

MISKOLCI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR



**GÁZTERMELÉSHEZ KAPCSOLÓDÓ, HIDRÁT
MENTESÍTÉSRE SZOLGÁLÓ DIGITÁLIS IRÁNYÍTÁSI
MEGOLDÁSOK**

PhD értekezés tézisei

KÉSZÍTETTE
BÖLKÉNY ILDIKÓ
okleveles gépészmérnök

**HATVANY JÓZSEF INFORMATIKAI TUDOMÁNYOK
DOKTORI ISKOLA**

DOKTORI ISKOLA VEZETŐJE
Prof. Dr. Szigeti Jenő
a matematika tudományok doktora (CSc)

TUDOMÁNYOS VEZETŐ
Dr. Czap László
doktori (PhD)

Miskolc, 2019

A BÍRÁLÓBIZOTTSÁG TAGJAI

ELNÖK

Prof. Dr. Szigeti Jenő, DSc - *egyetemi tanár*

Miskolci Egyetem, Matematika Intézet

TITKÁR ÉS TAG

Dr. Pintér Judit Mária, PhD - *egyetemi adjunktus*

Miskolci Egyetem, Automatizálási és Infokommunikációs Intézet

TAGOK

Dr. Chován Tibor, PhD - *egyetemi docens*

Pannon Egyetem, Vegyészmérnöki és Folyamatmérnöki Intézet

Dr. Csáki Tibor, CSc - *c. egyetemi tanár*

Miskolci Egyetem, Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet

Dr. Korondi Péter, DSc – *egyetemi tanár*

Budapesti Műszaki Egyetem, Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék

OPPONENSEK

Dr. habil. Orosz Gábor Tamás, PhD - *int. ig., egyetemi docens*

Óbudai Egyetem, Alba Regia Műszaki Kar, Természettudományi és Szoftvertchnológiai Intézet

Kovácsné Dr. Féderer Gabriella, PhD - *egyetemi docens*

Miskolci Egyetem, Kőolaj és Földgáz Intézet

TARTALOMJEGYZÉK

1.	Bevezetés	2
1.1.	A gázhidrát	3
1.2.	A hidrát mentesítése	4
1.3.	A kutatás célja.....	5
2.	Irodalmi áttekintés	5
3.	Új Tudományos eredmények	7
3.1.	A hidratosodási nyomás meghatározása	8
3.2.	A hidrát-képződés detektálása	10
3.3.	A terepi hidrát jelenlét észlelése.....	13
4.	Summary	15
5.	Saját publikációk.....	17
6.	Irodalomjegyzék	19

1. BEVEZETÉS

Disszertációmban a földgáz kutakhoz tartozó csővezetékekben képződő hidrát keletkezésének előrejelzésén alapuló, modellezést használó, hatékony digitális irányítási megoldásokkal foglalkozom.

Földgáznak nevezzük azon gázelegyeket, amelyek nagyobb arányban egyszerű paraffinokból állnak – metántól egészen a pentánig –, továbbá meglehetősen közkedvelt energiahordozó annak kiváló tüzeléstechnikai tulajdonságai miatt. Magyarország éves gáztermelése 3 Gm^3 -re tehető, azonban éves földgázigénye elérheti a 15 Gm^3 mennyiséget is, vagyis az igények kielégítése végett komoly mennyiségű földgázt importálunk Oroszországból, amit felhasználásig kitermelt földgáz-mezőkben tárolnak. A földgáz szállítását csővezetékek segítségével valósítják meg, a földgázkutaktól a feldolgozóüzemekbe, illetve onnan a fogyasztókhoz [1].

A gázhidrát olyan szilárd halmazállapotú anyag, amely jellegét tekintve szemcsés, és leginkább jégre vagy hóra emlékeztet. A gázhidrát definíciójára Dr. Szilas A. Pál könyvében az alábbi sorokat találjuk:

„A gázhidrátok két- vagy több komponensű olyan kristályos anyagok, amelyekben az egyik komponens molekulái — ez feltétlenül a víz — relatíve nagy üregeket tartalmazó vázszerkezetet képeznek, és ezeket az üregeket foglalják el a többi komponens — egyedi gázok vagy gázelegyek — molekulái.” [2]

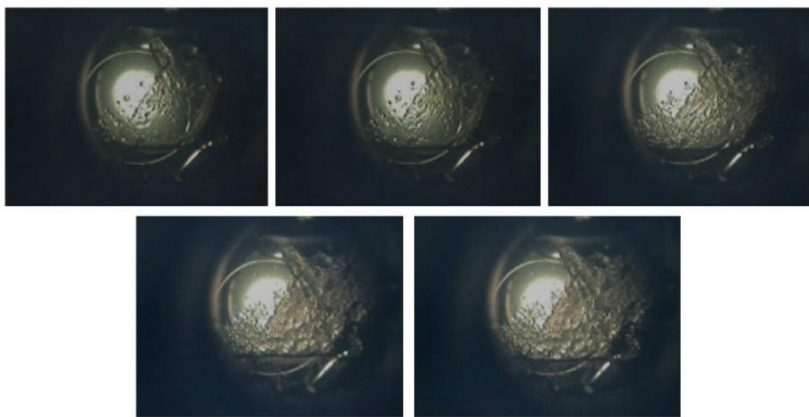
A gázhidrátok komoly veszélyt jelentenek a gáztermelő kutakban, a csővezetési rendszerekben és a gázfeldolgozó technológiákon, mert a gázhidrát kristályok kialakulása a gáztermelési technológia költségét jelentősen megnöveli, továbbá a kristályok agglomerációjának és a méretek növekedésének köszönhetően a csővezeték akár teljes keresztmetszetben eltömődhet. A gázszállító csővezeték megtisztítása és a technológia újraindítása újabb komoly költségnövelő hatású, ezért a gáztermelésnél szükségszerűen használnak a hidrát kialakulását gátló anyagokat – inhibitorokat – a hidrátosodás megakadályozása érdekében. Az inhibitor mennyiség pontos meghatározása nem csak költségkímélő, hanem jelentős környezeti terhelést csökkentő hatású is. [3], [4]

A gázhidrátok kialakulásával, a modellezéssel, a gátlási technikákkal foglalkozó publikációk már több évtizede jelennek meg, de az elmúlt tíz évben az egyik kiemelt kutatási területté vált a gázhidráttal kapcsolatos valamennyi tevékenység. A publikációk jelentős része a kialakulási

mechanizmus megismerését, a jelenségek tudományos leírását, a vizsgálati módszerek kialakítását, a modellezést, a különböző matematikai algoritmusokon alapuló előrejelzési módszerek kidolgozását, és nem utolsósorban a hidrát gátló anyagok fejlesztését, és a gátlási megoldások fejlesztését tárgyalja, de a korszerű, modellezésen alapuló adagolási eljárásról kevés irodalom található.

1.1. A GÁZHIDRÁT

A gázhidrát olyan szilárd halmazállapotú anyag, amely jellegét tekintve szemcsés, és leginkább jégre vagy hóra emlékeztet. A képen a hidrát kialakulását figyelhetjük meg, laboratóriumi körülmények között.



A gázhidrátok kristályos szerkezetűek. A hidrát fő vázát a vízmolekulák alkotják. A hidrátképző gáz pedig a rácsban foglal helyet. Attól függően, hogy gáz milyen méretű, beszélhetünk egyes vagy kettes struktúrájú hidrát-szerkezetéről. A hidrát kialakulásának és fennmaradásának feltételei, hogy legyen kellőképpen magas nyomás és alacsony hőmérséklet, képződésekor a gáz mellett cseppfolyós víz is található legyen a rendszerben, kovalens kötés legyen a hidrátot képző gáz molekulái közt, méretük maximum 8×10^{-10} m legyen, cseppfolyósan a vízzel ne elegyedjen, és a gázhidrát molekulái közt Van der Waals erők nem lépjenek fel.

A gázhidrátok komoly problémákat okoznak az olaj- és gáziparban. A hidegebb hónapokban a gázcsővezetékek és a bennük szállított gáz lehűl.

Hidrátosodáshoz vezet a gázkutak természetes víztermelése, a téli alacsony hőmérséklet és a csővezeték üzemi nyomása. Ha a hidrát kialakul az összeállt hidrát szemcsék dugót képezve elzárják a csővezetékét.

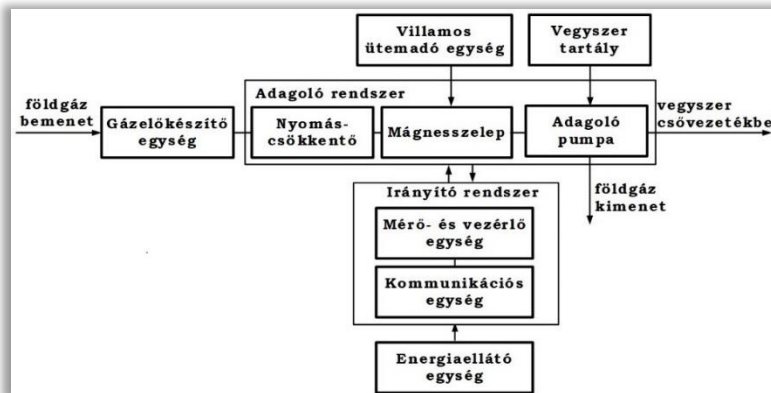


Ekkor a nyomás megnő, a gázszállítás leáll. A kialakult hidrátdugó stabilis, az eltávolításának lehetőségei az alábbiak: kimelegítés, vegyszeres kezelés, és mechanikai tisztítás.

1.2. A HIDRÁT MENTESÍTÉSE

Alapvetően két típusú hidrátgátló készítményt különböztetünk meg, a termodinamikus és a kis mennyiségben adagolható inhibitorokat. A hazai termelésben még mindig a metanolozást használják leggyakrabban, bár veszélyes anyagnak számít. A glikolok azért nem terjedtek el, mert a metanolhoz képest drága. Modern, környezetbarátabb inhibitor a kinetikus inhibitor, mely késlelteti a gázhidrát kristály növekedését és az anti-agglomerációs inhibitor, mely meggátolja a góccok kialakulását.

Az inhibitorokat adagolóknak segítségével juttatjuk a gázvezetékbe. A villamos ütemvezérelt vegyszeradagoló felépítését látjuk. A működtető gáz egy gázelőkészítőn keresztül jut az adagolóba. Az ütemadó biztosítja a megfelelő ütemezést. A vegyszertartályban található az inhibitor. A villamos működtetésű adagoló az előzőhöz hasonlóan tartalmaz mérő- és vezérlőegységet, valamint a kommunikációs egységet. A vegyszeradagolást egy frekvenciaváltós hajtás biztosítja.



1.3. A KUTATÁS CÉLJA

Kutatásom fő célja az volt, hogy a hidrát kialakulással és hidrát-gátlással kapcsolatos, használatban lévő vizsgálati módszerek, megoldások, demonstrációs rendszerek felhasználásával, olyan hatékony digitális megoldások készüljenek el, amelyek a következő években az ipari alkalmazásokba integrálhatók.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A kutatási témához magyar nyelvű irodalom nem érhető el. A külföldi szakirodalomban számos kapcsolódó cikk található. Bár a metanol adagolása környezetvédelmi okok miatt nem javallott, mégis található olyan szakirodalom, amely metanolt használ. Így például az International Oil Field Chemistry Symposium-on megjelent előadáson [5] francia és angol kutatók arról számolnak be, hogy az északi-tengernél lévő gázkitermeléshez nem túl környezettudatosan, metanolt adagoltak a vezetékbe a gázhidrátok megelőzéséhez. Az adagolást kezdetben a Karl Fischer eljárással kezelték, ez azonban nem a legmegfelelőbb módszer, mivel az nem veszi figyelembe a sótartalmat. Így kidolgoztak egy új módszert, amely szerint az elektromos vezetőképességet és hang terjedési sebességet is elkezdtek mérni a rendszerhőmérséklet és a nyomás ismerete mellett. A négy paraméterből az általuk kidolgozott módszerrel a metanol adagolása optimumon tartható. Ugyanígy nem túl környezettudatosan a 2013-ban megjelent cikk [6] is ipari folyamatoknál a hidrátképződés megakadályozására adagolt metanol befecskendezésének optimalizálásával foglalkozik. A cikk a gőzfázisú metanol mennyiségének fontosságáról számol be, mivel az nem vesz részt a

hidrátképződés blokkolásában. A mennyiség meghatározására két módszert mutatnak be, az első egy matematikai korreláció valós adatokból, a második pedig egy mesterséges neurális hálózat alapú eljárás.

Természetesen nem csak metanol adagolást elősegítő eljárásokról található szakirodalom, így például olyan eljárások is fellelhetők, amelyeket monoetilén-glikol, vagy egyéb inhibitor adagolására dolgoztak ki. Az egyik ilyen példa a „New tools predict monoethylene glycol injection rate for natural gas hydrate inhibition” című cikk [7], ahol egy „least squares support-vector machine” algoritmussal valószínűsítik meg gépi tanulást [8]. A kidolgozott módszerrel gázvezetékben tudják megbecsülni a hidrátok kialakulását, illetve a monoetilén-glikol mennyiségét is meg tudják adni a segítségével, mellyel esetükben a hidrátgátlást megvalósították. A másik ilyen nem metanol alapú hidrátgátló adagoló eljárás az, amely a „Optimal Hydrate Inhibition Policies with the Aid of Neural Networks” című cikkben [9] található. Ez az írás neurális hálózatok fejlesztésével és felhasználásával foglalkozik a hidrátképződés blokkolásának optimalizálásával kapcsolatosan. A modell validálására kísérleti adatokat használtak, amelyek tartalma a hidrátképződések körülménye, a gáz összetétele, a blokkoló összetétele, a rendszernyomás és a fajsúly. A modell figyelembe veszi a blokkoló párolgása miatti veszteséget. Az eljárás a különböző összetételű gázokhoz ajánl inhibitor adagolást.

Számos szakirodalom foglalkozik a hidrátosodási hőmérséklet prognosztizálásával. Az egyik ilyen egy meglehetősen friss cikk, amely 2017-ben jelent meg. A [10] szakirodalmi hivatkozás a „least squares support vector-machine” algoritmus használatával kidolgozott eljárásról számol be, amely a hidrátképződési hőmérséklet becslésére alkalmas, különböző összetételű földgázokban. Szakirodalomból válogattak adatokat, amelyekből különböző gázösszetételekre lebontva alkottak adathalmazokat a gépi tanuláshoz. Ez a modell, összehasonlítva más modellekkel, pontosabb H₂S tartalmú gázok esetén. Ezt megelőzően a Gas Processing Journalban 2013-ban megjelent [11] cikkben mutattak be egy empirikus korrelációt a hőmérséklet, gáznyomás és fajsúly között, amivel megmondható a hidrátképződési hőmérséklet. Ezt a módszert tovább finomították nagy mennyiségű mérési adat statisztikai elemzésével, amelyből készült adatkészletekkel egy neurális hálózatot tanítottak be. A végeredmény a cikk tanulsága szerint pontos módszert ad. Egy 2009-ben az Energy Conversion and Managementben megjelent cikk [12] két eljárást mutat be a hidrátképződési hőmérséklet becslésére. Az első eljárás két korrelációból áll,

egy 11 és egy 18 paraméteresből. A paramétereket kísérleti mérési pontokból, valamint a szakirodalomból vették. Az adatokból statisztikai szoftver segítségével emelték ki a szükséges paramétereket. A második eljárás mesterséges neurális hálózatokat használ, a korábbi eljárás adatainak felhasználásával, ahol az adatok 70%-át tanításra, a maradék 30%-ot pedig tesztelésre használták. Ettől korábban is jelent már meg cikk a témában. Az iráni kutató-hármas 2006-os cikkében [13] mesterséges neurális hálózatot használnak, hogy mérési pontokból (hőmérséklet, nyomás, fajsúly), egy predikciót adjanak a hidrát kialakulási hőmérsékletre. Az adatok döntő részével betanították az algoritmust, a maradékot pedig ellenőrzésre használták. Eredményül 3%-os hibát kaptak, amit összevetve a Sloan modellel, jónak lehet mondani. [14], [15]

Természetesen egyéb kapcsolódó szakirodalommal is találkozhatunk, így például a 2016-ban megjelent Petroleum Science and Technology folyóiratban olvashatunk „Prediction of hydrate formation temperature based on an improved empirical correlation by imperialist competitive algorithm” címmel egy cikket [16], amely a gázhidrátok keletkezésének problémájára hívja fel a figyelmet, illetve, hogy kulcsfontosságú a kialakulási körülmények jó becslése. Ehhez használható a Katz gáz gravitációs eljárás, amelyhez a legelterjedtebb korreláció a Ghiasi [17]. A cikkben ezt a Ghiasi modellt az „imperialist competitive” algoritmusmal futtatják a Katz eljárás adataiból kiindulva. Egy 2015-ös malajziai munkában [18] mesterséges neurális hálózatot használtak, hogy meghatározzanak egy kinetikus modellt a metán gázhidrátok kialakulásának becslésére. Megpróbálták meghatározni a jó mesterséges neurális hálózat rétegeinek és rejtett neuronjainak számát. A NN alapú modell bemenetei a hőmérséklet és nyomás, a kimenete pedig a hidrát növekedési sebesség. A 2017-es „Developing a simple-to-use predictive model for prediction of hydrate formation temperature” című cikk [19] két metódus összehasonlítását írja le a gázhidrátok kialakulási körülményeinek ellehetetlenítésére. Az első egy mesterséges neurális hálózat, a második pedig egy NN, amit az „imperialist competitive” algoritmusmal optimalizáltak. A hálózatokba szakirodalmi adatokat tápláltak, majd összehasonlították azokat. A várakozással ellentétben a sima neurális hálózat eredményei jobbak, mint az optimalizáltak. [20], [21]

3. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Disszertációm három egymásra nem épülő, egymástól független témához kapcsolódó digitális megoldást tartalmaz, amelyek tudományos újdonsággal

bírnak. Egy legkisebb módszerek alapú, hidrátosodási nyomás meghatározására alkalmas rendszer, egy egy-bemenetes neurális hálózaton alapuló hidrát detektáló rendszer és egy több-bemenetes, egykimenetes neurális hálózaton alapuló hidrát detektáló rendszer kerül bemutatásra.

3.1. A HIDRÁTOSODÁSI NYOMÁS MEGHATÁROZÁSA

Az első megoldásban az inhibitor adagolás szabályozás alapját képző hidrátosodási nyomás meghatározásának egy lehetséges módját mutatom be. A hidrátosodási nyomás meghatározásához a fázishatárgörbe felvétele szükséges, mely görbe a hidrát kialakulásának szemléltetésére szolgál, amelyet a hőmérséklet függvényében ábrázolunk. A fázishatárgörbe felvételéhez meg kell határozni a hidrátosodási nyomást diszkrét hőmérsékleti értékekre, ehhez a gázösszetétel ismerete szükséges. Az általam felhasznált gáz a szeghalmi 29. gázkútról származik. A gáz elemzését a MOL Zrt. hajdúszoboszlói laboratóriuma végezte gázkromatográf segítségével. A gázösszetétel ismeretében a vendég- és vízmolekulák kémiai potenciálegyenlete és a Van der Waals Platteeuw modell felhasználásával meghatározható a fázishatárgörbe:

$$\frac{\Delta\mu_0}{RT_0} - \int_{T_0}^T \left(\frac{\Delta H_m}{RT^2} \right) dT + \int_{p_0}^p \frac{\Delta V_m}{RT} dp - \sum_{k=1}^n V_k \cdot \ln \left(1 + \sum_{j=1}^n C_{jk} \cdot f_j \right) - \ln a_v = 0 \quad (1)$$

ahol, $\Delta\mu_0$ a kémiai potenciálkülönbség, amely 273,15 K referencia hőmérsékletre, illetve a 0 atmoszféra nyomásra vonatkozik, R az egyetemes gázállandó, T_0 273,15 K referencia hőmérséklet ΔH_m moláris entalpia különbség, T a hőmérséklet, ΔV_m a moláris térfogat különbség, ürekszám/vízmolekulaszám az i hidrát-rácsban, C_{ji} a Langmuir konstans, f_j a j vendég molekula fugacitása, a_v a vízaktivitás.

A kapott matematikai modellnek megfelelően felvettem a fázishatárgörbét mind S1, mind pedig S2 struktúrájú hidrát esetén. A kapott görbék alapján a 60 bar-os üzemi nyomásnál a kritikus hőmérséklet S1 struktúra esetén 11,5 °C, S2 struktúra esetén pedig 16 °C. Vagyis S2 struktúra a kritikusabb.

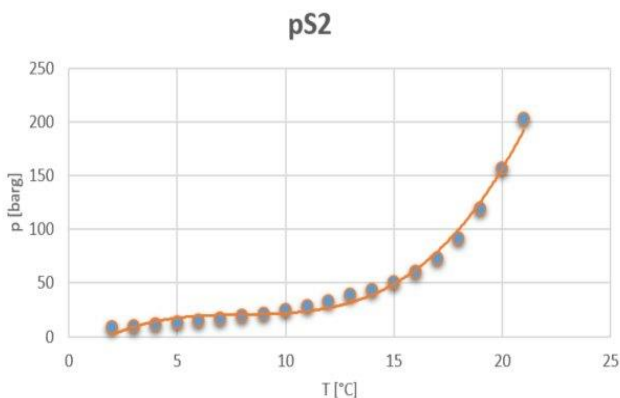
A fázisgörbe matematikai leírását az Gauss féle legkisebb négyzetek (LSQ) módszer és egy harmadfokú polinom segítségével végeztem el. A kapott egyenletrendszer az alábbi:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{20} (x_i^3 \varepsilon_i) &= \gamma \sum_{i=1}^{20} (x_i^6) + \delta \sum_{i=1}^{20} (x_i^5) + \omega \sum_{i=1}^{20} (x_i^4) + \mu \sum_{i=1}^{20} (x_i^3), \\ \sum_{i=1}^{20} (x_i^2 \varepsilon_i) &= \gamma \sum_{i=1}^{20} (x_i^5) + \delta \sum_{i=1}^{20} (x_i^4) + \omega \sum_{i=1}^{20} (x_i^3) + \mu \sum_{i=1}^{20} (x_i^2), \end{aligned} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{20} (x_i \varepsilon_i) = \gamma \sum_{i=1}^{20} (x_i^4) + \delta \sum_{i=1}^{20} (x_i^3) + \omega \sum_{i=1}^{20} (x_i^2) + \mu \sum_{i=1}^{20} (x_i),$$

$$\sum_{i=1}^{20} (\varepsilon_i) = \gamma \sum_{i=1}^{20} (x_i^3) + \delta \sum_{i=1}^{20} (x_i^2) + \omega \sum_{i=1}^{20} (x_i) + \mu.$$

ahol, γ , δ , ω , és μ polinomiális együtthatók, ε_i a diszkrét pontok távolsága az x tengelytől. A matematikai leírást mind S1 struktúrájú, mind pedig S2 struktúrájú hidrára elvégeztem. Megvizsgáltam a különbség az eredeti pontok és az LSQ módszerével létrehozott görbe között, amelyek az egyes pontoknál $\pm 1,02$.



A matematikai leírás megadásához a fázisgörbe, vagy annak minimum négy-öt pontjának ismerete szükséges.

A diszkrét hőmérséklethez tartozó nyomásérték egy szimulációs modell segítségével is előállítható, amely MatLab szoftver segítségével lett megvalósítva. A teljes modell mindkét nyomásérték (S1, S2) meghatározására alkalmas. A szabályozás alapjelét, amely a nyomásértéket szolgáltatja egy feltételrendszer határozza meg. A teljes modell hatékonyságának kipróbálása miatt, ahhoz egy szabályozó algoritmust illesztettem. A modell hatékonyságát kútkörzeti adatok segítségével vizsgáltam. Az adatok a fűzesgyarmati Szeghalom-29 kútról származnak. A használt adatbázist a kútra telepített kútkörzeti irányítási és vegyszeradagoló berendezés által mentett adatok adják. A felhasznált adatok a nyomás, a hőmérséklet és a várt beavatkozás. Vizsgálataim alapján a tényleges beavatkozás 96%-ban megfelelt a vártnak.

TÉZIS I

Kidolgoztam egy LSQ alapú modellt, amely alkalmas diszkrét hőmérsékletértékekhez tartozó hidratosodási nyomásérték meghatározására, mindkét struktúrájú (S1 és S2) hidratosodás jellemzőit figyelembe véve. Létrehoztam egy szabályozó algoritmust, amely segítségével igazoltam, hogy a kidolgozott modell alkalmas arra, hogy a struktúrafüggő hidratosodási nyomásértéket megbecsülje az inhibitor adagolásához.

ÚJDONSÁG ÉS ÉRVÉNYESSÉG

Nincs a szakirodalomban olyan cikk, ahol LSQ alapú modellt alkalmaztak az inhibitor adagolásához.

A modell használatához a hidratosodási fázisgörbe, vagy annak minimum négy-öt pontjának ismerete szükséges. A fázisgörbe a gázösszetétel ismeretében kiszámítható. A minimálisan szükséges 4-5 fázisgörbe pont méréssel meghatározható.

KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

[S4], [S9], [S10], [S15]

3.2. A HIDRÁT-KÉPZŐDÉS DETEKTÁLÁSA

Méréseimet egy olyan modellberendezéssel készítettem, mely alkalmas csővezetékben történő gázáramlás szimulálására. A berendezés paraméterei: -20 ... +30 °C hőmérséklet, a gázvezetékével egyenlő nyomás (tipikusan 60 bar), 1-10 nl/min áramlási sebesség.



A kitermelt földgáz több komponensből áll, amelyeket tisztítási eljárás során tudunk szétválasztani. Megkülönböztetünk egyrészlől száraz földgázt, amely

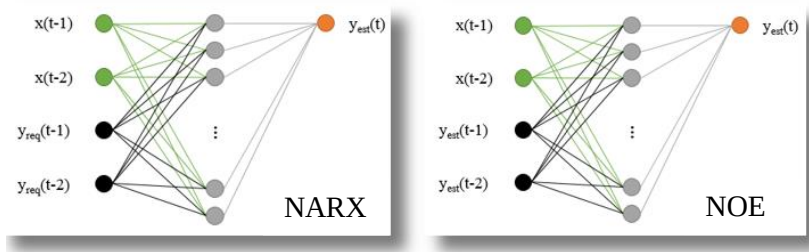
alapvetően metánból és etánból áll, nedves földgázt más néven gázolint, és rétegvizet, mivel a természetes kialakítású tárolókőzet vizet tartalmaz a pórusai között. Vagyis méréseink során is figyelembe kell venni, hogy a gáz mellett, rétegvizet, és esetlegesen gázolint is adagolni kell a gázminta előállításakor. A gázminta összetételétől függően a modellberendezéssel többféle mérést végeztem el, a táblázatnak megfelelően.

Megnevezés	Komponensek			Inhibitor
	gáz	gazolin	rétegvíz	
Vak mérés	+	-	+	-
Valósághű vak mérés	+	+	+	-
Mintás mérés	+	-	+	+
Valósághű mintás mérés	+	+	+	+

Hálózatok tanításához több, egymástól független adatkészletre volt szükség. A korábban kiválasztott, nyers adatok skálázáson, normalizáláson estek át. A Lenti táblázat mutatja a független mintakészletek fontosabb tulajdonságait. A tanító készlet közel háromszor olyan hosszú lett, mint a validáláshoz és teszteléshez használt készletek hossza.

Adatkészlet	Használt mérési adatok száma [db]	Adatpontok száma [db]
Tanító készlet	78	7722
Validáló készlet	36	3204
Teszt készlet	30	3240

Munkám során, egy pontos, stabil neurális hálózat alapú struktúra kialakítása volt a cél, amelyhez több hálózati struktúra is megvizsgálásra került. Végül



$$y_{est}(t) = f[x(t-1), x(t-2), \dots, x(t-n), y_{reg}(t-1), \dots, y_{reg}(t-n)] \quad y_{est}(t) = f[x(t-1), x(t-2), \dots, x(t-n), y_{est}(t-1), \dots, y_{est}(t-n)]$$

ahol

$y_{est}(t)$ – a hálózat kimenete t időpillanatban
 $x(t-1)$ – a hálózat bemenete a t-1 időpillanatban
 $y_{est}(t-1)$ – a hálózat kimenete a t-1 időpillanatban
 n_i – a bemeneti késleltető láncok (TDL) száma
 n_o – a kimeneti késleltető láncok (TDL) száma

ahol

$y_{est}(t)$ – a hálózat kimenete t időpillanatban
 $x(t-1)$ – a hálózat bemenete a t-1 időpillanatban
 $y_{reg}(t-1)$ – megkívánt kimenet a hálózattól a t-1-nél
 n_i – a bemeneti késleltető láncok száma
 n_o – a kimeneti késleltető láncok száma

egy valós visszacsatolást tartalmazó hálózat a NOE (Neural Network Output Error) és egy autoregresszív hálózatot exogén bemenettel a NARX (Auto-Regressive with eXogenous inputs) került kiválasztásra.

A kimeneteken mesterségesen előállított riasztási mintákat hoztam létre 75% és 99% között. A megfelelő a tapasztalataim alapján a 75% volt. Ennek felhasználásával a kimenetek előállíthatók és felhasználhatók a tanításhoz. Több hálózatot is betanítottam, amely során a rejtett réteg neuronjaink száma, korábbi bemenetek és kimenetek száma került változtatásra. A tanításhoz a Levenberg-Marquard algoritmust használtam. Ahhoz hogy elkerüljük a túltanulást minden tanítás ott lett leállítva, ahol annak a kiértékelő készletre vett MSE értéke a legjobb volt, de maximum 1000. Az MSE (Mean Squared Error) a válasz helyességének természetes mértéke, a tanuló rendszer leképzése és a regressziós függvény kimenete közötti eltérés átlagos négyzetes értéke.

Akkor jó a hálózat teljesítménye, ha az elvárt kimenetben és a hálózat tényleges kimenetében a lépcsőszerű ugrás fedi egymást. Erről az MSE nem ad érdemi információt. Éldetektálással határoztam meg a mintakészletekben fellelhető élek számát és összehasonlítottam azokat. Ha az élek fedték egymást, akkor mondható, hogy az adott riasztás időben történt. Az időben bekövetkező riasztásokból százalékos érték számítható (RE). Ez alapján egy valódi visszacsatolást tartalmazó, viszonylag kisméretű hálózat produkálta a legjobb eredményt.

TÉZIS II

Kidolgoztam egy neurális hálózaton alapuló hidrát detektáló rendszert. A detektáló rendszer a nyomás változásából képes előre jelezni a hidrát esetleges kialakulását. Kidolgoztam egy éldetektáló rendszert, amely alkalmas a hidrát detektáló rendszer tesztelésére. Éldetektálással határoztam meg a mintakészletekben fellelhető élek számát, mely alapján összehasonlíthattam azokat.

ÚJDONSÁG ÉS ÉRVÉNYESSÉG

A szakirodalomban található olyan megoldás, ahol neurális hálózat felhasználásával a hidrát kialakulását prognosztizálják. Ilyen például az [13] és [11] irodalmakban található megoldások különböző paraméterek (hőmérséklet, nyomás, fajsúly) mérési pontjaiból jelzi elő a hidratosodási hőmérsékletet, az [18] irodalomban található pedig a hőmérséklet és a nyomás értékekből a hidrát növekedési sebességre ad becslést. Olyan megoldást azonban, amely csak a nyomás értékéből előre jelzi a hidrát kialakulást nincs.

Az NN alapú hidrát detektáló eljárás kialakításakor az összes tanításhoz és teszteléshez használt adatkészlet alapját magyarországi gázkutakból származó minták adják. A felhasznált adatok tartománya: nyomás 50-80 bar; hőmérséklet 0-30 °C. A hidrát kialakulása függ a gázösszetételtől. Eltérő lokáció esetén a tanítás megismétlése javasolt a helyre jellemző adatkészletek segítségével.

KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

[S3], [S5], [S6], [S7], [S9], [S11], [S12], [S13]

3.3. A TEREPI HIDRÁT JELENLÉT ÉSZLELÉSE

A „Nagy inert tartalmú földgázok kitermelését támogató komplex hidrát gátló technológia kutatása és fejlesztése” c. GOP 1.1.1 EU pályázatban a Miskolci Egyetem MŰFIO kollektívája a SCADA Kft. oldalán tevékenykedett. Ennek a GOP projektnek a fő célkitűzése az volt, hogy olyan vizsgálati módszerek, megoldások, demonstrációs rendszerek készüljenek el, amelyek alapján a következő években a legújabb technológiát alkalmazva hatékony hidrát gátlást lehet megvalósítani.



A Füzesgyarmaton lévő Szeghalom-29 kútra lett telepítve egy kútkörzeti irányítási és vegyszeradagoló berendezés, amely működéséhez szükséges energiát egy napelemes rendszer biztosítja. A rendszerben a vezérlésről egy SCADAPack PLC gondoskodik. A távfelügyeletet és az adatok adatbázisba küldését GSM modul biztosítja. Az EX-es motort egy OMRON V1000-es frekvenciaváltó működtetni. A rendszer számos paramétert mér, azonban én csak három paramétert használtam fel, melyek a kútvezeték nyomása, a kútvezetés hőmérséklete, és az adagoló-vezérlő frekvenciája.

A berendezés tesztüzemmódja egy 29 hetes periódust ölelnek fel, melyekkor a mérési eredményeim is születtek. Egy további paramétert is figyelembe vettem munkám során az inhibitor hatásosságát. Azt, hogy az egyes használt inhibitorok mennyire hatásosak a korábban bemutatott laboratóriumi berendezés segítségével állapítottam meg. Az inhibitorok egy minősítő számmal lettek ellátva 1-4 intervallumon, ahol az 1 a nem gátol, 4 az erősen gátol.

Hidrátosodási időintervallum [s]	Minősítés	Minősítőszám
0-2500	nem gátol	1
2501-4000	gyengén gátol	2
4001-5500	közepesen gátol	3
5501-6500	erősen gátol	4

Hálózatok tanításához több, egymástól független adatkészletre volt szükség.

Adatkészlet	Használt mérési adatok száma [db]	Adatpontok száma [db]
Tanító készlet	22	2178
Validáló készlet	12	1068
Teszt készlet	10	1080

A korábban kiválasztott, nyers adatok skálázáson, normalizáláson estek át. A táblázat mutatja a független mintakészletek fontosabb tulajdonságait. Itt a korábbi tapasztalataim alapján a NARX hálózatot választottam. Összesen 4 bemenetet és 1 kimenetet használtam.

Egy mesterséges hidrát jelet generáltunk a korábbi tapasztalataink alapján 75%-on. Ennek felhasználásával a kimenetek előállíthatók és felhasználhatók a tanításnál. Több hálózatot is betanítottam, amely során a rejtett réteg neuronjaink száma került változtatásra.

Az előzőhöz hasonlóan, akkor jó a hálózat teljesítménye, ha az elvárt kimenetben és a hálózat tényleges kimenetében a lépcsőszerű ugrás fedi egymást. Éldetektálással határoztam meg a mintakészletekben fellelhető élek számát és összehasonlítottam azokat. Az eredményeket a táblázat foglalja össze. A 14 neuront tartalmazó hálózat a legjobb.

TÉZIS III

Kidolgoztam egy neurális hálózaton alapuló terepen használatos jellemzőket is figyelembe vevő hidrát detektáló rendszert. A detektáló rendszer a nyomás, a hőmérséklet változásából képes előre jelezni a hidrát esetleges kialakulását, úgy hogy figyelembe veszi a terepen szokásos már korábban adagolt inhibitor mennyiségét és minősítőszámát.

ÚJDONSÁG ÉS ÉRVÉNYESSÉG

A szakirodalomban található olyan megoldás, ahol neurális hálózat felhasználásával a hidrát kialakulását prognosztizálják, olyan megoldást azonban, amely a nyomáson és a hőmérsékleten felül figyelembe veszi az aktuálisan rendszerhez adagolt hidrátgátló készítmény mennyiségét, illetve annak minősítőszámát is figyelembe veszi, nincs.

Az NN alapú terepi hidrát detektáló eljárás kialakításakor az összes tanításhoz és a teszteléshez használt adatkészlet alapját magyarországi gázkutakból származó minták adják. A felhasznált adatok tartománya: nyomás 50-80 bar; hőmérséklet 0-30 °C. A hidrát kialakulása függ a gázösszetételtől. Eltérő lokáció esetén a tanítás megismétlése javasolt helyre jellemző adatkészletek segítségével.

KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

[S1], [S2], [S3], [S4], [S5], [S6], [S14], [S16]

4. SUMMARY

In my dissertation I am dealing with three hydrate-formation predicting, modeling based, digital control solutions, one being an LSQ based method, and the two remaining being neural network based methods.

The first solution shows a solution for hydrate-formation prediction and inhibitor injection regulation. To visualise the hydrate-formation I am using a phase boundary curve, with Gauss' least squares method, and with this the

hydrate-formation can be predicted. This yields me a hydrate-formation curve, which is the basis of the regulation method I conceived.

The second solution is hydrate-formation detection utilising a neural network with real feedback. For this about I made about 150 measurements which had been used to create multiple independent data sets, that were pre-processed (filtered, scaled, normalised) using SciLab. As the output I developed artificial alarm patterns at 75% of the maximal pressure. Numerous artificial networks were trained, where both the architecture and various system parameters had been varied. Finally the best network was selected through edge detection.

The third solution is a neural network based field hydrate-presence sensing method. For this I created 44 data sets using the measurement results of a modern injection system. From these sets three independent data pools were made and pre-processed (filtering, scaling, normalising) using SciLab. At the output I set up an artificial alarm, which is based on, at all times, the evaluation of previous test measurements. A multiple input, single output neural network, with multiple possible parameters, had been trained.

THESIS I

I conceived an LSQ based model, which is capable of determining the hydrate-formation pressure at discrete temperature levels, taking into account the characteristic parameters of both S1 and S2 structure types of hydrates. I created a regulation algorithm, utilising which, I was able to show that the model can predict the structure-dependent hydrate-formation pressure with accuracy, to the inhibitor injection.

THESIS II

I conceived a neural network based hydrate detection system. The detection system can, from the change of the pressure, predict the possible formation of hydrates. I devised an edge detecton system, which is capable of testing hydrate detection system. The exact number of edges in the data pools were determined using edge detection and the edges in the data pools were compared.

THESIS III

I conceived a neural network based, field-parameter employing, hydrate detection system. The detetion system can predict, from the change of multiple paramteres, such as pressure and temperature, the posible formation of hydrates while also incorporating in calculations the quality-number and quantity of the previously injected inhibitor.

5. SAJÁT PUBLIKÁCIÓK

Folyóiratcikkek

- [S1] **Bölkény, I.:** *Neural Network Based Detection of Gas Hydrate Formation*, Journal of Electrical and Electronics Engineering 13:2 ID2104. (2020) E-ISSN: 2067-2128, DOI 10.1556/606.2018.13.2.14
- [S2] **Bölkény, I.; Czap, L.:** *AI based detecion of gas hydrate formation in the field*, Pollack Periodica: An International Journal for Engineering and Information Sciences 15:x pp. xx-xx. (2020) ISSN 1788-1994, DOI 10.1556/606.2020.15.x.x;
- [S3] **Bölkény, I.; Füvesi, V.:** *AI based predictive detecion system* Pollack Periodica: An International Journal for Engineering and Information Sciences 13:2 pp. 137-146. (2018) ISSN 1788-1994, DOI 10.1556/606.2018.13.2.14
- [S4] **Bölkény, I.; Füvesi, V.; Vörös, Cs.:** *Hydrate discharge on the field* GÉP 2016/5-6., pp. 18-21.(2016), ISSN 0016-8572
- [S5] **Bölkény, I.; Konyha, J.; Jónap, K.; Vörös, Cs.:** – *Hidrátgátlási technológiák, eredmények és jövőbeli lehetőségei az elmúlt 15 év mérései és projektjei alapján*, Műszaki Földtudományi Közlemények 85:(1) pp. 30-40. (2015), HU ISSN 2063-5508

Konferencia kiadványok

- [S6] **Bölkény, I.:** *AI Based Detection of Gas Hydrate Formation*, 17th IMEKO TC 10 and EUROLAB Virtual Conference: “Global Trends in Testing, Diagnostics & Inspection for 2030”, Zagreb, Horvátország, International Measurement Confederation (IMEKO) 2020. pp. 202-207 ISBN: 9789299008461
- [S7] **Bölkény, I.; Konyha, J.; Godó, L.:** *Prediktív, hidrát-képződést detektáló rendszer*, XIX. ENELKO – Energetika-Elektrotechnika és XXVIII. SzámOkt – Számítástechnika és Oktatás Multi-Konferencia, Tusnádfürdő, 2018. 10. 11-14. ISSN 1842-4546
- [S8] **Bölkény, I.; Konyha, J.; Subert, J.; Szopkó, Sz.; Vörös, Cs.:** *MI alapú prediktív detektáló és adagoló rendszer*, XXXI Nemzetközi Olaj- és Gázipari Konferencia, Kiállítás, Siófok, 2017. 10. 4-6.
- [S9] **Bölkény, I.; Konyha, J.; Füvesi, V.; Szopkó, Sz.:** *Digital control algorithms in order to continous gas production*, Tavaszi Szél 2017 Tanulmánykötet. III. kötet., pp. 15-25. (2017) ISBN 978-615-5586-18-7, DOI: 10.23715/TSZ.2017.3
- [S10] **Bölkény, I.:** *Modell alapú gázhidrát mentesítés*, Műszaki tudomány az Észak-Kelet Magyarországi régióban 2016, pp. 64-70. (2016) ISBN 978-963-7064-33-3
- [S11] **Bölkény, I.; Füvesi, V.:** *Modelling and detection of gas hydrate appearance*, Proceedings of the 2016 17th International Carpathian Control Conference (ICCC). 835 p., 978-1-4673-8605-0
- [S12] **Bölkény, I.; Füvesi, V.; Konyha, J.:** *Analyses of gas hydrate and a detection methode*, MultiScience – XXX. microCAD, Miskolc, 21-22 April 2016, ISBN:978-963-358-113-1
- [S13] **Bölkény, I.:** *Measurement and Analysis of Hydrate Formation*, 16th International Carpathian Control Conference, 2015. május 27-30.

- [S14] **Bölkény, I.; Konyha, J.:** *Prevention of Hydrate Formation on Gas Well*, MultiScience – XXIX. microCAD, Miskolc, 9-10 April 2015, ISBN:978-963-358-061-5
- [S15] **Bölkény, I.; Rónai, L.:** *Regulation of an Inhibitor Dosing System*, MultiScience – XXVIII. microCAD, Miskolc, 10-11 April 2014. ISBN: 978-963-358-051-6
- [S16] **Bölkény, I.; Rónai, L.:** *Hidrátképződés megakadályozása a Szeghalom 29-es gázkutnál*, DCS-19: Folyamatirányító rendszerek XIX. Találkozó, Miskolc; Lillafüred, 2013.10.28 – 30.,
- [S17] **Bölkény, I.; Szabó, G.:** *Olaj- és gáziparban alkalmazott adagoló rendszerek*, microCAD 2013: XXVII. International Scientific Conference. Miskolc, 2013.03.21 – 23
ISBN: 978-963-358-019-9
- [S18] **Bölkény, I.; Vörös, Cs.; Kurucz, Zs.; Papp, Z.:** *Gas and oil well site off - line and on - line data collection technologies*, Distributed Control Systems 18th Meeting. Miskolc; Lillafüred, Magyarország, 2012.10.24 – 26.
- [S19] **Bölkény, I.; Jónap, K.:** *Up-to-date Control Solutions for Gas Storages*, The First Central and Eastern European International Oil and Gas Conference and Exhibition, 2011. szeptember 14-16.

Kutatási jelentések

- [S20] **Vörös, Cs.; Jónap, K.; Bölkény, I.:** *Gázhidrátok kialakulása, vizsgálata, modellezése, hidrát gátlási módszerek*, Irodalmi összefoglaló; Miskolc, 2014
- [S21] **ME AFKI:** *Dinamikus laboratóriumi modellberendezés felújítása - Az originális hidrát kiválaszt gátló inhibitor az Algyői segédgáz rendszerre történő alkalmazás kiterjesztéséhez - 120 bar nyomáshoz*; Miskolc, 2014
- [S22] **SCADA KFT.; ME AFKI:** *Nagy inert tartalmú földgázok kitermelését támogató komplex hidrátgátló technológia kutatása és fejlesztése*; GOP 1.1.1-09/1-2010-0114, „0” jelű alprojekt, Megvalósíthatósági tanulmány; Miskolc, 2012
- [S23] **Jónap, K.; Bölkény, I.; Füvesi, V.; Subert, J.; Vörös, Cs.; Tornyai, L., Papp, Z.:** *Nagy inert tartalmú földgázok kitermelését támogató komplex hidrátgátló technológia kutatása és fejlesztése* GOP 1.1.1-09/1-2010-0114, „1” jelű projekt – METAN: Megvalósíthatósági Tanulmány, JEL–01 jelentés - 2013
- [S24] **Jónap, K.; Bölkény, I.; Füvesi, V.; Subert, J.; Vörös, Cs.; Tornyai, L., Papp, Z.:** *Nagy inert tartalmú földgázok kitermelését támogató komplex hidrátgátló technológia kutatása és fejlesztése* GOP 1.1.1-09/1-2010-0114, „2a” jelű projekt – KIV: Kereskedelmi Inhibitorok Vizsgálata, JEL–02 jelentés - 2013
- [S25] **Jónap, K.; Bölkény, I.; Füvesi, V.; Subert, J.; Vörös, Cs.; Tornyai, L., Papp, Z.:** *Nagy inert tartalmú földgázok kitermelését támogató komplex hidrátgátló technológia kutatása és fejlesztése* GOP 1.1.1-09/1-2010-0114, „2b” jelű projekt – PEIV: PE MÜKKI Inhibitorok Vizsgálata, JEL–03 jelentés - 2013
- [S26] **Jónap, K.; Bölkény, I.; Füvesi, V.; Subert, J.; Vörös, Cs.; Tornyai, L., Papp, Z.:** *Nagy inert tartalmú földgázok kitermelését támogató komplex hidrátgátló technológia kutatása és fejlesztése* GOP 1.1.1-09/1-2010-0114, „3b” jelű projekt – VVRT: Villamos Vegyszeradagoló Rendszerterv, JEL–05 jelentés - 2013

- [S27] Jónap, K.; Bölkény, I.; Füvesi, V.; Subert, J.; Vörös, Cs.; Tornyai, L., Papp, Z.: Nagy inert tartalmú földgázok kitermelését támogató komplex hidrátgátló technológia kutatása és fejlesztése GOP 1.1.1-09/1-2010-0114, „3ba” jelű projekt – MMVTT: Motoros Működötetésű Vegyszeradagoló Terepi Teszt, JEL–06 jelentés - 2013
- [S28] Jónap, K.; Bölkény, I.; Füvesi, V.; Subert, J.; Vörös, Cs.; Tornyai, L., Papp, Z.: Nagy inert tartalmú földgázok kitermelését támogató komplex hidrátgátló technológia kutatása és fejlesztése GOP 1.1.1-09/1-2010-0114, „3bb” jelű projekt – MVTT: Mágneses Vegyszeradagoló Terepi Teszt, JEL–07 jelentés - 2013
- [S29] Jónap, K.; Bölkény, I.; Füvesi, V.; Subert, J.; Vörös, Cs.; Tornyai, L., Papp, Z.: Nagy inert tartalmú földgázok kitermelését támogató komplex hidrátgátló technológia kutatása és fejlesztése GOP 1.1.1-09/1-2010-0114, „4a” jelű projekt – RKTm: Rádiós Kommunikáció Terepi Monitorozás, JEL–08 jelentés - 2013
- [S30] Jónap, K.; Bölkény, I.; Füvesi, V.; Subert, J.; Vörös, Cs.; Tornyai, L., Papp, Z.: Nagy inert tartalmú földgázok kitermelését támogató komplex hidrátgátló technológia kutatása és fejlesztése GOP 1.1.1-09/1-2010-0114, „4b” jelű projekt – IMRT: Ipari Monitoring Rendszer Teszt, JEL–09 jelentés - 2013
- [S31] Jónap, K.; Bölkény, I.; Füvesi, V.; Subert, J.; Vörös, Cs.; Tornyai, L., Papp, Z.: Nagy inert tartalmú földgázok kitermelését támogató komplex hidrátgátló technológia kutatása és fejlesztése GOP 1.1.1-09/1-2010-0114, „4c” jelű projekt – NHT: Napelem Használhatósági Tanulmány, JEL–10 jelentés - 2013

6. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Szilas, A. P.: *Kőolaj és földgáz termelése és szállítása, I. Termelés kutakból*; ISBN: 963 05 4058 5; Budapest, 1985.
- [2] Szilas, A. P.: *Kőolaj és földgáz termelése és szállítása, II. Gyűjtés, szétválasztás és szállítás*; ISBN: 963 10 5687 2; Budapest, 1984.
- [3] Hammerschmidt, E. G.: *Formation of Gas Hydrates in Natural Gas Transmission Lines*; Industrial & Engineering Chemistry; 1934, 26 (8), pp 851–855
- [4] Makogan, Y.: *Hydrates of hydrocarbons*, Tulsa, Pennwell Books, 1997.
- [5] Macpherson, C.; Glenat, P.; Mazloun, S.; Young, I.: *Successful Deployment of a Novel Hydrate Inhibition Monitoring System in a North Sea Gas Field*, 23rd International Oil Field Chemistry Symposium, 18 – 21 March 2012, Geilo, Norway.
- [6] Ghiasia, M. M.; Bahadorib, A.; Zendeheboudic, S.; Jamilid, A.; Rezaei-Gomari, S.: *Novel methods predict equilibrium vapor methanol content during gas hydrate inhibition*, Journal of Natural Gas Science and Engineering Volume 15, November 2013, Pages 69-75
- [7] Kamaria, A.; Bahadorib, A.; Mohammadiac, A. H.; Zendeheboudid, S.: *New tools predict monoethylene glycol injection rate for natural gas hydrate inhibition*, Journal of Loss Prevention in the Process Industries Volume 33, January 2015, Pages 222-231
- [8] Suykens, J.A.K.; Vandewalle, J.: *Least Squares Support Vector Machine Classifiers*, Neural Processing Letters, June 1999, Volume 9, Issue 3, pp 293–300

- [9] **Elgibaly, A.; Elkamel, A.:** *Optimal Hydrate Inhibition Policies with the Aid of Neural Networks*, Energy Fuels 1999, 13, 1, 105-113, November 20, 1998, <https://doi.org/10.1021/ef980129i>
- [10] **Mesbah, M.; Soroush, E.; Rezakazemi, M.:** *Development of a least squares support vector machine model for prediction of natural gas hydrate formation temperature*, Chinese Journal of Chemical Engineering Volume 25, Issue 9, September 2017, Pages 1238-1248
- [11] **Khamehchi, E.; Shamohammadi, E.; Yousefi, S. H.:** *Predicting the Hydrate Formation Temperature by a New Correlation and Neural Network*, Gas Processing Journal, Vol. 1 No. 1, January 2013 ISSN (Print): 2322-3251, PP. 41-50 2013 University of Isfahan
- [12] **Zahedi, G.; Karami, Z.; Yaghoobi, H.:** *Prediction of hydrate formation temperature by both statistical models and artificial neural network approaches*, Energy Conversion and Management Volume 50, Issue 8, August 2009, Pages 2052-2059
- [13] **Heydari, A.; Shayesteh, K.; Kamalzadeh, L.:** *Prediction of hydrate formation temperature for natural gas using artificial neural network*, Oil and Gas Business, 2006
- [14] **Zeinali, N.; Ameri, A.; Saber, M.:** *Comparative analysis of hydrate formation pressure applying cubic Equations of State (EoS), Artificial Neural Network (ANN) and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)*, International Journal of Thermodynamics, Year 2012, Volume 15, Issue 2, Pages 91 - 101
- [15] **Moukhtar, A. R.; Hamdy, A. M.; Salem, S. A.:** *Design of a Prediction System for Hydrate Formation in Gas Pipelines using Wireless Sensor Network*, (IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 7, No. 9, 2016
- [16] **Amin, J. S.; Nejad, S. K. B.; Veiskarami, M.; Bahadori, A.:** *Prediction of hydrate formation temperature based on an improved empirical correlation by imperialist competitive algorithm*, Journal Petroleum Science and Technology Volume 34, 2016 - Issue 2, Pages 162-169
- [17] **Saghafi, H.; Yarveicy, H.:** *Gas hydrate stability conditions: modeling on the basis of gas gravity approach*, Journal Petroleum Science and Technology, Volume 37, 2019 - Issue 17, Pages 1938-1945
- [18] **Rodzep, M. N. B. M.:** *Application of Artificial Neural Network in Prediction of Methane Gas Hydrate Formation Rate*, Universiti Teknologi PETRONAS, 32610, Bandar Seri Iskandar, 2015
- [19] **Hesami, S. M.; Dehghani, M.; Kamali, Z.; Bakyani, A. E.:** *Developing a simple-to-use predictive model for prediction of hydrate formation temperature*, Journal International Journal of Ambient Energy Volume 38, 2017 - Issue 4 Pages 380-388
- [20] **Kolchin, A.:** *Analyze of Hydrate Formation with the use of Neural Network Technology*, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 30 September-2 October, 2013, New Orleans, Louisiana, USA
- [21] **Vajari, S. M.:** *Development of Hydrate Inhibition Monitoring and Initial Formation Detection Techniques*, Heriot-Watt University Institute of Petroleum Engineering, February 2012

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet mondani mindazoknak, akik támogatásukkal hozzájárultak az értekezés elkészítéséhez, különös tekintettel tudományos vezetőmnek, Dr. Czap Lászlónak és nyugalmazott tudományos vezetőmnek, Dr. Jónap Károlynak, akik segítőkész munkájukkal és támogatásukkal nélkülözhetetlen segítséget nyújtottak kutatómunkámhoz. Szakmai segítségükért és támogatásukért külön köszönet illeti Dr. Füvesi Viktort, Dr. Lakatos Istvánt és Rónai Lászlót. Szeretnék köszönetet mondani a régi kollektívámnak Godó Lacinak, Konyha Józsinak, Subert Józsinak, Szopkó Szilinek és Vörös Csabának munkám támogatásáért. Köszönöm továbbá a Miskolci Egyetem Hatvany József Informatikai Tudományok Doktori Iskola vezetőinek és tanárainak, valamint az Elektronikai és Informatikai Kutatóintézet munkatársainak, hogy lehetőséget biztosítottak az értekezés elkészítéséhez, benyújtásához. Ezúton szeretnék köszönetet mondani édesanyámnak Borának, édesapámnak Lacinak, bátyámnak Lacinak és családjának, hogy feltétel nélkül támogattak, hittek bennem és elviseltek, ami tudjuk, hogy nem mindig egyszerű :). És végül, de nem utolsó sorban szeretnék köszönetet mondani barátaimnak erkölcsi támogatásukért, a vidám pillanatokért és a közös stresszoldásokért :).

A kutatómunka a Miskolci Egyetemen működő Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet GINOP-2.3.2-15-2016-00010 jelű „Földi energiaforrások hasznosításához kapcsolódó hatékonyság növelő mérnöki eljárások fejlesztése” projektjének részeként – a Széchenyi 2020 program keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Strukturális és Beruházási Alapok társfinanszírozásával valósult meg.

„Háborúban halott is van.”



2019