706	29,8	0,706	0,704	34,8	0,705	0,703	39,6	0,703	0,701
17	14,6	0,719	0,717	20,2	0,716	0,714	24,6	0,713	0,711	29,5	0,711	0,709	35,1	0,709	0,707	39,5	0,707	0,705
18	14,9	0,707	0,705	20,1	0,704	0,702	24,6	0,701	0,699	29,5	0,700	0,698	34,9	0,697	0,695	39,5	0,695	0,693
19	15,4	0,695	0,693	20,0	0,693	0,691	24,6	0,689	0,687	29,5	0,687	0,685	35,0	0,685	0,683	39,5	0,683	0,681
20	14,8	0,697	0,695	19,9	0,695	0,693	24,6	0,692	0,690	29,5	0,689	0,687	35,0	0,686	0,684	39,5	0,684	0,682
21	15,3	0,696	0,694	19,7	0,694	0,692	24,7	0,691	0,689	29,5	0,689	0,687	35,0	0,687	0,685	39,5	0,685	0,683
Megj.:	* a mért, szobahőmérsékletű vízre vonatkoztatott relatív sűrűség **Az abszolút sűrűség egyenlő a relatív sűrűség és a szobahőmérsékletű (25°C) víz sűrűségének (0,997043) szorzatával.																	

3. sz. melléklet

A piknométerrel végzett mérések összefoglaló táblázata

Sorsz.	Párhuzamos mérések	T (°C)	me	me+benzin	me+víz	ρvíz,adott T-n (g/cm3) *	ρvíz,átlag (g/cm3)	ρbenzin (g/cm3)	ρátlag (g/cm3)	korrigált tapasztalati szórás
1	a	28,5	47,5724	82,4872	97,7122	0,9961	0,9960	0,6936	0,6939	0,0004
	b	28,5	43,2958	79,1232	94,7340	0,9961		0,6938		
	c	29,0	47,0712	82,6954	98,1776	0,9959		0,6943		
2	a	27,5	47,5720	82,4630	97,7568	0,9964	0,9965	0,6928	0,6936	0,0010
	b	27,5	43,2944	79,1122	94,7900	0,9964		0,6931		
	c	26,0	47,0700	82,7300	98,2178	0,9968		0,6948		
3	a	27,5	47,5720	83,0236	97,7568	0,9964	0,9963	0,7038	0,7042	0,0013
	b	28,0	43,2944	79,6356	94,7900	0,9962		0,7031		
	c	27,5	47,0700	83,2958	98,2178	0,9964		0,7057		
4	a	27,0	47,5720	82,7842	97,7568	0,9965	0,9965	0,6992	0,6993	0,0002
	b	27,0	43,2944	79,4414	94,7900	0,9965		0,6995		
	c	27,0	47,0700	82,9538	98,2178	0,9965		0,6991		
5	a	25,5	47,5720	83,2650	97,7568	0,9969	0,9969	0,7090	0,7090	0,0001
	b	26,0	43,2944	79,9156	94,7900	0,9968		0,7089		
	c	25,5	47,0700	83,4510	98,2178	0,9969		0,7091		
6	a	25,0	47,5720	82,4184	97,7568	0,9970	0,9971	0,6923	0,6928	0,0004
	b	25,0	43,2944	79,0948	94,7900	0,9970		0,6932		
	c	24,5	47,0700	82,6110	98,2178	0,9972		0,6928		
7	a	25,5	47,5720	83,6376	97,7568	0,9969	0,9969	0,7164	0,7166	0,0002
	b	25,5	43,2944	80,3164	94,7900	0,9969		0,7167		
	c	25,5	47,0700	83,8425	98,2178	0,9969		0,7167		
8	a	25,5	47,5720	83,5972	97,7568	0,9969	0,9969	0,7156	0,7156	0,0000
	b	25,5	43,2944	80,2614	94,7900	0,9969		0,7156		
	c	25,5	47,0700	83,7860	98,2178	0,9969		0,7156		
9	a	NEM VOLT ELÉG A RENDELKEZÉSRE ÁLLÓ MINTAMENNYISÉG								
	b									
	c									
10	a									
	b									
	c									
11	a	26,0	47,5725	83,2436	97,7568	0,9968	0,9968	0,7086	0,7085	0,0001
	b	26,0	43,2954	79,9020	94,7900	0,9968		0,7086		
	c	25,5	47,0707	83,4216	98,2178	0,9969		0,7085		
Megj.:		A feltüntetett tömegek és sűrűségek az adott hőmérsékleten érvényes adatok. * Az adott hőmérsékleten érvényes sűrűségértékek egy hitelesített, digitális sűrűségmérővel végzett mérési adatsorból származnak.								

3. sz. melléklet

A piknométerrel végzett mérések összefoglaló táblázata (folyt.)

Sorsz.	Párhuzamos mérések	T (°C)	me	me+benzin	me+víz	pvíz,adott T-n (g/cm3) *	pvíz,átlag (g/cm3)	pbenzin (g/cm3)	pátlag (g/cm3)	korrigált tapasztalati szórás
12	a	23,0	47,5720	83,2694	97,7568	0,9975	0,9975	0,7095	0,7094	0,0001
	b	23,5	43,2944	79,9142	94,7900	0,9974		0,7093		
	c	23,0	47,0700	83,4446	98,2178	0,9975		0,7094		
13	a	24,0	47,5720	83,0800	97,7568	0,9973	0,9973	0,7056	0,7056	0,0001
	b	24,0	43,2944	79,7296	94,7900	0,9973		0,7056		
	c	24,5	47,0700	83,2644	98,2178	0,9972		0,7057		
14	a	24,5	47,5720	83,5472	97,7568	0,9972	0,9972	0,7149	0,7150	0,0001
	b	24,5	43,2944	80,2158	94,7900	0,9972		0,7150		
	c	24,0	47,0700	83,7498	98,2178	0,9973		0,7151		
15	a	24,5	47,5720	83,3450	97,7568	0,9972	0,9972	0,7109	0,7107	0,0001
	b	24,5	43,2944	79,9874	94,7900	0,9972		0,7106		
	c	24,0	47,0700	83,5204	98,2178	0,9973		0,7107		
16	a	20,5	43,2986	79,9186	94,8456	0,9981	0,9980	0,7090	0,7088	0,0002
	b	22,0	47,0740	83,4280	98,2792	0,9978		0,7086		
	c	20,0	45,5413	81,6186	96,3448	0,9982		0,7087		
17	a	21,0	50,5134	87,5340	101,9990	0,9980	0,9980	0,7176	0,7176	0,000000
	b	NEM VOLT ELÉG A RENDELKEZÉSRE ÁLLÓ MINTAMENNYISÉG								
	c									
18	a	21,5	43,2986	79,5648	94,8456	0,9979	0,9980	0,7021	0,7022	0,000075
	b	21,0	47,0740	83,1038	98,2792	0,9980		0,7022		
	c	21,0	45,5413	81,2920	96,3448	0,9980		0,7023		
19	a	20,5	50,5134	86,2102	101,9990	0,9981	0,9981	0,6920	0,6904	0,001442
	b	20,5	49,4617	84,7948	100,5806	0,9981		0,6899		
	c	20,5	44,7388	80,3120	96,2506	0,9981		0,6893		
20	a	22,0	43,2990	79,0400	94,8248	0,9978	0,9979	0,6922	0,6924	0,000164
	b	21,0	47,0740	82,6018	98,2792	0,9980		0,6924		
	c	21,0	45,5413	80,7980	96,3448	0,9980		0,6925		
21	a	21,0	50,5134	86,2012	101,9990	0,9980	0,9981	0,6918	0,6903	0,001307
	b	20,5	49,4617	84,7920	100,5806	0,9981		0,6898		
	c	20,5	44,7388	80,3184	96,2506	0,9981		0,6894		
Megj.:		A feltüntetett tömegek és sűrűségek az adott hőmérsékleten érvényes adatok. * Az adott hőmérsékleten érvényes sűrűségértékek egy hitelesített, digitális sűrűségmérővel végzett mérési adatsorból származnak.								

4. sz. melléklet

A gázkromatográfiás mérések összefoglaló táblázata

Mindegyik minta esetében a PC által mutatott PIAN(O) tartalomból: I - (0,6*cPent); N +(0,6*cPent)									
GC elemzés	Paraffin (%)	PC által számított Izoparaffin (%)	PC által számított Naftén (%)	c-Pentán+ 2,3DM	c-Pentán-tartalom (%)	Izoparaffin (%)	Naftén (%)	Aromás (%)	Szumma (%)
1	32,7	35,9	24,6	2,1	1,2	34,7	25,9	6,8	100,0
2	35,9	36,4	21,1	2,1	1,3	35,2	22,4	6,6	100,0
3	33,6	34,9	23,8	1,7	1,0	33,9	24,8	7,7	100,0
4	34,2	35,5	22,9	1,9	1,1	34,4	24,1	7,4	100,0
5	33,9	36,6	22,0	1,9	1,1	35,5	23,1	7,5	100,0
6	35,8	36,4	21,2	2,1	1,3	35,2	22,5	6,6	100,0
7	33,3	33,6	24,6	1,4	0,8	32,8	25,5	8,5	100,0
8	34,3	34,2	23,1	1,7	1,0	33,1	24,2	8,4	100,0
9	33,0	35,4	24,0	1,8	1,1	34,3	25,1	7,7	100,0
10	33,0	34,9	24,1	1,7	1,0	33,9	25,2	7,9	100,0
11	33,7	35,2	23,4	1,9	1,1	34,1	24,5	7,7	100,0
12	30,2	37,4	25,0	1,5	0,9	36,5	25,9	7,4	100,0
13	30,9	37,7	24,6	1,6	0,9	36,7	25,5	6,9	100,0
14	31,1	37,5	24,5	1,6	1,0	36,6	25,4	6,9	100,0
15	33,6	34,2	24,8	1,5	0,9	33,3	25,7	7,3	100,0
16	34,4	34,5	24,4	1,6	0,9	33,5	25,3	6,8	100,0
17	33,5	34,1	25,0	1,5	0,9	33,2	25,9	7,4	100,0
18	35,3	35,7	21,7	2,1	1,3	34,4	22,9	7,3	100,0
19	36,3	37,1	19,6	2,4	1,4	35,7	21,0	7,0	100,0
20	35,5	37,5	20,3	2,5	1,5	36,0	21,8	6,7	100,0
21	36,7	37,1	19,3	2,3	1,4	35,7	20,7	7,0	100,0

5. sz. melléklet

A különböző sűrűségmérések eredményei, időrendben feltüntetve

Mintaszám	Mérés típusa	Hőmérséklet (°C)					
		15	20	25	30	35	40
1	M-W	0,703	0,687	0,670	0,658	0,652	0,630
	A	0,706	0,702	0,699	0,694	0,692	0,686
	P				0,6939		
2	M-W	0,700	0,699	0,692	0,678	0,663	0,648
	A	0,701	0,698	0,694	0,690	0,685	0,682
	P			0,6936			
3	M-W	0,712	0,710	0,707	0,696	0,685	0,671
	A	0,715	0,713	0,707	0,703	0,701	0,696
	P				0,7042		
4	M-W	0,688	0,678	0,668	0,666	0,656	0,639
	A	0,710	0,706	0,703	0,697	0,694	0,689
	P			0,6993			
5	M-W	0,708	0,699	0,690	0,672	0,664	0,658
	A	0,709	0,707	0,703	0,700	0,695	0,693
	P			0,709			
6	M-W	0,682	0,667	0,661	0,648	0,603	0,570
	A	0,699	0,698	0,693	0,688	0,683	0,679
	P			0,6928			
7	A	0,715	0,714	0,711	0,707	0,703	0,699
	M-W	0,725	0,721	0,716	0,713	0,710	0,707
	P			0,7166			
8	A	0,712	0,708	0,705	0,703	0,698	0,693
	M-W	0,723	0,717	0,713	0,711	0,708	0,705
	P			0,7156			
9	A	0,714	0,711	0,708	0,705	0,701	0,697
	M-W	0,718	0,715	0,711	0,708	0,705	0,701
	P						
10	A	0,715	0,712	0,708	0,706	0,702	0,697
	M-W	0,717	0,714	0,710	0,707	0,704	0,701
	P						
11	P			0,7085			
	A	0,713	0,711	0,708	0,704	0,700	0,696
	M-W	0,716	0,713	0,707	0,705	0,702	0,700

5. sz. melléklet

A különböző sűrűségmérések eredményei, időrendben feltüntetve (folyt.)

		Hőmérséklet (°C)					
Mintasza	Mérés típusa	15	20	25	30	35	40
12	A	0,715	0,714	0,709	0,704	0,701	0,698
	M-W	0,716	0,713	0,710	0,707	0,705	0,703
	P			0,7094			
13	A	0,712	0,710	0,705	0,702	0,698	0,695
	M-W	0,711	0,708	0,704	0,702	0,700	0,697
	P			0,7056			
14	A	0,717	0,715	0,711	0,707	0,703	0,700
	M-W	0,719	0,716	0,712	0,709	0,707	0,705
	P			0,715			
15	A	0,717	0,714	0,711	0,708	0,704	0,701
	M-W	0,715	0,712	0,708	0,706	0,704	0,701
	P			0,7107			
16	A	0,713	0,709	0,706	0,703	0,698	0,695
	M-W	0,711	0,708	0,706	0,704	0,703	0,701
	P		0,7088				
17	A	0,716	0,713	0,710	0,706	0,703	0,698
	M-W	0,717	0,714	0,711	0,709	0,707	0,705
	P		0,7176				
18	A	0,708	0,703	0,700	0,696	0,693	0,687
	M-W	0,705	0,702	0,699	0,698	0,695	0,693
	P		0,7022				
19	A	0,695	0,691	0,687	0,682	0,676	0,673
	M-W	0,693	0,691	0,687	0,685	0,683	0,681
	P		0,6904				
20	A	0,696	0,693	0,690	0,686	0,679	0,676
	M-W	0,695	0,693	0,690	0,687	0,684	0,682
	P		0,6924				
21	A	0,694	0,692	0,686	0,683	0,675	0,672
	M-W	0,694	0,692	0,689	0,687	0,685	0,683
	P		0,6903				

6. sz. melléklet

Az összefüggések megállapításához használt areométeres és gázkromatográfiás mérési eredmények

Mintaszám	Sűrűség 15 °C	Sűrűség 20 °C	Sűrűség 25 °C	Sűrűség 30 °C	Sűrűség 35 °C	Sűrűség 40 °C	n-paraffin	i-paraffin	naftén	aromás	Σ (%)
	(g/cm ³)						(m/m%)				
1	0,706	0,702	0,699	0,694	0,692	0,686	32,7	34,7	25,9	6,8	100,0
2	0,701	0,698	0,694	0,690	0,685	0,682	35,9	35,2	22,4	6,6	100,0
3	0,715	0,713	0,707	0,703	0,701	0,696	33,6	33,9	24,8	7,7	100,0
4	0,710	0,706	0,703	0,697	0,694	0,689	34,2	34,4	24,1	7,4	100,0
5	0,709	0,707	0,703	0,700	0,695	0,693	33,9	35,5	23,1	7,5	100,0
6	0,699	0,698	0,693	0,688	0,683	0,679	35,8	35,2	22,5	6,6	100,0
7	0,715	0,714	0,711	0,707	0,703	0,699	33,3	32,8	25,5	8,5	100,0
8	0,712	0,708	0,705	0,703	0,698	0,693	34,3	33,1	24,2	8,4	100,0
9	0,714	0,711	0,708	0,705	0,701	0,697	33,0	34,3	25,1	7,7	100,0
10	0,715	0,712	0,708	0,706	0,702	0,697	33,0	33,9	25,2	7,9	100,0
11	0,713	0,711	0,708	0,704	0,700	0,696	33,7	34,1	24,5	7,7	100,0
12	0,715	0,714	0,709	0,704	0,701	0,698	30,2	36,5	25,9	7,4	100,0
13	0,712	0,710	0,705	0,702	0,698	0,695	30,9	36,7	25,5	6,9	100,0
14	0,717	0,715	0,711	0,707	0,703	0,700	31,1	36,6	25,4	6,9	100,0
15	0,717	0,714	0,711	0,708	0,704	0,701	33,6	33,3	25,7	7,3	100,0
16	0,713	0,709	0,706	0,703	0,698	0,695	34,4	33,5	25,3	6,8	100,0
17	0,716	0,713	0,710	0,706	0,703	0,698	33,5	33,2	25,9	7,4	100,0
18	0,708	0,703	0,700	0,696	0,693	0,687	35,3	34,4	22,9	7,3	100,0
19	0,695	0,691	0,687	0,682	0,676	0,673	36,3	35,7	21,0	7,0	100,0
20	0,696	0,693	0,690	0,686	0,679	0,676	35,5	36,0	21,8	6,7	100,0
21	0,694	0,692	0,686	0,683	0,675	0,672	36,7	35,7	20,7	7,0	100,0

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozom a mérések elvégezhetőségért, ill. folyamatos támogatásukért két konzulensemnek, Némethné Dr. Sóvágó Judit egyetemi docensnek, ill. Kerecsi János TVK Tartálpark üzem főművezetőjének. Továbbá külön köszönet a mérések kivitelezhetőségéért a TVK Olefin Minőségellenőrző laboratórium vezetőjének, Vigh Ervinnek és Faragóné Kasza Edina laboránsnak is.

TDK dolgozatom a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0008 "A Miskolci Egyetemen működő tudományos képzési műhelyek összehangolt minőségi fejlesztése"nevű pályázat keretein belül készült.