

# Příloha I

Písemný záměr práce byl odevzdán 19. 11. 2019 a bez připomínek obhájen 28. 11. 2019. V důsledku pandemie covid-19 byl průběh práce opožděn oproti plánovanému harmonogramu a v červenci 2021 byl proto záměr upraven. Přílohou je pouze upravená verze záměru. Záměr byl v upravené podobě schválen začátkem podzimu 2021.



## **Záměr profilové práce 2019/2020**

*odevzdáno: 11/19/2019 12:00:48, upraveno: 07/03/2021*

<b>Třída:</b>	Ný
<b>Jméno a příjmení:</b>	Tomáš Kudláček
<b>Vedoucí práce:</b>	RNDr. Marek Matura, Ph.D.
<b>Odborný konzultant:</b>	doc. Ing. Robert Matyáš, Ph.D. doc. Ing. Zdeněk Jalový, Ph.D. Ing. Ondřej Vodochodský, Ph.D.

### 1) Téma práce:

Charakterizace a optimalizace barevně hořících plastických pyrotechnických složí na bázi polypropylenglykolu a polyethylenoxidu

### 2) Cíle práce:

Optimalizace daných složí bude zaměřena na následující oblasti:

- i. Čistota/barva plamene – cílem je dosažení co největší čistoty plamene a nejzřetelnějšího/nejvhodnějšího zbarvení
- ii. Konzistence – finální konzistence složí by měla být plastická s dobrou soudržností malou adhezí k pokožce a plasticitou na úrovni snadné dělitelnosti a tvarování rukou.
- iii. Citlivost a stabilita – citlivost ke tření by měla být co nejmenší, slož by měla být chemicky stabilní v rádech týdnů a slož by měla být stabilní za běžných teplot

V těchto oblastech budou vybrané slože také charakterizovány způsoby popsány níže:

### 3) Metodika:

- i. Čistota/barva plamene připravených složí – subjektivně/pomocí metod, které nevyžadují spektrofotometr
- ii. citlivost složí ke tření (zatím nespecifikováno)
- iii. chemická stabilita (pomocí infračervené spektrofotometrie)

### 4) Výstupy:

Teoretická práce – stručné seznámení s pyrotechnickými složemi, se zaměřením na barevně hořící, které jsou navrhovány pro demonstrativní účely ve školních laboratořích.

Praktická část – stanovení výše uvedených charakteristik barevně hořících složí, vyhodnocení dosažených výsledků a návrh optimálního složení s ohledem na cíle práce.

Využitelné při barvení plamene na čarodějnice na Pasece.

# **Příloha II**

Návod pro přípravu barevně hořících složí na bázi polypropylenglykolu a polyethylenoxidu v původním složení, jejichž autorem je Mgr. Radovan Skácel, Ph.D.

# Barevné slože

Návod pro laboratorní cvičení

## 1.1 Materiál

Okysličovadla:

- Dusičnan barnatý
- Dusičnan měďnatý bazický
- Dusičnan strontnatý
- Chloristan amonný

Paliva / pojiva:

- Polypropylenglykol (PPG, MW = 4 000)
- Polyethylenoxid (Polyethylenglykol, PEO, MW = 8 000 000)

Laboratorní pomůcky:

- Třecí miska
- Dřevěná špachtle
- Síto 100  $\mu\text{m}$
- Předvážky s přesností 0.01 g

## 1.2 Příprava

Složení:

Modrá slož:

- Polypropylenglykol – 12 %
- Polyethylenoxid – 2 %
- Dusičnan měďnatý bazický – 36 %
- Chloristan amonný – 50 %

Zelená slož:

- Polypropylenglykol – 12 %
- Polyethylenoxid – 2 %
- Dusičnan barnatý – 46 %
- Chloristan amonný – 40 %

Červená slož:

- Polypropylenglykol – 12 %
- Polyethylenoxid – 2 %
- Dusičnan strontnatý – 43 %
- Chloristan amonný – 43 %

### **Postup přípravy:**

Okysličovadla jsou před použitím proseta, pro přípravu slož je použita pouze frakce menší než 100  $\mu\text{m}$ . Do třecí misky jsou pro danou slož odvážena okysličovadla, k okysličovadlům je přidán polyethylenoxid a směs je dřevěnou špachtlí důkladně promíchána. Ke směsi pevných látek je přidán kapalný polypropylenglykol. Směs je opět dřevěnou špachtlí důkladně zhomogenizována.

Příklad přípravy 10 g:

Do třecí misky je odváženo 4,6 g dusičnanu barnatého (o velikosti částic menší než 100  $\mu\text{m}$ ), 4,0 g chloristanu amonného (o velikosti částic menší než 100  $\mu\text{m}$ ) a 0,2 g polyethylenoxidu, dřevěnou špachtlí je směs důkladně promíchána. Následně je přidáno 1,2 g polypropylenglykolu a pomocí dřevěné špachtle jsou pevné látky zapracovány do kapalného pojiva a celá směs je důkladně zhomogenizována. Zapálení slož je možné přímým plamenem nebo vloženou stopinou.

# Příloha III

Výsledky a protokoly ze stanovení citlivosti ke tření složí 1Č, 3Č a 4Č (červeně hořící slože), 1Z, 3Z, 7Z (zeleně hořící slože) a 1M, 3M, a 7M (modře hořící slože) z FEST.

**Tab. III.I** Výsledek a průběh stanovení citlivosti ke tření 1Č metodou FEST. P 5, 50 a 95 [%] jsou procentuální pravděpodobnosti iniciace slože při třecí síle [N], která je uvedena ve sloupci „stimulus“. „#“ označuje číslo jednoho výstřelu. „Recommended“ je třecí síla [N] doporučená algoritmem FEST, „used“ je třecí síla [N] reálně použitá pro daný výstřel. „Result“ je odezva při výstřelu, přičemž „0“ je negativní (=tření bez jakéhokoliv akustického/vizuálního projevu) a „1“ je pozitivní (=tření způsobilo akustický/vizuální projev; vzorek byl při dané třecí síle [N] citlivý ke tření).

Sensitivity of sample "sloz 1C" was measured using FEST; 30 shots were used.  
Sensitivity corresponds to the lognormal distribution with parameters:

mu = 4.844156  
sigma = 0.513339

Points of interest:  
P [%] stimulus <95% confidence interval>  
5 54.59 <40.84; 88.19>  
50 127.00 <99.58; 161.97>  
95 295.46 <182.87; 394.92>

History:

#	recommended	used	result	mu	sigma
1	189.7367	192.0000	0	nan	nan
2	264.4703	240.0000	1	nan	nan
3	216.3880	216.0000	1	nan	nan
4	202.0229	192.0000	1	nan	nan
5	193.5433	160.0000	1	4.6933 0.6930	
6	38.6195	120.0000	1	-57495716573199.6875	59431914448123.5469
7	inf	120.0000	1	-108457322167216.7500	101592653355104.9062
8	0.0000	0.0000	0	5.0225	0.3350
9	250.8854	240.0000	1	5.0225	0.3350
10	91.8348	96.0000	1	4.9109	0.4466
11	265.2790	252.0000	1	4.9109	0.4466
12	69.4816	72.0000	0	4.9109	0.4466
13	265.2790	160.0000	1	4.9109	0.4466
14	69.4816	80.0000	0	4.9109	0.4466
15	265.2790	96.0000	0	4.9109	0.4466
16	69.4816	72.0000	0	4.9109	0.4466
17	265.2790	288.0000	1	4.9109	0.4466
18	69.4816	108.0000	0	4.9109	0.4466
19	265.2790	120.0000	0	4.9109	0.4466
20	69.4816	84.0000	1	4.8442	0.5133
21	274.2843	240.0000	1	4.8442	0.5133
22	58.8003	56.0000	0	4.8442	0.5133
23	274.2843	160.0000	1	4.8442	0.5133
24	58.8003	144.0000	0	4.8442	0.5133
25	274.2843	128.0000	0	4.8442	0.5133
26	58.8003	56.0000	0	4.8442	0.5133
27	274.2843	360.0000	1	4.8442	0.5133
28	58.8003	192.0000	1	4.8442	0.5133
29	274.2843	128.0000	1	4.8442	0.5133
30	58.8003	80.0000	0	4.8442	0.5133

**Tab. III.II** Výsledek a průběh stanovení citlivosti ke tření 3Č metodou FEST. P 5, 50 a 95 [%] jsou procentuální pravděpodobnosti iniciace slože při třecí síle [N], která je uvedena ve sloupci „stimulus“. „#“ označuje číslo jednoho výstřelu. „Recommended“ je třecí síla [N] doporučená algoritmem FEST, „used“ je třecí síla [N] reálně použitá pro daný výstřel. „Result“ je odezva při výstřelu, přičemž „0“ je negativní (=tření bez jakéhokoliv akustického/vizuálního projevu) a „1“ je pozitivní (=tření způsobilo akustický/vizuální projev; vzorek byl při dané třecí síle [N] citlivý ke tření).

Sensitivity of sample "sloz 3C" was measured using FEST; 30 shots were used. Sensitivity corresponds to the lognormal distribution with parameters:

mu = 5.127849  
sigma = 0.281287

Points of interest:

P [%]	stimulus	<95% confidence interval>
5	106.18	<90.57; 138.11>
50	168.65	<147.61; 192.70>
95	267.88	<205.95; 314.04>

History:

#	recommended	used	result	mu	sigma
1	18.9737	84.0000	0	nan	nan
2	365.8937	360.0000	1	nan	nan
3	180.4130	160.0000	1	nan	nan
4	111.7436	108.0000	0	nan	nan
5	136.3794	144.0000	1	nan	nan
6	120.2033	120.0000	0	nan	nan
7	136.3794	128.0000	0	nan	nan
8	130.8607	144.0000	0	nan	nan
9	149.3961	160.0000	0	5.0367	0.1356
10	125.6213	128.0000	0	5.0378	0.1211
11	184.8353	192.0000	0	5.2298	0.3304
12	113.7846	112.0000	0	5.2263	0.3121
13	297.1826	288.0000	1	5.1959	0.2780
14	118.9727	120.0000	0	5.1972	0.2669
15	269.7661	240.0000	1	5.1682	0.2378
16	122.9027	120.0000	0	5.1696	0.2307
17	248.5731	240.0000	1	5.1547	0.2157
18	125.3429	128.0000	0	5.1582	0.2097
19	238.1040	240.0000	1	5.1490	0.2005
20	127.5073	144.0000	0	5.1587	0.1958
21	233.3148	216.0000	1	5.1456	0.1847
22	130.1345	128.0000	0	5.1478	0.1811
23	225.7444	216.0000	1	5.1387	0.1732
24	131.4767	144.0000	1	5.1047	0.1883
25	218.5900	216.0000	0	5.1654	0.2460
26	121.0605	120.0000	1	5.1328	0.3058
27	268.1416	252.0000	1	5.1258	0.2960
28	107.9617	108.0000	0	5.1281	0.2906
29	260.8622	288.0000	1	5.1252	0.2862
30	109.4966	112.0000	0	5.1278	0.2813

**Tab. III.III** Výsledek a průběh stanovení citlivosti ke tření 4Č metodou FEST. P 5, 50 a 95 [%] jsou procentuální pravděpodobnosti iniciace složky při třecí síle [N], která je uvedena ve sloupci „stimulus“. „#“ označuje číslo jednoho výstřelu. „Recommended“ je třecí síla [N] doporučená algoritmem FEST, „used“ je třecí síla [N] reálně použitá pro daný výstřel. „Result“ je odezva při výstřelu, přičemž „0“ je negativní (=tření bez jakéhokoliv akustického/vizuálního projevu) a „1“ je pozitivní (=tření způsobilo akustický/vizuální projev; vzorek byl při dané třecí síle [N] citlivý ke tření).

Sensitivity of sample "sloz 4C" was measured using FEST; 30 shots were used. Sensitivity corresponds to the lognormal distribution with parameters:

mu = 5.240067  
sigma = 0.512194

Points of interest:  
P [%] stimulus <95% confidence interval>  
5 81.25 <60.83; 131.14>  
50 188.68 <148.02; 240.51>  
95 438.15 <271.48; 585.27>

History:

#	recommended	used	result	mu	sigma
1	18.9737	84.0000	0	nan	nan
2	365.8937	360.0000	1	nan	nan
3	180.4130	192.0000	0	nan	nan
4	253.4107	252.0000	1	nan	nan
5	228.2064	216.0000	0	nan	nan
6	224.8797	240.0000	1	nan	nan
7	236.2160	216.0000	0	nan	nan
8	219.4601	240.0000	1	nan	nan
9	236.2160	192.0000	0	nan	nan
10	219.4601	216.0000	1	nan	nan
11	224.0942	216.0000	1	nan	nan
12	208.1981	192.0000	0	nan	nan
13	224.0942	216.0000	0	nan	nan
14	208.1981	160.0000	0	nan	nan
15	224.0942	240.0000	1	nan	nan
16	208.1981	216.0000	1	nan	nan
17	224.0942	240.0000	0	5.3950	0.0879
18	193.0872	192.0000	0	5.3966	0.0842
19	250.3474	252.0000	1	5.3953	0.0812
20	195.1035	192.0000	1	5.3713	0.1238
21	259.0675	252.0000	1	5.3691	0.1184
22	179.7430	180.0000	1	5.3394	0.1766
23	271.5922	288.0000	1	5.3389	0.1717
24	160.9817	160.0000	0	5.3416	0.1651
25	267.5551	252.0000	0	5.3613	0.2104
26	155.3634	144.0000	1	5.3085	0.3780
27	356.2081	360.0000	1	5.3075	0.3607
28	117.5028	120.0000	0	5.3131	0.3430
29	339.5257	324.0000	1	5.3110	0.3297
30	123.5297	120.0000	1	5.2401	0.5122

**Tab. III.IV** Výsledek a průběh stanovení citlivosti ke tření IZ metodou FEST. P 5, 50 a 95 [%] jsou procentuální pravděpodobnosti iniciace slože při třecí síle [N], která je uvedena ve sloupci „stimulus“. „#“ označuje číslo jednoho výstřelu. „Recommended“ je třecí síla [N] doporučená algoritmem FEST, „used“ je třecí síla [N] reálně použitá pro daný výstřel. „Result“ je odezva při výstřelu, přičemž „0“ je negativní (=tření bez jakéhokoliv akustického/vizuálního projevu) a „1“ je pozitivní (=tření způsobilo akustický/vizuální projev; vzorek byl při dané třecí síle [N] citlivý ke tření).

Sensitivity of sample "sloz IZ" was measured using FEST; 30 shots were used. Sensitivity corresponds to the lognormal distribution with parameters:

mu = 4.851964  
sigma = 0.874266

Points of interest:

P [%]	stimulus	<95% confidence interval>
5	30.38	<18.54; 68.79>
50	127.99	<84.58; 193.68>
95	539.16	<238.16; 883.76>

History:

#	recommended	used	result	mu	sigma
1	18.9737	160.0000	1	nan	nan
2	12.6491	72.0000	0	nan	nan
3	111.3533	112.0000	1	nan	nan
4	86.5562	80.0000	0	nan	nan
5	98.2044	96.0000	1	nan	nan
6	84.4702	84.0000	0	nan	nan
7	93.1649	96.0000	0	nan	nan
8	92.5325	96.0000	0	nan	nan
9	99.5974	108.0000	1	nan	nan
10	92.5325	96.0000	0	nan	nan
11	99.5974	108.0000	0	4.6405	0.0972
12	89.5385	96.0000	0	4.6461	0.0895
13	119.1412	120.0000	0	4.7243	0.1841
14	85.4700	84.0000	0	4.7235	0.1755
15	146.4665	144.0000	1	4.7127	0.1613
16	87.4209	84.0000	0	4.7130	0.1566
17	140.8772	144.0000	0	4.8099	0.2644
18	82.5416	80.0000	0	4.8099	0.2566
19	180.3415	192.0000	0	5.0114	0.5062
20	70.2528	72.0000	0	5.0048	0.4826
21	307.5546	240.0000	1	4.9624	0.4295
22	75.0476	72.0000	1	4.9817	0.6450
23	383.4487	360.0000	1	4.9520	0.5949
24	57.9547	56.0000	0	4.9498	0.5759
25	334.8131	324.0000	1	4.9304	0.5461
26	61.0288	64.0000	1	4.9147	0.7265
27	405.2059	360.0000	1	4.8937	0.6861
28	47.6843	48.0000	0	4.8943	0.6668
29	363.0120	360.0000	1	4.8804	0.6420
30	50.2739	48.0000	1	4.8520	0.8743

**Tab. III.V** Výsledek a průběh stanovení citlivosti ke tření 3Z metodou FEST. P 5, 50 a 95 [%] jsou procentuální pravděpodobnosti iniciace složky při třecí síle [N], která je uvedena ve sloupci „stimulus“. „#“ označuje číslo jednoho výstřelu. „Recommended“ je třecí síla [N] doporučená algoritmem FEST, „used“ je třecí síla [N] reálně použitá pro daný výstřel. „Result“ je odezva při výstřelu, přičemž „0“ je negativní (=tření bez jakéhokoliv akustického/vizuálního projevu) a „1“ je pozitivní (=tření způsobilo akustický/vizuální projev; vzorek byl při dané třecí síle [N] citlivý ke tření).

Sensitivity of sample "sloz 3Z" was measured using FEST; 30 shots were used. Sensitivity corresponds to the lognormal distribution with parameters:

mu = 4.865943  
sigma = 0.664212

Points of interest:

P [%]	stimulus	<95% confidence interval>
5	43.53	<29.90; 80.98>
50	129.79	<94.75; 177.80>
95	387.02	<208.04; 563.36>

History:

#	recommended	used	result	mu	sigma
1	18.9737	84.0000	0	nan	nan
2	365.8937	360.0000	1	nan	nan
3	180.4130	192.0000	1	nan	nan
4	122.4090	120.0000	0	nan	nan
5	157.4774	160.0000	0	nan	nan
6	168.9405	168.0000	1	nan	nan
7	170.0950	168.0000	0	nan	nan
8	161.9319	160.0000	1	5.0961	0.0953
9	188.4828	192.0000	1	5.0931	0.0956
10	141.1265	144.0000	0	5.0967	0.0952
11	188.5808	192.0000	0	5.1471	0.1820
12	130.8604	128.0000	1	5.0825	0.3894
13	289.0407	288.0000	1	5.0757	0.3563
14	93.8026	96.0000	0	5.0832	0.3304
15	264.7613	240.0000	1	5.0739	0.3063
16	100.9343	96.0000	0	5.0784	0.2931
17	249.1581	240.0000	1	5.0722	0.2788
18	105.0115	108.0000	1	4.9966	0.4003
19	269.6373	288.0000	1	4.9934	0.3877
20	82.4222	80.0000	0	4.9996	0.3744
21	260.1463	252.0000	1	4.9944	0.3622
22	85.7155	84.0000	1	4.9003	0.5184
23	292.3263	288.0000	1	4.8966	0.5024
24	62.9921	64.0000	0	4.9056	0.4854
25	279.6825	240.0000	1	4.8987	0.4706
26	66.2046	64.0000	0	4.9054	0.4588
27	268.6947	240.0000	1	4.8995	0.4473
28	68.6113	72.0000	1	4.8088	0.5762
29	290.9368	240.0000	0	4.8556	0.6865
30	45.8728	48.0000	0	4.8659	0.6642

**Tab. III.VI** Výsledek a průběh stanovení citlivosti ke tření 7Z metodou FEST. P 5, 50 a 95 [%] jsou procentuální pravděpodobnosti iniciace složky při třecí síle [N], která je uvedena ve sloupci „stimulus“. „#“ označuje číslo jednoho výstřelu. „Recommended“ je třecí síla [N] doporučená algoritmem FEST, „used“ je třecí síla [N] reálně použitá pro daný výstřel. „Result“ je odezva při výstřelu, přičemž „0“ je negativní (=tření bez jakéhokoliv akustického/vizuálního projevu) a „1“ je pozitivní (=tření způsobilo akustický/vizuální projev; vzorek byl při dané třecí síle [N] citlivý ke tření).

Sensitivity of sample "sloz 7Z" was measured using FEST; 30 shots were used. Sensitivity corresponds to the lognormal distribution with parameters:

mu = 4.973147  
sigma = 0.469890

Points of interest:

P [%]	stimulus	<95% confidence interval>
5	66.70	<51.14; 103.48>
50	144.48	<115.64; 180.51>
95	312.95	<201.72; 408.16>

History:

#	recommended	used	result	mu	sigma
1	18.9737	84.0000	0	nan	nan
2	365.8937	360.0000	1	nan	nan
3	180.4130	192.0000	1	nan	nan
4	122.4090	120.0000	1	nan	nan
5	104.1615	108.0000	0	nan	nan
6	109.7301	112.0000	1	nan	nan
7	114.1032	120.0000	0	4.7466	0.1374
8	93.7384	96.0000	0	4.7564	0.1362
9	142.7024	144.0000	1	4.7517	0.1368
10	94.2963	96.0000	1	4.6856	0.2180
11	150.3040	160.0000	0	4.7779	0.5165
12	54.7692	56.0000	0	4.7877	0.4640
13	240.7558	240.0000	1	4.7782	0.4285
14	62.5170	64.0000	0	4.7867	0.4011
15	218.8432	216.0000	1	4.7780	0.3791
16	67.3108	72.0000	0	4.7871	0.3593
17	205.6056	192.0000	0	4.8847	0.5064
18	61.8722	60.0000	0	4.8900	0.4880
19	276.4507	288.0000	1	4.8820	0.4709
20	65.0806	64.0000	0	4.8875	0.4569
21	263.1790	252.0000	1	4.8781	0.4412
22	67.7784	72.0000	0	4.8853	0.4284
23	251.6006	240.0000	1	4.8767	0.4158
24	70.3183	72.0000	0	4.8827	0.4060
25	242.6691	240.0000	0	4.9713	0.5198
26	66.1251	64.0000	0	4.9758	0.5094
27	311.0550	324.0000	1	4.9694	0.4989
28	68.1040	72.0000	0	4.9754	0.4888
29	301.4245	288.0000	1	4.9677	0.4782
30	70.1387	72.0000	0	4.9731	0.4699

**Tab. III.VII** Výsledek a průběh stanovení citlivosti ke tření 1M metodou FEST. P 5, 50 a 95 [%] jsou procentuální pravděpodobnosti iniciace složky při třecí síle [N], která je uvedena ve sloupci „stimulus“. „#“ označuje číslo jednoho výstřelu. „Recommended“ je třecí síla [N] doporučená algoritmem FEST, „used“ je třecí síla [N] reálně použitá pro daný výstřel. „Result“ je odezva při výstřelu, přičemž „0“ je negativní (=tření bez jakéhokoliv akustického/vizuálního projevu) a „1“ je pozitivní (=tření způsobilo akustický/vizuální projev; vzorek byl při dané třecí síle [N] citlivý ke tření).

Sensitivity of sample "sloz 1M" was measured using FEST; 30 shots were used.  
Sensitivity corresponds to the lognormal distribution with parameters:

mu = 4.275032  
sigma = 0.584177

Points of interest:  
P [%] stimulus <95% confidence interval>  
5 27.50 <19.77; 47.47>  
50 71.88 <54.50; 94.81>  
95 187.90 <108.85; 261.42>

History:

#	recommended	used	result	mu	sigma
1	42.4264	160.0000	0	nan	nan
2	466.0721	360.0000	1	nan	nan
3	246.5015	240.0000	1	nan	nan
4	190.7907	192.0000	1	nan	nan
5	180.0192	160.0000	1	nan	nan
6	155.7800	144.0000	1	4.8609	0.3150
7	207.1507	192.0000	1	4.8897	0.2510
8	91.2124	96.0000	0	4.9411	0.1930
9	186.8994	160.0000	1	4.9161	0.1869
10	103.1084	108.0000	1	4.6995	0.3713
11	191.7793	192.0000	1	4.7026	0.3497
12	65.2433	64.0000	1	3.9938	1.0102
13	246.9309	240.0000	1	4.0474	0.9247
14	14.3016	14.0000	0	4.1782	0.7969
15	215.6231	216.0000	1	4.1833	0.7681
16	20.7213	20.0000	0	4.2540	0.7023
17	201.8548	192.0000	1	4.2497	0.6842
18	25.1157	56.0000	0	4.3955	0.5748
19	192.0281	192.0000	1	4.3925	0.5607
20	34.8626	36.0000	0	4.4283	0.5278
21	184.9403	184.9400	1	4.4236	0.5173
22	38.3826	64.0000	0	4.4894	0.4720
23	180.8106	160.0000	1	4.4801	0.4628
24	44.0783	56.0000	1	4.3116	0.5864
25	179.7024	48.0000	1	4.1550	0.7031
26	22.2036	48.0000	0	4.2169	0.6585
27	182.1191	160.0000	1	4.2098	0.6463
28	25.5414	32.0000	0	4.2362	0.6208
29	175.4449	160.0000	1	4.2296	0.6106
30	27.4876	56.0000	0	4.2750	0.5842

**Tab. III.VIII** Výsledek a průběh stanovení citlivosti ke tření 3M metodou FEST. P 5, 50 a 95 [%] jsou procentuální pravděpodobnosti iniciace slože při třecí síle [N], která je uvedena ve sloupci „stimulus“. „#“ označuje číslo jednoho výstřelu. „Recommended“ je třecí síla [N] doporučená algoritmem FEST, „used“ je třecí síla [N] reálně použitá pro daný výstřel. „Result“ je odezva při výstřelu, přičemž „0“ je negativní (=tření bez jakéhokoliv akustického/vizuálního projevu) a „1“ je pozitivní (=tření způsobilo akustický/vizuální projev; vzorek byl při dané třecí síle [N] citlivý ke tření).

Sensitivity of sample "sloz 3M" was measured using FEST; 30 shots were used.  
Sensitivity corresponds to the lognormal distribution with parameters:

mu = 4.734917  
sigma = 0.345145

Points of interest:  
P [%] stimulus <95% confidence interval>  
5 64.53 <53.10; 89.10>  
50 113.85 <96.68; 134.08>  
95 200.86 <145.48; 244.14>

History:

#	recommended	used	result	mu	sigma
1	18.9737	160.0000	1	nan	nan
2	12.6491	12.0000	0	nan	nan
3	45.4598	48.0000	0	nan	nan
4	84.4702	80.0000	0	nan	nan
5	117.3767	120.0000	0	nan	nan
6	133.5592	128.0000	1	nan	nan
7	128.5797	144.0000	1	nan	nan
8	119.4590	120.0000	0	nan	nan
9	128.5797	128.0000	0	nan	nan
10	123.3767	120.0000	0	nan	nan
11	132.7966	144.0000	1	nan	nan
12	123.3767	120.0000	1	4.8372	0.0651
13	139.0458	144.0000	0	4.8796	0.1422
14	106.3042	108.0000	0	4.8824	0.1311
15	160.6188	160.0000	1	4.8787	0.1228
16	109.3338	108.0000	0	4.8805	0.1177
17	157.1387	112.0000	0	4.8829	0.1127
18	111.4764	112.0000	1	4.8583	0.1601
19	163.7679	160.0000	1	4.8542	0.1515
20	102.2071	96.0000	1	4.8172	0.2692
21	185.1328	192.0000	1	4.8146	0.2570
22	83.8580	80.0000	0	4.8172	0.2476
23	179.2235	180.0000	1	4.8141	0.2382
24	86.2107	84.0000	0	4.8167	0.2309
25	174.6891	180.0000	1	4.8144	0.2246
26	88.0121	96.0000	0	4.8193	0.2161
27	171.3231	180.0000	1	4.8175	0.2117
28	90.0138	96.0000	1	4.7852	0.2595
29	176.7069	168.0000	1	4.7819	0.2519
30	81.7787	80.0000	1	4.7349	0.3451

**Tab. III.IX** Výsledek a průběh stanovení citlivosti ke tření 7M metodou FEST. P 5, 50 a 95 [%] jsou procentuální pravděpodobnosti iniciace slože při třecí síle [N], která je uvedena ve sloupci „stimulus“. „#“ označuje číslo jednoho výstřelu. „Recommended“ je třecí síla [N] doporučená algoritmem FEST, „used“ je třecí síla [N] reálně použitá pro daný výstřel. „Result“ je odezva při výstřelu, přičemž „0“ je negativní (=tření bez jakéhokoliv akustického/vizuálního projevu) a „1“ je pozitivní (=tření způsobilo akustický/vizuální projev; vzorek byl při dané třecí síle [N] citlivý ke tření).

Sensitivity of sample "sloz 7M" was measured using FEST; 30 shots were used. Sensitivity corresponds to the lognormal distribution with parameters:

mu = 4.466786  
sigma = 0.439809

Points of interest:  
P [%] stimulus <95% confidence interval>  
5 42.24 <32.94; 63.71>  
50 87.08 <70.70; 107.25>  
95 179.51 <119.01; 230.17>

History:

#	recommended	used	result	mu	sigma
1	18.9737	160.0000	1	nan	nan
2	12.6491	12.0000	0	nan	nan
3	45.4598	48.0000	0	nan	nan
4	84.4702	84.0000	0	nan	nan
5	120.2753	120.0000	1	nan	nan
6	96.7728	96.0000	1	nan	nan
7	93.1649	96.0000	1	nan	nan
8	86.5562	84.0000	0	nan	nan
9	93.1649	96.0000	1	nan	nan
10	86.5562	108.0000	1	nan	nan
11	93.1649	80.0000	0	nan	nan
12	86.5562	84.0000	1	nan	nan
13	87.1477	96.0000	1	nan	nan
14	80.9659	80.0000	0	nan	nan
15	87.1477	72.0000	0	nan	nan
16	80.9659	80.0000	0	nan	nan
17	87.1477	144.0000	1	nan	nan
18	80.9659	80.0000	1	4.4411	0.0765
19	95.1809	96.0000	0	4.4688	0.1075
20	74.2577	72.0000	0	4.4699	0.1045
21	102.1632	108.0000	0	4.5072	0.1800
22	69.2116	72.0000	1	4.4748	0.2544
23	128.5541	128.0000	0	4.5184	0.4012
24	50.2284	54.0000	0	4.5233	0.3775
25	162.3156	160.0000	1	4.5188	0.3605
26	53.4122	54.0000	0	4.5224	0.3468
27	154.8722	144.0000	1	4.5173	0.3329
28	55.5863	54.0000	0	4.5201	0.3238
29	149.2795	144.0000	1	4.5161	0.3140
30	57.1160	54.0000	1	4.4668	0.4398

# **Příloha IV**

Návod pro přípravu optimálních barevně hořících složí na bázi polypropylenglykolu.

# Barevně hořící slože | návod pro laboratorní cvičení

## Výchozí látky

### Okysličovadla

- Dusičnan strontnatý
- Dusičnan barnatý
- Dusičnan měďnatý bazický
- Chloristan amonný

### Paliva / pojiva

- Polypropylenglykol (PPG, MW = 4 000)

## Laboratorní pomůcky

- Třecí miska s tloučkem
- Dřevěné špachtle
- Injekční stříkačka (bez jehly)
- Síto 100  $\mu\text{m}$
- Předvážky s přesností 0.01 g

## Bezpečnostní upozornění

Pyrotechnické slože jsou obecně reaktivní systémy citlivé k vnějším podnětům. Při přípravě, manipulaci a zacházení s pyrotechnickými složemi je třeba dodržovat veškeré zásady bezpečnosti práce s energetickými materiály. Mezi tyto zásady patří zejména (nikoliv výlučně):

- a. používání ochranných pomůcek (brýlí, štítu, popř. jiné ochrany očí a obličeje, ochrany sluchu, ochranných rukavic),
- b. s pyrotechnickými složemi je třeba zacházet obezřetně, vyvarovat se vystavování slože rizikovým podnětům, jako především plamenu, tření, nárazu nebo výboji elektrostatické jiskry (např. vyhnout se tření slože mezi tvrdými materiály, nenosit oblečení, které kumuluje statický náboj).

Pro bezpečnou přípravu složí je nutné výchozí látky, které mají být rozetřeny v misce, rozetřít samostatně, nikoliv celou směs dohromady. Následné mísení látek v třecí misce musí být provedeno dřevěnou špachtlí. Při přípravě složí musí být dodržen postup uvedený níže.



## Vlastnosti složí

Chemická stabilita při skladování v těsně uzavřené nádobě za běžných laboratorních podmínek

minimálně 5 týdnů



Citlivost ke tření pro 50% pravděpodobnost iniciace

červeně hořících složí	189 N
zeleně hořících složí	145 N
modře hořících složí	87 N

## Poměry látek ve složích

### Červeně hořící slože

Polypropylenglykol	14 %
Dusičnan strontnatý	43 %
Chloristan amonný	43 %

### Zeleně hořící slože

Polypropylenglykol	14 %
Dusičnan barnatý	46 %
Chloristan amonný	40 %

### Modře hořící slože

Polypropylenglykol	17 %
Dusičnan měďnatý bazický	33 %
Chloristan amonný	50 %

## Postup práce

Před použitím jsou okysličovadla jednotlivě důkladně rozetřena v třecí misce a následně proseta. Pro přípravu slože jsou použity pouze frakce menší než 100 µm. Chloristan amonný je vhodné mít předsušený při 60 °C.

Do třecí misky jsou podle poměrů uvedených výše odvážena nejprve okysličovadla – jako první chloristan amonný, poté je přidán dusičnan pro příslušnou barvu plamene. Látky jsou ve třecí misce promíchány dřevěnou špachtlí. Ke směsi pevných látek je injekční stříkačkou přidán kapalný polypropylenglykol. Polypropylenglykol je přidáván v malých kapkách rovnoměrně po celé ploše pevných látek v misce. Poté jsou kapky pojiva důkladně zapracovány do směsi pevných okysličovadel. Celá slož je dřevěnou špachtlí důkladně zhomogenizována.

## Příklad přípravy 10 g červeně hořící slože

Do třecí misky je odváženo 4.3 g dusičnanu strontnatého (o velikosti částic menší než 100 µm). K němu je přidáno 4.3 g předsušeného chloristanu amonného (o velikosti částic menší než 100 µm). Směs pevných látek je dřevěnou špachtlí důkladně promíchána. Ke směsi okysličovadel je injekční stříkačkou přidáno 1.4 g kapalného polypropylenglykolu. Kapky pojiva jsou rozprostřeny rovnoměrně po směsi pevných látek. Dřevěnou špachtlí jsou následně pevné látky odspodu zapracovány do pojiva a slož je důkladně zhomogenizována.