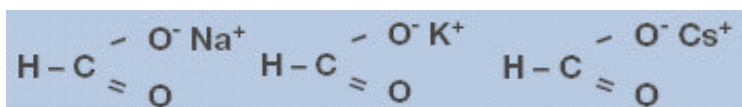


Maciej Stec\*, Grzegorz Bazan\*

## PROJEKTOWANIE GĘSTOŚCI SOLANEK NA BAZIE SOLI MRÓWCZANOWYCH

### 1. PODSTAWY CHEMICZNE

Płyny wiertnicze na bazie mrówczanów (solanki mrówczanowe, płuczki na osnowie mrówczanowej) są wodnymi roztworami jednej lub kilku z wymienionych soli organicznych: mrówczanu sodu, potasu lub cezu. Sole te są dobrze rozpuszczalne w wodzie, tworząc w niej solanki o dużej gęstości i niskiej temperaturze krzepnięcia. Wzory strukturalne mrówczanów pokazano na rysunku 1. Aniony mrówczanowe są najbardziej hydrofilne z całej rodziny anionów kwasów karboksylowych. Organiczny charakter mrówczanów przejawia się przede wszystkim w rozpuszczalności soli mrówczanowych w rozpuszczalnikach organicznych, takich jak metanol czy glikol etylenowy.



Rys. 1. Wzory strukturalne mrówczanu sodu, potasu i cezu

Kationy metali alkalicznych (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cs<sup>+</sup>) są jednowartościowe, co powoduje ich wyjątkową kompatybilność z biopolimerami, jak również przyczynia się do ich nieniszczącego działania na złożę. Ich procentowe rozpuszczalności molowe i wagowe w temperaturze 20 °C pokazano w tabeli 1.

---

\* Poszukiwania Naftowe „Diamant” Sp. z o.o., Zielona Góra

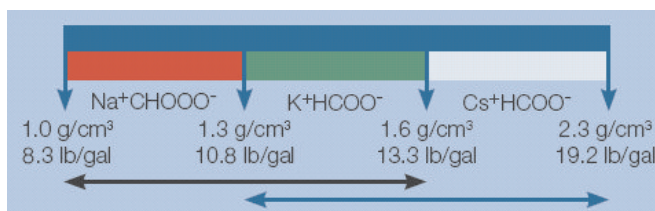
**Tabela 1**

Podstawowe właściwości soli mrówczanów sodu, potasu i cezu

Sól	Wzór	Ciężar cząsteczkowy	Rozpuszczalność w temp. 20 °C		Gęstość roztworu	
		[g/mol]	[mol/l]	[%]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[lb/gal]
Mrówczan sodu	NaCHOO	68,01	9,1	46,8	1,33	11,1
Mrówczan potasu	KCHOO	84,12	14,5	76,8	1,59	13,2
Mrówczan cezu	CsCHOO	177,92	–	–	2,30	19,2
Jednowodzian mrówczanu cezu	CsCHOO · H <sub>2</sub> O	195,94	10,7	83	2,30	19,2
Jon mrówczanowy	CHOO <sup>-</sup>	45,02	–	–	–	–

Aniony mrówczanowe są także dobrymi przeciwutleniaczami (reduktorami), skutecznie inhibując wolne rodniki hydroksylowe. Oznacza to, że solanki mrówczanowe mogą chronić wrażliwe na temperaturę substancje rozpuszczone, takie jak polimery rozpuszczalne w wodzie, przed degradacją tlenową w wysokich temperaturach.

Solanki mrówczanowe zapewniają szeroki zakres gęstości płynów wymaganych w procesie wiercenia, zbrojenia oraz rekonstrukcji otworów wiertniczych (rys. 2). Mrówczany metali alkalicznych w postaci roztworu wywołują efekt nadawania struktury otaczającym cząsteczkom wody, upodabniając ją bardziej do lodu w postaci naturalnej. Ma to korzystny wpływ na konformację rozpuszczonych makrocząsteczek, sprawia, że są bardziej uporządkowane, sztywne i stabilne w wysokich temperaturach. Przykładem może być często dziś używana guma ksantanowa (polimer XCD służący do poprawy właściwości reologicznych), która w skoncentrowanym roztworze soli mrówczanowej jest stabilna do temp. ok. 180 °C przez 16 godzin. Jest to wynik lepszy niż uzyskiwany w przypadku zastosowania innych solanek. Dzięki dodaniu innych przeciwutleniaczy i inhibitorów korozji tlenowej stabilność może wzrosnąć nawet do 204 °C.

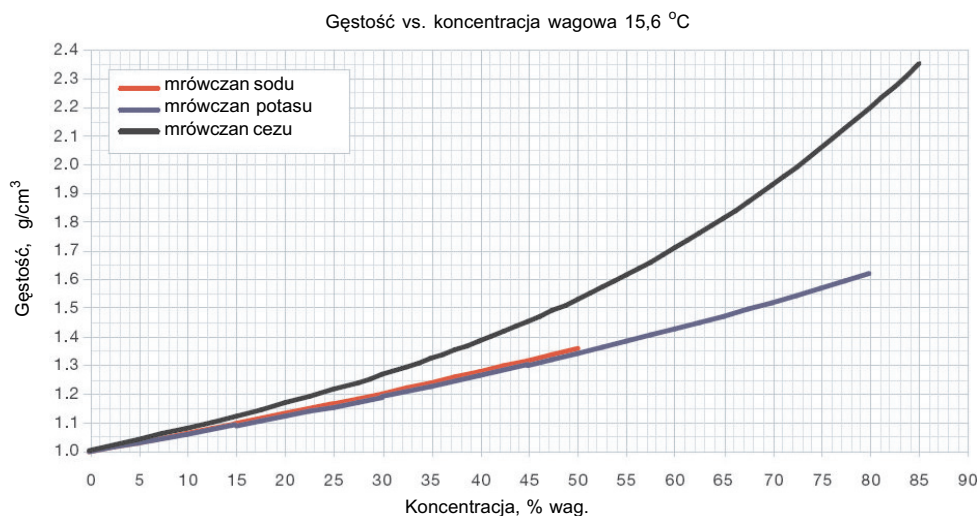


**Rys. 2.** Zakres gęstości, jakie można uzyskać w wyniku rozpuszczania w wodzie soli mrówczanowych oraz ich mieszanek

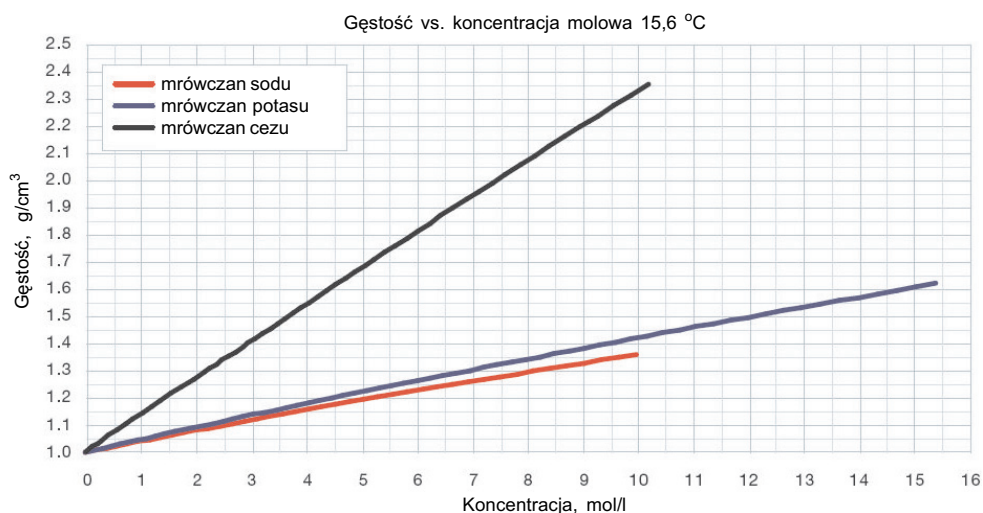
W porównaniu z innymi kationami metali alkalicznych kation cezu jest cięższy i bardziej elektrododatni. Jest on najcięższy spośród stabilnych pierwiastków I grupy z masą atomową 132,9. Jest także najbardziej elektrododatni spośród tych pierwiastków, co sprawia, że mrówczan cezu jest najbardziej jonowy spośród soli mrówczanowych.

## 2. GĘSTOŚCI SOLANEK NA BAZIE MRÓWCZANÓW

Gęstości roztworów mrówczanu potasu, sodu i cezu w temperaturze 15,6 °C pokazane są na rysunku 3 i 4 jako funkcja koncentracji wagowej (% wag.) i koncentracji molowej (mol/l). Pomiary zostały wykonane w laboratorium Westport International w Houston. Jak widać, mimo że mrówczan cezu osiąga w roztworze największe gęstości, mrówczan potasu zapewnia największą molową koncentrację jonów mrówczanowych.



Rys. 3. Gęstości mrówczanu sodu, potasu i cezu jako funkcja koncentracji wagowej (% wag.) tych soli w temperaturze 15,6 °C



Rys. 4. Gęstości mrówczanu sodu, potasu i cezu jako funkcja koncentracji molowej (mol/l) tych soli w temperaturze 15,6 °C

Tabele 2–4 pokazują sposób sporządzania solanek z poszczególnych soli mrówczanowych zapewniający osiągnięcie pożądanej gęstości płynu. Model regresji kwadratowej w równaniu (1) ilustruje dokładne zależności między koncentracją molową mrówczanu i gęstością w przypadku solanki na bazie mrówczanu potasu i sodu, natomiast równanie sześciennego regresji jest najdokładniejsze w przypadku mrówczanu cezu:

$$c = A\rho^3 + B\rho^2 + C\rho + D \quad (1)$$

gdzie:

$c$  – koncentracja wagowa, % wag.,

$\rho$  – gęstość, g/cm<sup>3</sup>,

oraz:

	Mrówczan sodu	Mrówczan potasu	Mrówczan cezu
$A$	0	0	21,98021
$B$	-63,32226	-66,75686	-144,8805
$C$	288,2608	302,5609	353,1301
$D$	-224,796	-235,455	-229,760

Te modele mogą być użyte do przygotowania tabel mieszania zmagazynowanych skoncentrowanych solanek lub soli w postaci proszku. Na podstawie analizy poniższych wzorów można przygotować 1 m<sup>3</sup> solanki o projektowanej gęstości ze zmagazynowanej skoncentrowanej solanki:

$$V_{stock} = \frac{c_{req} \cdot \rho_{req} \cdot 1000}{c_{stock} \cdot \rho_{stock}}, \text{ l} \quad (2)$$

$$V_{water} = \frac{1000 \cdot \rho_{req} - V_{stock} \cdot \rho_{stock}}{0,999}, \text{ l} \quad (3)$$

W przypadku przygotowywania płynu z soli mrówczanowej w postaci proszku należy skorzystać ze wzorów:

$$W_{powder} = \frac{c_{req} \cdot \rho_{req} \cdot 1000}{c_{powder}}, \text{ kg} \quad (4)$$

$$V_{water} = \frac{\rho_{req} \cdot 1000 - W_{powder}}{0,999}, \text{ l} \quad (5)$$

We wzorach (2)–(5) użyto następujących oznaczeń:

- $V_{stock}$  – potrzebna ilość solanki zmagazynowanej, l,
- $V_{water}$  – potrzebna ilość wody, l,
- $c_{req}$  – koncentracja wagowa mrówczanu w nowej solance z równania (1), % wag.,
- $c_{stock}$  – koncentracja wagowa mrówczanu w solance zmagazynowanej (1), % wag.,
- $c_{powder}$  – koncentracja wagowa mrówczanu w proszku, % wag.,
- $\rho_{req}$  – gęstość projektowana nowej solanki, g/cm<sup>3</sup>,
- $\rho_{stock}$  – gęstość solanki zmagazynowanej, g/cm<sup>3</sup>,
- $W_{stock}$  – masa solanki zmagazynowanej, kg,
- $W_{powder}$  – masa mrówczanu w proszku, kg.

### 3. TABELE MIESZANIA SOLI MRÓWCZANOWYCH

Korzystając z równań (1)–(5), można przygotować tabele mieszania dla solanek zmagazynowanych i soli w postaci proszku (tab. 2–4). Tabela 2 przedstawia sposób mieszania mrówczanu sodu w postaci proszku o wilgotności ok. 0,3 %. Tabela 3 dotyczy sporządzania solanki z mrówczanu potasu kolejno w postaci standardowej solanki zmagazynowanej o ciężarze właściwym 1,57 g/cm<sup>3</sup>, w postaci bardziej rozcieńczonej o ciężarze 1,54 g/cm<sup>3</sup>, znajdującej zastosowanie zwłaszcza w okresie zimowym, oraz w postaci proszku o wilgotności 0,3% (typowa wilgotność produktu, który leżał w magazynie przez pewien czas). Mrówczan cezu używany jest osobno, jako sól do sporządzenia solanki o wysokim ciężarze właściwym, zazwyczaj jednak jest on mieszany z mrówczanem potasu. Tabela 4 to tabela mieszania mrówczanu cezu jako jedynej soli tworzącej solankę z solanki zmagazynowanej oraz z mrówczanu cezu w postaci proszku, a także zmagazynowanej solanki o ciężarze właściwym 2,20 g/cm<sup>3</sup>. Mrówczan cezu w postaci proszku ma gęstość objętościową ok. 3,19 g/cm<sup>3</sup>, a jego wilgotność to ok. 0,3%.

**Tabela 2**

Tabela sporządzania solanki z mrówczanu sodu w postaci proszku o wilgotności 0,3% H<sub>2</sub>O

Gęstość solanki	Mrówczan sodu			Ilość proszku (0,3% H <sub>2</sub> O) i wody do sporządzenia 1 m <sup>3</sup> solanki	
				proszek	woda
[g/cm <sup>3</sup> ]	[% wag.]	[mol/l]	[% mol]	[kg]	[l]
0,999	0,0	0,00	0,0	0,0	1000,0
1,000	0,1	0,02	0,0	1,4	999,6
1,010	1,8	0,26	0,5	17,8	993,2
1,020	3,3	0,50	0,9	34,3	986,7
1,030	4,9	0,75	1,4	51,0	980,0
1,040	6,5	0,99	1,8	67,9	973,1

Tabela 2 cd.

Gęstość solanki	Mrówczan sodu			Ilość proszku (0,3% H <sub>2</sub> O) i wody do sporządzenia 1 m <sup>3</sup> solanki	
				proszek	woda
[g/cm <sup>3</sup> ]	[% wag.]	[mol/l]	[% mol]	[kg]	[l]
1,050	8,1	1,25	2,3	84,9	966,0
1,060	9,6	1,50	2,7	102,2	958,8
1,070	11,1	1,75	3,2	119,6	951,3
1,080	12,7	2,01	3,7	137,2	943,7
1,090	14,2	2,27	4,2	155,0	936,0
1,100	15,7	2,53	4,7	172,9	928,0
1,110	17,2	2,80	5,2	191,0	919,9
1,120	18,6	3,07	5,7	209,2	911,7
1,130	20,1	3,34	6,2	227,6	903,3
1,140	21,5	3,61	6,8	246,2	894,7
1,150	23,0	3,88	7,3	264,8	886,0
1,160	24,4	4,16	7,9	283,7	877,2
1,170	25,8	4,44	8,4	302,6	868,2
1,180	27,2	4,72	9,0	321,7	859,1
1,190	28,6	5,00	9,6	340,9	849,9
1,200	29,9	5,28	10,2	360,3	840,6
1,210	31,3	5,57	10,8	379,7	831,1
1,220	32,6	5,85	11,4	399,3	821,5
1,230	34,0	6,14	12,0	419,0	811,8
1,240	35,3	6,43	12,6	438,8	802,0
1,250	36,6	6,73	13,3	458,7	792,1
1,260	37,9	7,02	13,9	478,8	782,0
1,270	39,2	7,31	14,6	498,9	771,9
1,280	40,4	7,61	15,2	519,1	761,7
1,290	41,7	7,91	15,9	539,4	751,4
1,300	42,9	8,21	16,6	559,7	741,0
1,310	44,2	8,51	17,3	580,2	730,5
1,320	45,4	8,81	18,0	600,8	720,0
1,330	46,6	9,11	18,8	621,4	709,3
1,340	47,8	9,41	19,5	642,1	698,6
1,350	49,0	9,72	20,3	662,8	687,9
1,360	50,1	10,02	21,0	683,7	677,0

**Tabela 3**

Tabela sporządzania solanki z mrówczanu potasu w postaci solanki zmagazynowanej o gęstości 1,57 g/cm<sup>3</sup>, rozcieńczonej solanki zmagazynowanej o gęstości 1,54 g/cm<sup>3</sup>, oraz proszku o wilgotności 0,3% H<sub>2</sub>O

Gęstość solanki	Mrówczan potasu			Ilość solanki zmagazynowanej (1,57 g/cm <sup>3</sup> ) i wody do sporządzenia 1 m <sup>3</sup> solanki		Ilość solanki zmagazynowanej (1,54 g/cm <sup>3</sup> ) i wody do sporządzenia 1 m <sup>3</sup> solanki		Ilości proszku (0,3% H <sub>2</sub> O) i wody do sporządzenia 1 m <sup>3</sup> solanki	
				solanka	woda	solanka	woda	proszek	woda
[g/cm <sup>3</sup> ]	[% wag.]	[mol/l]	[% mol]	[l]	[l]	[l]	[l]	[kg]	[l]
0,999	0,0	0,0	0,0	0,0	1,000	0,0	1,000	0,0	1,000
1,000	0,3	0,0	0,1	3,0	996,3	3,1	996,2	3,5	997,5
1,010	2,0	0,2	0,4	17,4	983,6	18,5	982,5	20,6	990,4
1,020	3,7	0,4	0,8	32,1	970,6	34,0	968,6	37,9	983,1
1,030	5,4	0,7	1,2	46,9	957,4	49,7	954,5	55,4	975,6
1,040	7,0	0,9	1,6	61,8	943,8	65,5	940,0	73,1	967,9
1,050	8,6	1,1	2,0	77,0	930,1	81,6	925,3	90,9	960,0
1,060	10,3	1,3	2,4	92,3	916,1	97,8	910,3	109,0	952,0
1,070	11,9	1,5	2,8	107,7	901,8	114,1	895,1	127,2	943,7
1,080	13,4	1,7	3,2	123,3	887,3	130,7	879,7	145,6	935,3
1,090	15,0	1,9	3,6	139,0	872,6	147,3	864,0	164,2	926,7
1,100	16,6	2,2	4,1	154,9	857,6	164,2	848,0	183,0	917,9
1,110	18,1	2,4	4,5	170,9	842,5	181,1	831,9	201,9	909,0
1,120	19,7	2,6	5,0	187,1	827,1	198,3	815,5	221,0	899,9
1,130	21,2	2,8	5,4	203,4	811,5	215,5	798,9	240,2	890,6
1,140	22,7	3,1	5,9	219,8	795,7	232,9	782,1	259,6	881,2
1,150	24,2	3,3	6,4	236,3	779,7	250,4	765,1	279,2	871,7
1,160	25,7	3,5	6,9	253,0	763,5	268,1	747,9	298,9	862,0
1,170	27,2	3,8	7,4	269,8	747,2	285,9	730,4	318,7	852,2
1,180	28,6	4,0	7,9	286,7	730,6	303,8	712,8	338,7	842,2
1,190	30,1	4,3	8,4	303,7	713,9	321,8	695,1	358,8	832,1
1,200	31,5	4,5	9,0	320,8	697,0	340,0	677,1	379,0	821,8
1,210	32,9	4,7	9,5	338,1	679,9	358,2	659,0	399,3	811,5
1,220	34,3	5,0	10,1	355,4	662,7	376,6	640,7	419,8	801,0
1,230	35,7	5,2	10,6	372,8	645,3	395,1	622,2	440,4	790,4
1,240	37,1	5,5	11,2	390,3	627,8	413,7	603,6	461,1	779,7
1,250	38,4	5,7	11,8	408,0	610,1	432,3	584,8	481,9	768,8
1,260	39,8	6,0	12,4	425,7	592,3	451,1	565,9	502,8	757,9
1,270	41,1	6,2	13,0	443,5	574,3	469,9	546,8	523,9	746,9

Tabela 3 cd.

Gęstość solanki	Mrówczan potasu			Ilość solanki zmagazynowanej (1,57 g/cm <sup>3</sup> ) i wody do sporządzenia 1 m <sup>3</sup> solanki		Ilość solanki zmagazynowanej (1,54 g/cm <sup>3</sup> ) i wody do sporządzenia 1 m <sup>3</sup> solanki		Ilości proszku (0,3% H <sub>2</sub> O) i wody do sporządzenia 1 m <sup>3</sup> solanki	
				solanka	woda	solanka	woda	proszek	woda
	[g/cm <sup>3</sup> ]	[% wag.]	[mol/l]	[% mol]	[l]	[l]	[l]	[l]	[kg]
1,280	42,4	6,5	13,6	461,3	556,3	488,9	527,6	545,0	735,8
1,290	43,8	6,7	14,3	479,3	538,1	507,9	508,3	566,2	724,5
1,300	45,1	7,0	14,9	497,3	519,7	527,0	488,9	587,5	713,2
1,310	46,3	7,2	15,6	515,4	501,3	546,2	469,3	608,9	701,8
1,320	47,6	7,5	16,3	533,6	482,8	565,4	449,7	630,3	690,4
1,330	48,9	7,7	17,0	551,8	464,1	584,8	429,9	651,9	678,8
1,340	50,1	8,0	17,7	570,1	445,4	604,2	410,0	673,5	667,2
1,350	51,3	8,2	18,4	588,5	426,6	623,6	390,0	695,1	655,5
1,360	52,6	8,5	19,2	606,9	407,6	643,1	370,0	716,9	643,8
1,370	53,8	8,8	19,9	625,3	388,6	662,7	349,8	738,7	631,9
1,380	54,9	9,0	20,7	643,8	369,6	682,3	329,6	760,6	620,1
1,390	56,1	9,3	21,5	662,4	350,4	701,9	309,3	782,5	608,1
1,400	57,3	9,5	22,3	681,0	331,2	721,6	289,0	804,4	596,2
1,410	58,4	9,8	23,1	699,6	311,9	741,4	268,6	826,4	584,1
1,420	59,6	10,1	24,0	718,3	292,6	761,2	248,1	848,5	572,1
1,430	60,7	10,3	24,9	737,0	273,3	781,0	227,5	870,6	560,0
1,440	61,8	10,6	25,7	755,7	253,8	800,8	207,0	892,7	547,9
1,450	62,9	10,8	26,6	774,4	234,4	820,7	186,4	914,8	535,7
1,460	64,0	11,1	27,6	793,2	214,9	840,6	165,7	937,0	523,5
1,470	65,1	11,4	28,5	812,0	195,4	860,5	145,0	959,2	511,3
1,480	66,1	11,6	29,5	830,8	175,9	880,4	124,3	981,4	499,1
1,490	67,2	11,9	30,5	849,6	156,3	900,3	103,6	1003,6	486,9
1,500	68,2	12,2	31,5	868,4	136,8	920,2	82,9	1025,8	474,6
1,510	69,2	12,4	32,5	887,2	117,2	940,2	62,2	1048,1	462,4
1,520	70,2	12,7	33,5	906,0	97,6	960,1	41,4	1070,3	450,2
1,530	71,2	12,9	34,6	924,8	78,1	980,1	20,7	1092,5	437,9
1,540	72,7	13,2	35,7	943,6	58,5	1000,0	0,0	1114,7	425,7
1,550	73,1	13,5	36,8	962,4	39,0	–	–	1136,9	413,5
1,560	74,1	13,7	38,0	981,2	19,5	–	–	1159,1	401,3
1,570	75,0	14,0	39,1	1000,0	0,0	–	–	1181,3	389,1
1,580	75,9	14,3	40,3	–	–	–	–	1203,5	376,9
1,590	76,8	14,5	41,6	–	–	–	–	1225,6	364,8
1,600	77,7	14,8	42,8	–	–	–	–	1247,7	352,7



Tabela 4

Tabela sporządzania solanki z mrówczanu cezu w postaci solanki zmagazynowanej o gęstości  $2,20 \text{ g/cm}^3$  oraz proszku o wilgotności  $0,3\% \text{ H}_2\text{O}$

Gęstość solanki	Mrówczan cezu			Ilość solanki zmagazynowanej ( $2,20 \text{ g/cm}^3$ ) i wody do sporządzenia $1 \text{ m}^3$ solanki		Ilość proszku ( $0,3\% \text{ H}_2\text{O}$ ) i wody do sporządzenia $1 \text{ m}^3$ solanki	
				solanka	woda	proszek	woda
$[\text{g/cm}^3]$	$[\% \text{ wag.}]$	$[\text{mol/l}]$	$[\% \text{ mol}]$	$[\text{l}]$	$[\text{l}]$	$[\text{kg}]$	$[\text{l}]$
0,999	0,0	0,0	0,0	0,0	1,000	0,0	1,000
1,000	0,5	0,0	0,0	2,7	995,1	4,7	996,3
1,010	1,8	0,1	0,2	10,1	988,8	17,8	993,2
1,020	3,0	0,2	0,3	17,5	982,4	30,9	990,0
1,030	4,3	0,2	0,5	25,1	975,8	44,2	986,8
1,040	5,5	0,3	0,6	32,6	969,2	57,6	983,4
1,050	6,7	0,4	0,7	40,2	962,4	71,0	980,0
1,060	7,9	0,5	0,9	47,9	955,6	84,5	976,5
1,070	9,1	0,5	1,0	55,6	948,6	98,1	972,9
1,080	10,3	0,6	1,2	63,4	941,5	111,8	969,2
1,090	11,5	0,7	1,3	71,2	934,4	125,6	965,4
1,100	12,6	0,8	1,4	79,0	927,1	139,4	961,6
1,110	13,8	0,9	1,6	86,9	919,8	153,3	957,7
1,120	14,9	0,9	1,7	94,8	912,3	167,3	953,7
1,130	16,0	1,0	1,9	102,8	904,8	181,3	949,7
1,140	17,1	1,1	2,0	110,7	897,3	195,4	945,6
1,155	18,7	1,2	2,3	122,6	885,9	216,3	939,4
1,160	19,2	1,3	2,4	126,8	881,9	223,7	937,2
1,170	20,3	1,3	2,5	134,9	874,1	238,0	932,9
1,180	21,3	1,4	2,7	143,0	866,3	252,3	928,6
1,190	22,3	1,5	2,8	151,1	858,3	266,6	924,3
1,200	23,4	1,6	3,0	159,3	850,4	281,0	919,9
1,210	24,3	1,7	3,2	167,5	842,4	295,5	915,4
1,220	25,3	1,7	3,3	175,7	834,3	310,0	910,9
1,230	26,3	1,8	3,5	183,9	826,2	324,5	906,4
1,240	27,3	1,9	3,7	192,2	818,0	339,1	901,8
1,250	28,2	2,0	3,8	200,5	809,8	353,7	897,2
1,260	29,1	2,1	4,0	208,8	801,5	368,3	892,6
1,270	30,1	2,1	4,2	217,1	793,3	382,9	888,0
1,280	31,0	2,2	4,3	225,4	784,9	397,6	883,3
1,290	31,9	2,3	4,5	233,7	776,6	412,3	878,6

Tabela 4 cd.

Gęstość solanki	Mrówczan cezu			Ilość solanki zmagazynowanej (2,20 g/cm <sup>3</sup> ) i wody do sporządzenia 1 m <sup>3</sup> solanki		Ilość proszku (0,3% H <sub>2</sub> O) i wody do sporządzenia 1 m <sup>3</sup> solanki	
				solanka	woda	proszek	woda
[g/cm <sup>3</sup> ]	[% wag.]	[mol/l]	[% mol]	[l]	[l]	[kg]	[l]
1,300	32,8	2,4	4,7	242,1	768,2	427,1	873,8
1,310	33,6	2,5	4,9	250,4	759,8	441,8	869,1
1,320	34,5	2,6	5,1	258,8	751,4	456,6	864,3
1,330	35,3	2,6	5,2	267,2	742,9	471,4	859,5
1,340	36,2	2,7	5,4	275,6	734,4	486,2	854,7
1,350	37,0	2,8	5,6	284,0	725,9	501,0	849,8
1,360	37,8	2,9	5,8	292,4	717,4	515,9	845,0
1,370	38,6	3,0	6,0	300,8	708,9	530,7	840,1
1,380	39,4	3,1	6,2	309,2	700,4	545,6	835,3
1,390	40,2	3,1	6,4	317,7	691,8	560,4	830,4
1,400	41,0	3,2	6,6	326,1	683,3	575,3	825,5
1,410	41,7	3,3	6,8	334,5	674,7	590,2	820,6
1,420	42,5	3,4	7,0	343,0	666,1	605,1	815,7
1,430	43,2	3,5	7,2	351,4	657,5	620,0	810,8
1,440	44,0	3,6	7,4	359,9	648,9	634,9	805,9
1,450	44,7	3,6	7,6	368,3	640,4	649,8	801,0
1,460	45,4	3,7	7,8	376,8	631,8	664,7	796,1
1,470	46,1	3,8	8,0	385,2	623,2	679,6	791,2
1,480	46,8	3,9	8,2	393,6	614,6	694,5	786,3
1,490	47,5	4,0	8,4	402,1	606,0	709,3	781,4
1,500	48,1	4,1	8,6	410,5	597,5	724,2	776,5
1,510	48,8	4,1	8,8	419,0	588,9	739,1	771,6
1,520	49,5	4,2	9,0	427,4	580,3	754,0	766,8
1,530	50,1	4,3	9,2	435,8	571,8	768,9	761,9
1,540	50,7	4,4	9,4	444,2	563,2	783,7	757,0
1,550	51,4	4,5	9,7	452,7	554,7	798,6	752,1
1,560	52,0	4,6	9,9	461,1	546,1	813,5	747,3
1,570	52,6	4,6	10,1	469,5	537,6	828,3	742,4
1,580	53,2	4,7	10,3	477,9	529,1	843,1	737,6
1,590	53,8	4,8	10,5	486,3	520,6	858,0	732,8
1,600	54,4	4,9	10,8	494,7	512,1	872,8	727,9
1,620	55,5	5,1	11,2	511,5	495,2	902,4	718,3

Tabela 4 cd.

1,630	56,1	5,1	11,5	519,9	486,7	917,2	713,5
1,640	56,7	5,2	11,7	528,3	478,3	932,0	708,7
1,650	57,2	5,3	11,9	536,6	469,9	946,7	704,0
1,660	57,7	5,4	12,2	545,0	461,5	961,5	699,2
1,670	58,3	5,5	12,4	553,4	453,0	976,2	694,4
1,680	58,8	5,6	12,6	561,7	444,7	991,0	689,7
1,690	59,3	5,6	12,9	570,1	436,3	1005,7	685,0
1,700	59,8	5,7	13,1	578,4	427,9	1020,4	680,2
1,710	60,4	5,8	13,4	586,8	419,6	1035,1	675,5
1,720	60,9	5,9	13,6	595,1	411,2	1049,9	670,8
1,730	61,3	6,0	13,8	603,4	402,9	1064,5	666,1
1,740	61,8	6,0	14,1	611,7	394,6	1079,2	661,4
1,750	62,3	6,1	14,3	620,1	386,2	1093,9	656,7
1,760	62,8	6,2	14,6	628,4	377,9	1108,6	652,1
1,770	63,3	6,3	14,9	636,7	369,7	1123,2	647,4
1,780	63,7	6,4	15,1	645,0	361,4	1137,9	642,7
1,790	64,2	6,5	15,4	653,3	353,1	1152,6	638,1
1,800	64,7	6,5	15,6	661,6	344,8	1167,2	633,4
1,810	65,1	6,6	15,9	669,9	336,5	1181,9	628,8
1,820	65,5	6,7	16,2	678,2	328,3	1196,5	624,1
1,830	66,0	6,8	16,4	686,5	320,0	1211,1	619,5
1,840	66,4	6,9	16,7	694,8	311,7	1225,8	614,8
1,850	66,8	7,0	17,0	703,1	303,5	1240,4	610,2
1,860	67,3	7,0	17,2	711,4	295,2	1255,0	605,6
1,870	67,7	7,1	17,5	719,7	287,0	1269,7	600,9
1,880	68,1	7,2	17,8	728,0	278,7	1284,3	596,3
1,890	68,5	7,3	18,1	736,3	270,4	1299,0	591,6
1,900	68,9	7,4	18,3	744,6	262,1	1313,6	587,0
1,910	69,3	7,4	18,6	752,9	253,8	1328,3	582,3
1,920	69,7	7,5	18,9	761,2	245,5	1343,0	577,6
1,930	70,1	7,6	19,2	769,6	237,2	1357,6	572,9
1,940	70,5	7,7	19,5	777,9	228,9	1372,3	568,2
1,950	70,9	7,8	19,8	786,2	220,6	1387,0	563,5
1,960	71,3	7,9	20,1	794,6	212,2	1401,7	558,8
1,970	71,7	7,9	20,4	802,9	203,8	1416,5	554,1
1,980	72,1	8,0	20,7	811,3	195,4	1431,2	549,3
1,990	72,4	8,1	21,0	819,6	187,0	1446,0	544,5
2,000	72,8	8,2	21,3	828,0	178,5	1460,8	539,8

Tabela 4 cd.

Gęstość solanki	Mrówczan cezu			Ilość solanki zmagazynowanej (2,20 g/cm <sup>3</sup> ) i wody do sporządzenia 1 m <sup>3</sup> solanki		Ilość proszku (0,3% H <sub>2</sub> O) i wody do sporządzenia 1 m <sup>3</sup> solanki	
				solanka	woda	proszek	woda
[g/cm <sup>3</sup> ]	[% wag.]	[mol/l]	[% mol]	[l]	[l]	[kg]	[l]
2,010	73,2	8,3	21,7	836,4	170,1	1475,6	534,9
2,020	73,6	8,4	22,0	844,8	161,5	1490,4	530,1
2,030	73,9	8,4	22,3	853,2	153,0	1505,3	525,2
2,040	74,3	8,5	22,6	861,7	144,4	1520,2	520,3
2,050	74,7	8,6	23,0	870,1	135,8	1535,1	515,4
2,060	75,0	8,7	23,3	878,6	127,1	1550,1	510,4
2,070	75,4	8,8	23,7	887,1	118,4	1565,1	505,4
2,080	75,7	8,9	24,0	895,6	109,7	1580,1	500,4
2,090	76,1	8,9	24,4	904,2	100,9	1595,2	495,3
2,100	76,4	9,0	24,7	912,7	92,0	1610,3	490,2
2,110	76,8	9,1	25,1	921,3	83,1	1625,4	485,1
2,120	77,2	9,2	25,5	930,0	74,2	1640,6	479,9
2,130	77,5	9,3	25,9	938,6	65,2	1655,9	474,6
2,140	77,9	9,4	26,3	947,3	56,1	1671,2	469,3
2,150	78,2	9,5	26,7	956,0	46,9	1686,5	463,9
2,160	78,6	9,5	27,1	964,7	37,7	1701,9	458,5
2,170	78,9	9,6	27,5	973,5	28,4	1717,4	453,1
2,180	79,3	9,7	27,9	982,3	19,0	1732,9	447,5
2,190	79,6	9,8	28,3	991,1	9,5	1748,5	441,9
2,200	80,0	9,9	28,8	1,000	0,0	1764,2	436,2
2,210	80,3	10,0	29,2	–	–	1779,9	430,5
2,220	80,6	10,1	29,7	–	–	1795,7	424,7
2,230	81,0	10,2	30,1	–	–	1811,6	418,8
2,240	81,3	10,2	30,6	–	–	1827,6	412,8
2,250	81,7	10,3	31,1	–	–	1843,6	406,8
2,260	82,0	10,4	31,6	–	–	1859,8	400,6
2,270	82,4	10,5	32,2	–	–	1876,0	394,4
2,280	82,7	10,6	32,7	–	–	1892,3	388,1
2,290	83,1	10,7	33,2	–	–	1908,7	381,7
2,300	83,5	10,8	33,8	–	–	1925,2	375,1

#### 4. GĘSTOŚĆ MIESZANINY MRÓWCZANU POTASU I CEZU

W przypadku większości zastosowań mieszanina zmagazynowanych roztworów soli mrówczanów potasu ( $1,57 \text{ g/cm}^3$ ) i cezu ( $2,20 \text{ g/cm}^3$ ) jest wystarczająca do zapewnienia całego zakresu gęstości płynów wiertniczych. W celu otrzymania niższej temperatury krzepnięcia w mniejszych gęstościach (poniżej  $1,90 \text{ g/cm}^3$ ) można rozcieńczyć wodą roztwór zmagazynowany mrówczanu potasu.

W przypadku wyższych gęstości (powyżej  $1,90 \text{ g/cm}^3$ ) rozcieńczać wodą należy sam zmagazynowany roztwór mrówczanu cezu. Zmniejszenie objętości w czasie mieszania tych dwóch solanek jest zanedbywalne, a zależność pomiędzy gęstością a stosunkiem zawartości mrówczanu potasu do mrówczanu cezu przyjmuje charakter liniowy. W celu obliczenia ilości mrówczanu potasu i cezu potrzebnych do przygotowania mieszaniny soli o projektowanej gęstości można zastosować równania:

$$V_{KFO} = \frac{\rho_{CsFo} - \rho_{req}}{\rho_{CsFo} - \rho_{KFO}} \cdot 1000, \text{ l} \quad (6)$$

$$W_{KFO} = V_{KFO} \cdot \rho_{KFO}, \text{ kg} \quad (7)$$

$$V_{CsFo} = \frac{\rho_{req} - \rho_{KFO}}{\rho_{CsFo} - \rho_{KFO}} \cdot 1000, \text{ l} \quad (8)$$

$$W_{CsFo} = V_{CsFo} \cdot \rho_{CsFo}, \text{ kg} \quad (9)$$

gdzie:

$W$  – masa, kg,

$\rho$  – gęstość,  $\text{g/cm}^3$ ,

$V$  – objętość, l.

Tabela mieszania dotycząca najczęściej używanej mieszanki mrówczanów potasu i cezu ( $1,57 \text{ g/cm}^3$  – mrówczan potasu i  $2,20 \text{ g/cm}^3$  – mrówczan cezu) pokazana jest w tabeli 5. Tabela 6 obrazuje sposób sporządzania solanki z mieszaniny z rozcieńczonym mrówczanem potasu ( $1,54 \text{ g/cm}^3$ ), powszechnie stosowanym w okresie zimowym na terenie Wielkiej Brytanii i Morza Północnego, oraz mrówczanu cezu. Istnieją także tabele mieszania mrówczanu potasu z mrówczanem sodu, jednak ze względu na ich niezgodność z rzeczywistością i badaniami sprawdzającymi w różnych laboratoriach nie są one wiarygodne.

Tabela 5

Tabela sporządzania solanki z mieszaniny mrówczanu cezu ( $2,20 \text{ g/cm}^3$ )  
i mrówczanu potasu ( $1,57 \text{ g/cm}^3$ )

Gęstość solanki	Solanka na bazie mrówczanu potasu	Solanka na bazie mrówczanu cezu	Mrówczan potasu	Mrówczan cezu	Woda	K <sup>+</sup>	Cs <sup>+</sup>	HCOO <sup>-</sup>	Ilość mrówczanu potasu i cezu do sporządzenia 1 m <sup>3</sup> solanki	
									mrówczan potasu	mrówczan cezu
[g/cm <sup>3</sup> ]	[% wag.]	[% wag.]	[% wag.]	[% wag.]	[% wag.]	[mol/l]	[mol/l]	[mol/l]	[l]	[l]
1,570	100,0	0,0	75,0	0,0	25,0	14,0	0,0	14,0	1000,0	0,0
1,580	98,4	1,6	73,8	1,3	24,9	13,9	0,1	14,0	984,1	15,9
1,590	96,8	3,2	72,6	2,5	24,8	13,7	0,2	14,0	968,3	31,7
1,600	95,2	4,8	71,4	3,8	24,7	13,6	0,3	13,9	952,4	47,6
1,610	93,7	6,3	70,3	5,1	24,7	13,4	0,5	13,9	936,5	63,5
1,620	92,1	7,9	69,1	6,3	24,6	13,3	0,6	13,9	920,6	79,4
1,630	90,5	9,5	67,9	7,6	24,5	13,2	0,7	13,8	904,8	95,2
1,640	88,9	11,1	66,7	8,9	24,4	13,0	0,8	13,8	888,9	111,1
1,650	87,3	12,7	65,5	10,2	24,4	12,8	0,9	13,8	873,0	127,0
1,660	85,7	14,3	64,3	11,4	24,3	12,7	1,1	13,8	857,1	142,9
1,670	84,1	15,9	63,1	12,7	24,2	12,5	1,2	13,7	841,3	158,7
1,680	82,5	17,5	61,9	14,0	24,1	12,4	1,3	13,7	825,4	174,6
1,690	81,0	19,0	60,7	15,2	24,0	12,2	1,4	13,6	809,5	190,5
1,700	79,4	20,6	59,5	16,5	24,0	12,0	1,6	13,6	793,7	206,3
1,710	77,8	22,2	58,3	17,8	23,9	11,9	1,7	13,6	777,8	222,2
1,720	76,2	23,8	57,2	19,0	23,8	11,7	1,8	13,5	761,9	238,1
1,730	74,6	25,4	56,0	20,3	23,7	11,5	2,0	13,5	746,0	254,0
1,740	73,0	27,0	54,8	21,6	23,7	11,3	2,1	13,4	730,2	269,8
1,750	71,4	28,6	53,6	22,8	23,6	11,1	2,2	13,4	714,3	285,7
1,760	69,8	30,2	52,4	24,1	23,5	11,0	2,4	13,3	698,4	301,6
1,770	68,3	31,7	51,2	25,4	23,4	10,8	2,5	13,3	682,5	317,5
1,780	66,7	33,3	50,0	26,7	23,3	10,6	2,7	13,2	666,7	333,3
1,790	65,1	34,9	48,8	27,9	23,3	10,4	2,8	13,2	650,8	349,2

Tabela 5 cd.

1,800	63,5	36,5	47,6	29,2	23,2	10,2	3,0	13,1	634,9	365,1
1,810	61,9	38,1	46,4	30,5	23,1	10,0	3,1	13,1	619,0	381,0
1,820	60,3	39,7	45,2	31,7	23,0	9,8	3,2	13,0	603,2	396,8
1,830	58,7	41,3	44,1	33,0	22,9	9,6	3,4	13,0	587,3	412,7
1,840	57,1	42,9	42,9	34,3	22,9	9,4	3,5	12,9	571,4	428,6
1,850	55,6	44,4	41,7	35,5	22,8	9,2	3,7	12,9	555,6	444,4
1,860	54,0	46,0	40,5	36,8	22,7	9,0	3,8	12,8	539,7	460,3
1,870	52,4	47,6	39,3	38,1	22,6	8,7	4,0	12,7	523,8	476,2
1,880	50,8	49,2	38,1	39,3	22,6	8,5	4,2	12,7	507,9	492,1
1,890	49,2	50,8	36,9	40,6	22,5	8,3	4,3	12,6	492,1	507,9
1,900	47,6	52,4	35,7	41,9	22,4	8,1	4,5	12,5	476,2	523,8
1,910	46,0	54,0	34,5	43,1	22,3	7,8	4,6	12,5	460,3	539,7
1,920	44,4	55,6	33,3	44,4	22,2	7,6	4,8	12,4	444,4	555,6
1,930	42,9	57,1	32,1	45,7	22,2	7,4	5,0	12,3	428,6	571,4
1,940	41,3	58,7	31,0	47,0	22,1	7,1	5,1	12,3	412,7	587,3
1,950	39,7	60,3	29,8	48,2	22,0	6,9	5,3	12,2	396,8	603,2
1,960	38,1	61,9	28,6	49,5	21,9	6,7	5,5	12,1	381,0	619,0
1,970	36,5	63,5	27,4	50,8	21,9	6,4	5,6	12,0	365,1	634,9
1,980	34,9	65,1	26,2	52,0	21,8	6,2	5,8	12,0	349,2	650,8
1,990	33,3	66,7	25,0	53,3	21,7	5,9	6,0	11,9	333,3	666,7
2,000	31,7	68,3	23,8	54,6	21,6	5,7	6,1	11,8	317,5	682,5
2,010	30,2	69,8	22,6	55,8	21,5	5,4	6,3	11,7	301,6	698,4
2,020	28,6	71,4	21,4	57,1	21,5	5,1	6,5	11,6	285,7	714,3
2,030	27,0	73,0	20,2	58,4	21,4	4,9	6,7	11,5	269,8	730,2
2,040	25,4	74,6	19,1	59,6	21,3	4,6	6,8	11,5	254,0	746,0
2,050	23,8	76,2	17,9	60,9	21,2	4,4	7,0	11,4	238,1	761,9
2,060	22,2	77,8	16,7	62,2	21,1	4,1	7,2	11,3	222,2	777,8
2,070	20,6	79,4	15,5	63,5	21,1	3,8	7,4	11,2	206,3	793,7
2,080	19,0	81,0	14,3	64,7	21,0	3,5	7,6	11,1	190,5	809,5
2,090	17,5	82,5	13,1	66,0	20,9	3,3	7,8	11,0	174,6	825,4
2,100	15,9	84,1	11,9	67,3	20,8	3,0	7,9	10,9	158,7	841,3
2,110	14,3	85,7	10,7	68,5	20,8	2,7	8,1	10,8	142,9	857,1

Tabela 5 cd.

Gęstość solanki	Solanka na bazie mrówczanu potasu	Solanka na bazie mrówczanu cezu	Mrówczan potasu	Mrówczan cezu	Woda	K <sup>+</sup>	Cs <sup>+</sup>	HCOO <sup>-</sup>	Ilość mrówczanu potasu i cezu do sporządzenia 1 m <sup>3</sup> solanki	
									mrówczan potasu	mrówczan cezu
[g/cm <sup>3</sup> ]	[% wag.]	[% wag.]	[% wag.]	[% wag.]	[% wag.]	[mol/l]	[mol/l]	[mol/l]	[l]	[l]
2,120	12,7	87,3	9,5	69,8	20,7	2,4	8,3	10,7	127,0	873,0
2,130	11,1	88,9	8,3	71,1	20,6	2,1	8,5	10,6	111,1	888,9
2,140	9,5	90,5	7,1	72,3	20,5	1,8	8,7	10,5	95,2	904,8
2,150	7,9	92,1	6,0	73,6	20,4	1,5	8,9	10,4	79,4	920,6
2,160	6,3	93,7	4,8	74,9	20,4	1,2	9,1	10,3	63,5	936,5
2,170	4,8	95,2	3,6	76,1	20,3	0,9	9,3	10,2	47,6	952,4
2,180	3,2	96,8	2,4	77,4	20,2	0,6	9,5	10,1	31,7	968,3
2,190	1,6	98,4	1,2	78,7	20,1	0,3	9,7	10,0	15,9	984,1
2,200	0,0	100,0	0,0	80,0	20,0	0,0	9,9	9,9	0,0	1000,0

Tabela 6

Tabela sporządzania solanki z mieszaniny mrówczanu cezu (2,20 g/cm<sup>3</sup>) i mrówczanu potasu (1,54 g/cm<sup>3</sup>)

Gęstość solanki	Solanka na bazie mrówczanu potasu	Solanka na bazie mrówczanu cezu	Mrówczan potasu	Mrówczan cezu	Woda	K <sup>+</sup>	Cs <sup>+</sup>	HCOO <sup>-</sup>	Ilość mrówczanu potasu i cezu do sporządzenia 1 m <sup>3</sup> solanki	
									mrówczan potasu	mrówczan cezu
[g/cm <sup>3</sup> ]	[% wag.]	[% wag.]	[% wag.]	[% wag.]	[% wag.]	[mol/l]	[mol/l]	[mol/l]	[l]	[l]
1,54	100,0	0,0	72,2	0,0	27,8	13,2	0,0	13,2	1000,0	0,0
1,55	98,5	1,5	71,1	1,2	27,7	13,1	0,1	13,2	984,8	15,2
1,56	97,0	3,0	70,0	2,4	27,6	13,0	0,2	13,2	969,7	30,3
1,57	95,5	4,5	68,9	3,6	27,5	12,9	0,3	13,2	954,5	45,5
1,58	93,9	6,1	67,8	4,8	27,4	12,7	0,4	13,2	939,4	60,6



Tabela 6 cd.

1,59	92,4	7,6	66,7	6,1	27,2	12,6	0,5	13,1	924,2	75,8
1,60	90,9	9,1	65,6	7,3	27,1	12,5	0,7	13,1	909,1	90,9
1,61	89,4	10,6	64,5	8,5	27,0	12,3	0,8	13,1	893,9	106,1
1,62	87,9	12,1	63,4	9,7	26,9	12,2	0,9	13,1	878,8	121,2
1,63	86,4	13,6	62,3	10,9	26,8	12,1	1,0	13,1	863,6	136,4
1,64	84,8	15,2	61,2	12,1	26,7	11,9	1,1	13,1	848,5	151,5
1,65	83,3	16,7	60,1	13,3	26,5	11,8	1,2	13,0	833,3	166,7
1,66	81,8	18,2	59,0	14,5	26,4	11,7	1,4	13,0	818,2	181,8
1,67	80,3	19,7	58,0	15,7	26,3	11,5	1,5	13,0	803,0	197,0
1,68	78,8	21,2	56,9	17,0	26,2	11,4	1,6	13,0	787,9	212,1
1,69	77,3	22,7	55,8	18,2	26,1	11,2	1,7	12,9	772,7	227,3
1,70	75,8	24,2	54,7	19,4	25,9	11,0	1,9	12,9	757,6	242,4
1,71	74,2	25,8	53,6	20,6	25,8	10,9	2,0	12,9	742,4	257,6
1,72	72,7	27,3	52,5	21,8	25,7	10,7	2,1	12,8	727,3	272,7
1,73	71,2	28,8	51,4	23,0	25,6	10,6	2,2	12,8	712,1	287,9
1,74	69,7	30,3	50,3	24,2	25,5	10,4	2,4	12,8	697,0	303,0
1,75	68,2	31,8	49,2	25,4	25,4	10,2	2,5	12,7	681,8	318,2
1,76	66,7	33,3	48,1	26,7	25,2	10,1	2,6	12,7	666,7	333,3
1,77	65,2	34,8	47,0	27,9	25,1	9,9	2,8	12,7	651,5	348,5
1,78	63,6	36,4	45,9	29,1	25,0	9,7	2,9	12,6	636,4	363,6
1,79	62,1	37,9	44,8	30,3	24,9	9,5	3,0	12,6	621,2	378,8
1,80	60,6	39,4	43,7	31,5	24,8	9,4	3,2	12,5	606,1	393,9
1,81	59,1	40,9	42,6	32,7	24,6	9,2	3,3	12,5	590,9	409,1
1,82	57,6	42,4	41,6	33,9	24,5	9,0	3,5	12,5	575,8	424,2
1,83	56,1	43,9	40,5	35,1	24,4	8,8	3,6	12,4	560,6	439,4
1,84	54,5	45,5	39,4	36,3	24,3	8,6	3,8	12,4	545,5	454,5
1,85	53,0	47,0	38,3	37,6	24,2	8,4	3,9	12,3	530,3	469,7
1,86	51,5	48,5	37,2	38,8	24,1	8,2	4,1	12,3	515,2	484,8
1,87	50,0	50,0	36,1	40,0	23,9	8,0	4,2	12,2	500,0	500,0
1,88	48,5	51,5	35,0	41,2	23,8	7,8	4,4	12,2	484,8	515,2
1,89	47,0	53,0	33,9	42,4	23,7	7,6	4,5	12,1	469,7	530,3
1,90	45,5	54,5	32,8	43,6	23,6	7,4	4,7	12,1	454,5	545,5

Tabela 6 cd.

Gęstość solanki	Solanka na bazie mrówczanu potasu	Solanka na bazie mrówczanu cezu	Mrówczan potasu	Mrówczan cezu	Woda	K <sup>+</sup>	Cs <sup>+</sup>	HCOO <sup>-</sup>	Ilość mrówczanu potasu i cezu do sporządzenia 1 m <sup>3</sup> solanki	
									mrówczan potasu	mrówczan cezu
[g/cm <sup>3</sup> ]	[% wag.]	[% wag.]	[% wag.]	[% wag.]	[% wag.]	[mol/l]	[mol/l]	[mol/l]	[l]	[l]
1,91	43,9	56,1	31,7	44,8	23,5	7,2	4,8	12,0	439,4	560,6
1,92	42,4	57,6	30,6	46,0	23,4	7,0	5,0	12,0	424,2	575,8
1,93	40,9	59,1	29,5	47,2	23,2	6,8	5,1	11,9	409,1	590,9
1,94	39,4	60,6	28,4	48,5	23,1	6,6	5,3	11,8	393,9	606,1
1,95	37,9	62,1	27,3	49,7	23,0	6,3	5,4	11,8	378,8	621,2
1,96	36,4	63,6	26,2	50,9	22,9	6,1	5,6	11,7	363,6	636,4
1,97	34,8	65,2	25,1	52,1	22,8	5,9	5,8	11,7	348,5	651,5
1,98	33,3	66,7	24,1	53,3	22,6	5,7	5,9	11,6	333,3	666,7
1,99	31,8	68,2	23,0	54,5	22,5	5,4	6,1	11,5	318,2	681,8
2,00	30,3	69,7	21,9	55,7	22,4	5,2	6,3	11,5	303,0	697,0
2,01	28,8	71,2	20,8	56,9	22,3	5,0	6,4	11,4	287,9	712,1
2,02	27,3	72,7	19,7	58,1	22,2	4,7	6,6	11,3	272,7	727,3
2,03	25,8	74,2	18,6	59,4	22,1	4,5	6,8	11,3	257,6	742,4
2,04	24,2	75,8	17,5	60,6	21,9	4,2	6,9	11,2	242,4	757,6
2,05	22,7	77,3	16,4	61,8	21,8	4,0	7,1	11,1	227,3	772,7
2,06	21,2	78,8	15,3	63,0	21,7	3,7	7,3	11,0	212,1	787,9
2,07	19,7	80,3	14,2	64,2	21,6	3,5	7,5	11,0	197,0	803,0
2,08	18,2	81,8	13,1	65,4	21,5	3,2	7,6	10,9	181,8	818,2
2,09	16,7	83,3	12,0	66,6	21,3	3,0	7,8	10,8	166,7	833,3
2,10	15,2	84,8	10,9	67,8	21,2	2,7	8,0	10,7	151,5	848,5
2,11	13,6	86,4	9,8	69,0	21,1	2,5	8,2	10,7	136,4	863,6
2,12	12,1	87,9	8,7	70,3	21,0	2,2	8,4	10,6	121,2	878,8
2,13	10,6	89,4	7,7	71,5	20,9	1,9	8,6	10,5	106,1	893,9
2,14	9,1	90,9	6,6	72,7	20,8	1,7	8,7	10,4	90,9	909,1

Tabela 6 cd.

2,15	7,6	92,4	5,5	73,9	20,6	1,4	8,9	10,3	75,8	924,2
2,16	6,1	93,9	4,4	75,1	20,5	1,1	9,1	10,2	60,6	939,4
2,17	4,5	95,5	3,3	76,3	20,4	0,8	9,3	10,2	45,5	954,5
2,18	3,0	97,0	2,2	77,5	20,3	0,6	9,5	10,1	30,3	969,7
2,19	1,5	98,5	1,1	78,7	20,2	0,3	9,7	10,0	15,2	984,8
2,20	0,0	100,0	0,0	80,0	20,0	0,0	9,9	9,9	0,0	1000,0

## 5. WNIOSKI

Sole mrówczanowe sodu, potasu i cezu mają wiele zalet w porównaniu z dotychczas stosowanymi systemami płynów wiertniczych. Należą do nich przede wszystkim:

- możliwość uzyskania żadanego ciężaru właściwego bez konieczności dodawania materiałów obciążających (baryt, węglan sodu, hematyt), dzięki czemu zmniejszona jest ilość fazy stałej w płuczce;
- możliwość mieszania solanek pod różną postacią (zmagazynowany roztwór soli mrówczanowej, mrówczan w postaci proszku, solanka rozcieńczona);
- wyjątkowe właściwości chemiczne umożliwiające solankom mrówczanowym stabilizację temperaturową polimerów w systemie płuczkowym;
- możliwość magazynowania solanek mrówczanowych oraz ich ponownego użycia, co ogranicza koszty początkowe sporządzania solanki oraz ułatwia transport na wiertnię (użycie solanki mrówczanowej po uwzględnieniu niektórych warunków przechowywania jej okazuje się ekonomicznie uzasadnione).

## LITERATURA

- [1] Cabot Speciality Fluids: *Formate technical manual – Section A1 – Chemistry*. 2011.
- [2] Cabot Speciality Fluids: *Formate technical manual – Section A2 – Brine density and PVT data*. 2011.
- [3] *Cabot's sodium, potassium and cesium formate MSDS*. 2004.
- [4] Wilson R.: *Crystallization suppression of cesium formate*. Department of Chemistry, University of Warwick, report, June 2004.
- [5] Howard S.K., Shell Research BV: *Formate brines for drilling and completion: State of art*. SPE Annual and Technical Conference and Exhibition, Dallas, October 1995.