UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2024 Ondřej Kotzot

Univerzita Pardubice

Fakulta chemicko-technologická

Osvětlovací složе I.

Bakalářská práce

2024 Ondřej Kotzot

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická
Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	**Ondřej Kotzot**
Osobní číslo:	**C21351**
Studijní program:	**B0531A130025 Chemie**
Téma práce:	**Osvětlovací složе I.**
Zadávající katedra:	**Ústav energetických materiálů**

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární rešerši na téma osvětlovací složе, využívané v civilní i vojenské pyrotechnice.
2. Pro jednotlivé složе zpracujte z odborné literatury publikované fyzikální a chemické vlastnosti, citlivostní a funkční charakteristiky, postupy výroby a realizované nebo navržené možnosti využití. Pozornost můžete věnovat i historickému vývoji v oblasti osvětlovacích složí.
3. Výsledky zpracujete formou bakalářské práce.

Rozsah pracovní zprávy:
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Robert Matyáš, Ph.D.**
Ústav energetických materiálů

Datum zadání bakalářské práce: **29. února 2024**
Termín odevzdání bakalářské práce: **1. července 2024**

L.S.

prof. Ing. Petr Němec, Ph.D.
děkan

doc. Ing. Jiří Pachman, Ph.D.
vedoucí ústavu

V Pardubicích dne 29. února 2024

Prohlašuji:

Práci s názvem Osvětlovací složе I. jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu § 47b zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnici Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 1. 7. 2024 Ondřej Kotzot v.r.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych zde poděkoval svému vedoucímu práce doc. Ing. Robertu Matyášovi, Ph.D. za jeho cenné rady, velkou ochotu a trpělivost při vedení této bakalářské práce, zpětnou vazbu a vstřícnost při konzultacích. Chtěl bych také poděkovat rodině a všem kolegům, kteří při mně stáli po celou dobu studia.

ANOTACE

Tato bakalářská práce formou literární rešerše nahlíží do historie, chemického složení, fyzikálních a chemických vlastností, citlivostních a funkčních charakteristik, realizovaných nebo navrhovaných postupů výroby a možností využití osvětlovacích složí.

KLÍČOVÁ SLOVA

Osvětlovací složí, světlice, bíle hořící složí, žlutě hořící složí

TITLE

Illuminating compositions I.

ANNOTATION

This bachelor‘s thesis in the form of literar research contains an insight into history, chemical composition, physical and chemical properties, sensitivity and functional charakteristics, implemented or proposed production procedures and the posibilities of usage of illuminating compositions.

KEYWORDS

Illumination composition, flare, white burning composition, yellow burning composition

OBSAH

ÚVOD 15

1. Osvětlovací pyrotechnická slož 16

1.1. Suroviny osvětlovacích složí 16

1.2. Parametry a požadavky osvětlovacích složí 17

1.2.1. Parametry osvětlovacích složí 17

1.2.2. Zvláštní požadavky osvětlovacích složí 18

1.2.3. Světelné charakteristiky osvětlovacích složí 18

1.3. Příprava, testování a měření svítivosti osvětlovacích složí 19

2. Historie světla 22

2.1. Slože 17. století 23

2.2. Slože 18. století 24

2.3. Slože 19. století 26

3. Slože 20. století 28

3.1. Slože 1. poloviny 20. století 28

3.1.1. Německé slože 28

3.1.2. Britské slože 29

3.1.3. Japonské slože 30

3.1.4. Americké slože 30

3.1.5. Sovětské slože 32

3.2. Slože 2. poloviny 20. století 33

3.2.1. Osvětlovací slože založené na změně pojivového systému 33

3.2.2. Slože obsahující energetické látky 44

3.2.3. Slož se specifickou funkcí - Lopatin-Hartova osvětlovací slož 48

3.2.4. Slože emitující infračervené záření 50

4. Slože 21. století 53

4.1. Moderní slože 53

4.1.1. Vývoj složí nahrazující chloristany 53
4.1.2. Vývoj složí nahrazující nevyhovující pojiva 58
4.1.3. Recyklované suroviny 65
4.1.4. Modifikátory parametrů 70
5. Konstrukce osvětlovacích prostředků 75
5.1. Pochodně 75
5.2. Ruční vrhače 76
5.3. Pistolové náboje 77
5.4. Puškové granáty 78
5.5. Granáty 79
5.6. Nástražné osvětlovací prostředky 80
5.7. Kulové pumy 81
5.8. Osvětlovací rakety 82
5.9. Dělostřelecké granáty 83
5.10. Minometné granáty 84
5.11. Osvětlovací pumy 85
5.12. Křídlové světlice 86
Závěr 87
Bibliografie 88

SEZNAM TABULEK A ILUSTRACÍ

Tabulka 1 - Složе hořící jasným plamenem popsané Batem a Malthusem využívané k zábavním a osvětlovacím účelům v 17. století 23
Tabulka 2: Složе hořící jasným, bílým, žlutým a oranžovým plamenem využívané k zábavním, signálním a osvětlovacím účelům v 18. století 25
Tabulka 3: Složе bílého, žlutého a oranžového světla využívané pro zábavní, signální a osvětlovací účely v 19. století 27
Tabulka 4: Složе použité v německé dělostřelecké munici ve světových válkách 28
Tabulka 5: Kastem popsané složе používané civilním i vojenským sektorem 29
Tabulka 6: Složе používané britskou armádou v osvětlovacích prostředcích 29
Tabulka 7: Složе používané Japonskem v leteckých osvětlovacích prostředcích 30
Tabulka 8: Americké osvětlovací složе používané v první světové válce 31
Tabulka 9: Americké osvětlovací složе používané v druhé světové válce 31
Tabulka 10: Složе využívané sovětskou armádou během světových válek 32
Tabulka 11: Složení Hart-Eppig-Powersových složí 33
Tabulka 12: Rolle-Taborova osvětlovací složе využívající polyesterové pojivo 34
Tabulka 13: Složení Cadwalladerových osvětlovacích složí 35
Tabulka 14: Složení a parametry Doudových osvětlovacích složí 36
Tabulka 15 - Složení Dinsdale-Reed-Meyerovy odlévatelné složе 37
Tabulka 16: Složení a parametry Bash-Lane-Smithových osvětlovacích složí 39
Tabulka 17: Složení a parametry Dillehay-Krackenberger-Havronových osvětlovacích složí 40
Tabulka 18: Složení a parametry Hiltzových odlévatelných osvětlovacích složí 42
Tabulka 19: Složení a parametry Kruseových osvětlovacích složí 43
Tabulka 20: Složení Swotinsky-Newman-Colittiho osvětlovací složе 44
Tabulka 21: Parametry Swotinsky-Newman-Colittiho osvětlovací složе 45
Tabulka 22: Složení a parametry Dillehayových osvětlovacích složí 46
Tabulka 23: Složení Bernardyovy osvětlovací složе 47
Tabulka 24: Složení a parametry Lopatin-Hartových osvětlovacích složí pro velké výšky 49
Tabulka 25: Složení Lokhampových „near infrared“ osvětlovacích složí 50
Tabulka 26: Složení a parametry Nielsonových infrared osvětlovacích složí 51
Tabulka 27: Složení Dillehay-Turnerových infrared osvětlovacích složí 52
Tabulka 28: Složení složе s chloristanem draselným a její alternativy 53

Tabulka 29: Parametry složе při použití hořčíku o granulaci 18, 15 a jejich směsi 54
Tabulka 30: Složení Miklaszewski-Dilger-Yamamotové osvětlovacích složí.....55
Tabulka 31: Parametry Miklaszewski-Dilger-Yamamotové osvětlovacích složí 57
Tabulka 32: Aktuální a testované složení nových složí pro M127A1 58
Tabulka 33: Parametry Sabatini-Raab-Hannových osvětlovacích složí 59
Tabulka 34: Složení Sabatini-Raab-Hann-Freemanových osvětlovacích složí 60
Tabulka 35: Parametry Sabatini-Raab-Hann-Freemanových osvětlovacích složí.....60
Tabulka 36: Složení a parametry Sadek-Kassem-Abdových osvětlovacích složí 61
Tabulka 37: Složení a parametry kontrolních složí 62
Tabulka 38: Složení a parametry testovaných složí s novým pojivovým systémem.....64
Tabulka 39: Analyzované nečistoty pomocí XRF 65
Tabulka 40: Složení kontrolní složе M127A1 66
Tabulka 41: Složení složí využívající recyklovaný hořčík 66
Tabulka 42: Parametry Sabatini-Moretti-Hallových složí 67
Tabulka 43: Senzitivita Sabatini-Moretti-Hallových složí na jednotlivé podněty.....68
Tabulka 44: Složení a parametry Mikhajlovich-Vyacheslavovich-Vladimirovichových složí 68
Tabulka 45: Složení a parametry Mikhajlovich-Il'ich-Vladimirovichových složí.....70
Tabulka 46: Složení a parametry Georgievich-Mikhajlovich-Anvarovichových složí 71
Tabulka 47: Složení a parametry Mikhajlovich-Georgievich-Viktorovichových složí 72
Tabulka 48: Složení Sergeevich-Shamilovich-Ivanovichových složí.....73

Obrázek 1: Testovací světlice na upevňovací podložce.....19
Obrázek 2: Schematické zobrazení fotometrického tunelu 20
Obrázek 3: Digitální fotografie žlutě hořící složе ve fotometrickém tunelu 20
Obrázek 4: Zóny hoření plamene.....21
Obrázek 5: Sodíkový dublet 21
Obrázek 6: Diagram chromaticity.....21
Obrázek 7: Grafické porovnání svítivosti Doudových složí.....36
Obrázek 8: Grafické porovnání svítivosti Bash-Lane-Smithových složí 39
Obrázek 9: Grafické porovnání svítivosti Dillehay-Krackenberger-Havronových složí.....41
Obrázek 10: Strukturní vzorec 1,3,6,8-tetranitrokarbazolu 45
Obrázek 11: Grafické znázornění závislosti svítivosti na hm.% hořčíku 46
Obrázek 12: Grafické znázornění závislosti rychlosti hoření na hm.% hořčíku 46

Obrázek 13: Organické látky použitelné samostatně (vlevo) a ve směsi (vpravo) 47
Obrázek 14: Grafické porovnání svítivosti Lopatin-Hartových složí 49
Obrázek 15: Grafické porovnání svítivosti Yamamoto-Shortridgeových složí 55
Obrázek 16: Grafické porovnání svítivosti Miklaszewski-Dilger-Yamamoté složí 57
Obrázek 17: Grafické porovnání svítivosti Sabatini-Raab-Hannových složí 59
Obrázek 18: Grafické porovnání svítivost Sabatini-Hann-Freemanových složí 60
Obrázek 19: Grafické porovnání svítivosti Sadek-Kassem-Abdových složí 61
Obrázek 20: Konstrukce světlic M585 a M583A1 62
Obrázek 21: Grafické porovnání svítivosti Moretti-Sabatiny-Poret-Gilbertových osvětlovacích složí pro 40mm granáty 64
Obrázek 22: Grafické porovnání svítivosti Sabatini-Moretti-Hallových složí 67
Obrázek 23: Grafické porovnání svítivosti Mikhajlovich-Vyacheslavovich-Vladimirovichových složí 69
Obrázek 24: Grafické porovnání svítivosti Georgievich-Mikhajlovich-Anvarovichových složí 72
Obrázek 25: Grafické porovnání svítivosti Mikhajlovich-Georgievich-Viktorovichových složí 73
Obrázek 26: Osvětlovací pochodeň 75
Obrázek 27: Řez osvětlovací pochodně 75
Obrázek 28: Použití osvětlovací pochodně 75
Obrázek 29: ROS 40 76
Obrázek 30: Řez ROS 40 76
Obrázek 31: Řez M127A1 76
Obrázek 32: Civilní vrhač 76
Obrázek 33: Použití M127A1 76
Obrázek 34: Osvětlovací náboje ráže 26,5 mm 77
Obrázek 35: Nákres osvětlovacího náboje 77
Obrázek 36: Signální pistole s náboji 77
Obrázek 37: Puškový osvětlovací granát 78
Obrázek 38: Použití puškového granátu 78
Obrázek 39: Moderní 40mm osvětlovací granáty 78
Obrázek 40: Nabíjení granátometu 78
Obrázek 41: Osvětlovací granát Mk.1 79
Obrázek 42: Vrhací nástavec M1A2 79

Obrázek 43: Nástražný osvětlovací prostředek M48 80
Obrázek 44: Nástražný osvětlovací prostředek M49 80
Obrázek 45: Československý nástražný systém 80
Obrázek 46: Československý nástražný systém 80
Obrázek 47: Osvětlovadlo vz. 60 81
Obrázek 48: Osvětlovadlo vz. 60 81
Obrázek 49: Ortungsleuchtzeichen 81
Obrázek 50: Použití Ortungsleuchtzeichen 81
Obrázek 51: Osvětlovací raketa používaná během první světové války 82
Obrázek 52: Řez osvětlovací rakety 82
Obrázek 53: Moderní osvětlovací raketa 82
Obrázek 54: Řez moderní rakety 82
Obrázek 55: Funkce dělostřeleckého osvětlovacího granátu 83
Obrázek 56: Nákres osvětlovacího dělostřeleckého granátu 83
Obrázek 57: Osvětlovací dělostřelecký granát 8,8 cm 83
Obrázek 58: Nákres minometného granátu 84
Obrázek 59: Minometný granát M853A1 84
Obrázek 60: Nákres funkce osvětlovacích pum 85
Obrázek 61: Osvětlovací puma M26 85
Obrázek 62: Konstrukce křídlové světlice 86
Obrázek 63: Nákres řezu křídlové světlice 86

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

Zkratka	Jednotka	Význam
L_E	$cd \cdot s \cdot g^{-1}$	Světelná účinnost
I	cd	Svítivost
m	kg	Hmotnost pyrotechnického tělesa
t	s	Doba hoření pyrotechnického tělesa
i	$mm \cdot s^{-1}$	Lineární rychlost hoření
h	mm	Výška pyrotechnického tělesa
T	K	Termodynamické teplota
IR	-	Infračervené
D.E.R.-732	-	Epoxidová pryskyřice
D.E.R. 321	-	Epoxidová pryskyřice
D.E.H. 14	-	Epoxidové tvrdidlo
QX-3812	-	Polyglykolová pryskyřice
Witco Formrez 17-80	-	Polyesterový polymer
ERLA 0510	-	Epoxidová pryskyřice
GDGE	-	Glycerin diglycidyl ether
GDGE 2/3	-	Glycerin glycidyl ether
APO	-	Aminem ukončený polypropylen oxid
Epon 828	-	Bisfenol A – diglycidyl ether
Epon 813	-	Epoxidová pryskyřice
Aropal 72-40-MC	-	Polyesterová pryskyřice
Lp-33	-	Tekutý polymer
PAPD 639	-	Obchodní název využitého tetranitrokarbazolu
Laminac 4116	-	Polyesterová pryskyřice
Lupersol DDM	-	Roztok methylethylketonperoxidu s dimethylftalátem
Versamid 140	-	Epoxidová pryskyřice
PVC	-	Polyvinylchlorid

ÚVOD

Pyrotechnika je fascinující oblast, která spojuje chemii, fyziku a v případě ohněstrůjství i umění. Jednou z klíčových součástí pyrotechniky jsou osvětlovací složе, které hrají nezastupitelnou roli jak v zábavní, tak vojenské sféře. Osvětlovací složе jsou určeny k produkci světla a nachází využití v mnoha formách - od nádherných světelných efektů při ohňostrojích až po kritické aplikace v nouzových a vojenských situacích, kde zajišťují osvětlení prostoru nebo signalizaci.

Historie použití pyrotechniky sahá hluboko do minulosti. První použití pyrotechniky bylo k náboženským a slavnostním účelům. Postupem času se znalosti rozšířily a pyrotechnika začala hrát významnou roli nejen v zábavě, ale i ve vojenství. Během staletí se technologie a složení osvětlovacích složí vyvíjely a zdokonalovaly, což vede k moderním aplikacím, které známe dnes.

Chemické složení osvětlovacích složí je základním kamenem jejich funkce. Tyto složе jsou pečlivě navrženy tak, aby při spalování produkovaly požadovanou barvu a intenzitu světla. Kombinace různých okysličovadel, paliv a dalších aditiv umožňuje vytvořit širokou škálu složí. Fyzikální parametry těchto složí, jako je svítivost, světelná účinnost a rychlost hoření, rovněž hrají klíčovou roli v jejich výkonu a aplikaci.

Použití osvětlovacích složí se neomezuje pouze na zábavu. Ve vojenské sféře jsou tyto složе nezbytné pro signalizaci, navigaci a osvětlování bitevních polí. V nouzových situacích slouží k osvětlování nebezpečných zón a k záchraně lidských životů. Civilní využití zahrnuje také signální světla na lodích, v letectví a v průmyslu.

Cílem této práce je zpracování rešerše pyrotechnických osvětlovacích složí se zaměřením na jejich chemické složení, specifické parametry a jejich praktické využití. Přehled by měl, v případě jeho dalšího využití, posloužit k prohloubení znalostí problematiky osvětlovacích pyrotechnických složí.

1. Osvětlovací pyrotechnická slož

Osvětlovací pyrotechnická slož je mechanická směs kyslíkem bohatého okysličovadla, paliva a pojiva, které po iniciaci spolu exotermicky reagují a vydávají světelný účinek [1]. Tohoto účinku je využíváno ve vojenských či civilních pyrotechnických prostředcích. Pyrotechnickými prostředky jsou tělesa – náboje, střely, pumy, granáty, rakety aj., jejichž konstrukce je přizpůsobena požadovanému použití. Samotné osvětlovací slože nacházejí využití nejen v osvětlovacích prostředcích, ale také v prostředcích stopovacích či signalizačních [2].

1.1. Suroviny osvětlovacích složí

Základními surovinami tvořící pyrotechnickou osvětlovací slož jsou:

a) Okysličovadla – látky dodávající při hoření kyslík, hoření na úkor okysličovadla je rychlejší než na úkor vzdušného kyslíku – dusičnany, chlorečnany, chloristany, …
b) Paliva – látky dodávající při hoření složе potřebné teplo, čím více uvolňují tepla, tím vyšší je zvláštní účinek složе – hořčík, hliník, síra, …
c) Pojiva – látky dávající výrobkům soudržnost, potřebnou mechanickou pevnost a odolnost vůči mechanickému namáhání – kalafuna, šelak, pryskyřice, polymery… [2]

Další možné suroviny (souhrnně označitelné jako látky pomocné):

a) Látky barvící plamen – sodné, strontnaté, barnaté soli, …
b) Látky zlepšující zvláštní účinek – svítivost, barvu plamene – chloridy, PVC, …
c) Flegmatizátory – látky snižující citlivost složе – vosk, parafín, grafit, …
d) Stabilizátory – látky zvyšující chemickou stabilitu složе – vosky, oleje, …
e) Látky urychlující nebo zpomalující pochod hoření – sulfid antimonitý, hydrogenuhličitany, …
f) Látky zvláštního technologického určení – mazací přísady, rozpouštědla pryskyřic, … [2]

V některých případech může jedna z látek plnit několik různých úkolů – např. organická pojiva plní ve složi úlohu hořlaviny, stabilizátoru a někdy i zpožďovače pochodu hoření [2].

1.2. Parametry a požadavky osvětlovacích složí

1.2.1. Parametry osvětlovacích složí

Osvětlovací složе musí mít zejména tyto parametry:

a) Musí dávat co největší světelný účinek při co nejmenších nákladech na složˇ [2]
b) Emisní charakteristiky musí být optimalizované pro viditelnou část spektra [3]
c) Reakce mezi palivem a okysličovadlem musí produkovat co největší množství tepla na objemovou jednotku složе [3]
d) Musí hořet rovnoměrně určitou rychlostí [2]
e) Teploty tání a varu produktů reakce musí být extrémně vysoké a teplota jejich rozkladu by měla ležet nad teplotou varu [3]
f) Musí být přítomny těkavé reakční produkty v dostatečném množství, aby byly schopné odvádět žáruvzdorné produkty reakce z plamene [3]
g) Žáruvzdorné produkty reakce musí být snadno rozptýlitelné ve vzduchu, mít dostatečně vysokou teplotu varu, aby nedocházelo k jejich tavení či aglomeraci v reakční zóně [3]
h) Musí být chemicky i fyzikálně stálé při dlouhodobém skladování [2]
i) Musí mít co nejmenší citlivost k mechanickým impulsům [2]
j) Nesmějí být nadměrně citlivé k tepelným účinkům [2]
k) Nesmějí dávat v produktech hoření silně otravně působící látky, které by mohly bránit likvidaci požáru ve výrobě [2]
l) Technologický proces výroby musí být jednoduchý [2]
m) Nesmějí obsahovat deficitní (těžce dostupné) složky [2]
n) Nesmějí obsahovat složky působící toxicky na lidský organismus [2]

Výlisky z osvětlovacích složí musí mít velkou mechanickou pevnost. Pro výrobu osvětlovacích složí, vyhovujících požadovaným parametrům je nutné v každém jednotlivém případě pečlivě zvážit výběr okysličovadla a hořlaviny a vypočítat jejich vzájemný kvantitativní poměr. Je nutné brát v úvahu fyzikálně-chemické charakteristiky hořlaviny a okysličovadla a využít literárních údajů o vlastnostech osvětlovacích složí a jejich jednotlivých složek [2].

1.2.2. Zvláštní požadavky osvětlovacích složí

Zvláštní požadavky kladené na osvětlovací složе:

1. Při hoření osvětlovací složе se musí uvolnit co největší množství světelné energie. Vyzařované světlo musí zajistit to, že pozorovatel může dostatečně zřetelně pozorovat a správně rozlišovat barvy. Záření osvětlovacích složí tak nemůže být monochromatické, ale musí obsahovat světelnou energii všech částí spektra. Ideálním případem by bylo rozdělení intenzity záření ve spektru blízkému slunečnímu záření, na které si lidský zrak zvykl a jemuž se přizpůsobil [2].
2. Lineární rychlost hoření lisovaných osvětlovacích složí se musí pohybovat v jednotkách milimetrů za vteřinu. Velké osvětlovací prostředky (osvětlovací pumy a střely) využívají osvětlovací složе s rychlostí hoření v lisovaném stavu nejvýše 1-2 $mm \cdot s^{-1}$, malé světlice (pistolové náboje a puškové granáty) využívají složе s rychlostí hoření 5-10 $mm \cdot s^{-1}$ [2].

1.2.3. Světelné charakteristiky osvětlovacích složí

Při zkouškách osvětlovacích těles se pokusně zjišťují tyto hodnoty:

1. Váha osvětlovací složе [g].

2. Rozměry spalovaného tělesa – zejména průměr a výška [cm].

3. Svítivost v kandelách [cd].

4. Doba hoření spalovaného tělesa [s] [2].

Světelná účinnost (Luminous efficiency) L_E

Množství světelné energie I [cd], uvolněné při shoření hmotnosti osvětlovací složе m [g] za čas t [s]. Výpočet světelné účinnosti zobrazuje rovnice 1.1 [1].

$$L_E = \frac{I \cdot t}{m} \ [\mathrm{cd} \cdot \mathrm{s} \cdot \mathrm{g}^{-1}] \tag{1.1}$$

Lineární rychlost hoření *i*

Podíl výšky pyrotechnického tělesa *h* [mm] a doby hoření složе *t* [s]. Lineární rychlost hoření složе není stálou veličinou, neboť závisí na hustotě složе. Výpočet lineární rychlosti hoření zobrazuje následující rovnice 1.2 [2].

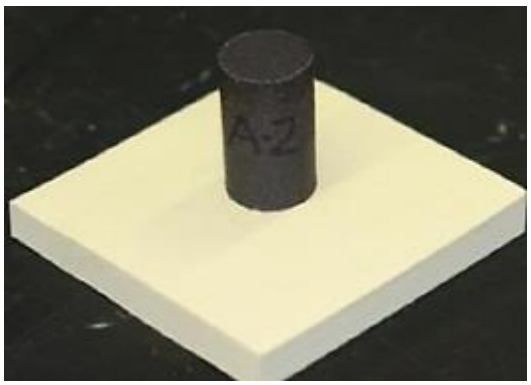
$$i = \frac{h}{t}\ [mm \cdot s^{-1}] \tag{1.2}$$

Sytost barvy

Sytost barvy, neboli její čistota znamená, jak moc je sledovaná barva odlišná od barvy šedé. Nezáleží na tom, jak moc je tato šedá světlá nebo tmavá, ale pouze na tom, jak moc se od této určité šedé odlišuje. Toto odlišení je vyjádřeno procentuálně [4].

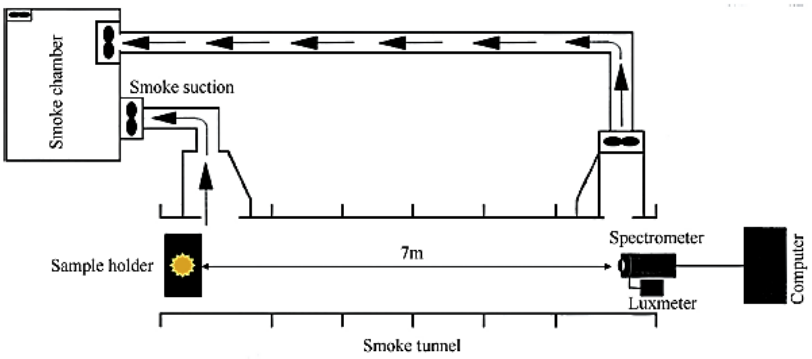
1.3. Příprava, testování a měření svítivosti osvětlovacích složí

Osvětlovací složе jsou připraveny níže popsanými způsoby, následně mohou být odlity do formy bez pouzdra nebo odlity do kartonového, polymerového nebo kovového pouzdra, vytvrzeny a testovány [5; 6]. Lisované složе bývají nejčastěji zalisovány do pouzdra. Následně jsou umístěny na upevňovací desku viz obrázek 1 [7].



Obrázek 1 – Testovací světlice na upevňovací podložce *[7]*

Měření spektrálních vlastností je často prováděno ve fotometrickém tunelu, do kterého je umístěna testovací světlice upevněná na podložce. Osvětlenost je měřena luxmetrem, která je dále převedena na svítivost. Měření luxmetru bohužel neposkytuje žádné informace o kvalitě barvy plamene, k tomu je využit spektrometr. Schematické znázornění fotometrického tunelu s měřícími přístroji a fotografii z průběhu měření lze vidět na obrázcích 2, 3 [8].

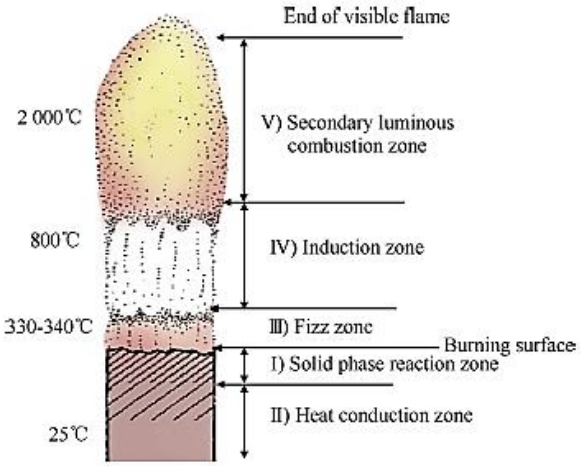


Obrázek 2 – Schematické zobrazení fotometrického tunelu *[8]*

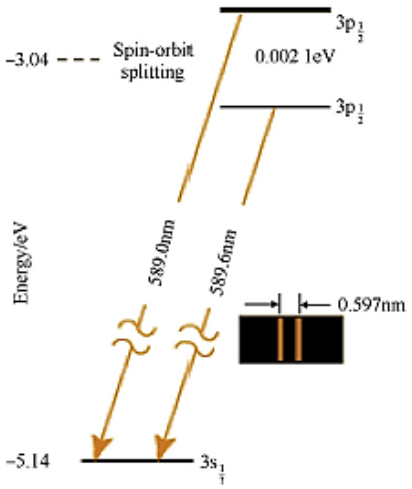
Obrázek 3 – Digitální fotografie žlutě hořící slože ve fotometrickém tunelu *[8]*

Při hoření slože je barva plamene určena barvotvorným prvkem (např. sodík – žlutá barva, stroncium – červená barva, baryum – zelená barva, …) který při zahřátí na vysokou teplotu emituje čáry světelného spektra. Podle barvotvorného prvku popřípadě jejich směsi vzniká výsledná barva plamene. Zahřátím na vysokou teplotu jsou tepelnou energií excitovány atomy barvotvorného prvku v druhé svítící zóně hoření plamene zobrazeného na obrázku 4 a při jejich deexcitaci je emitováno viditelné světlo [8].

Dosáhnout čistého žlutého plamene není značný problém, neboť sodík má velmi silnou emisi světla při deexcitaci sodíkových atomů. Sodíkový dublet (čárové spektrum) je zobrazeno na obrázku 5. Sodíkový dublet se skládá z čar o vlnových délkách 584±2 nm a 588±1 nm [8].

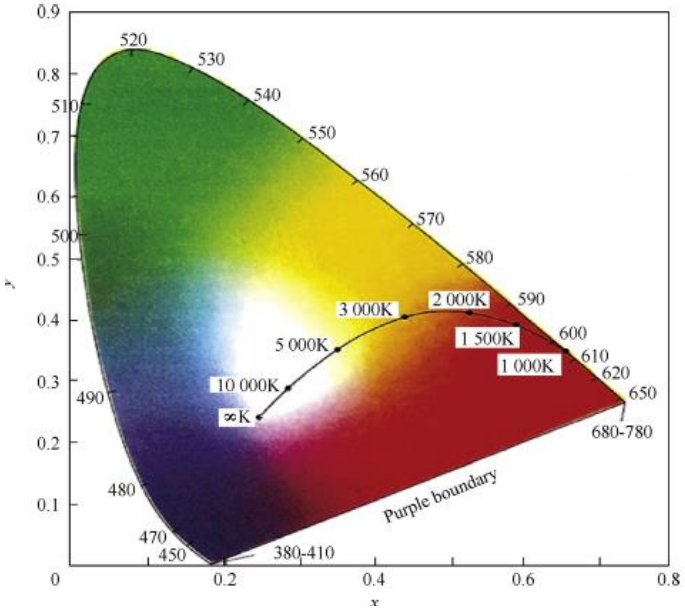


Obrázek 4 – Zóny hoření plamene *[8]*



Obrázek 5 – Sodíkový dublet *[8]*

Hořčík využívaný jako kovové palivo se v oxidační části plamene oxiduje na oxid hořečnatý, který emituje bílé světlo při žhavení. V případě žlutě hořícího plamene intenzita emise záření roste s teplotou, je zde ale horní hranice teploty 5000 K, po jejímž překročení již barva není žlutá, ale bílá. Barevnost plamene v závislosti na teplotě zobrazuje přiložený diagram chromaticity na obrázku 6 [8].



Obrázek 6 – Diagram chromaticity *[8]*

2. Historie světla

Pojem „pyrotechnika“ vychází z řeckých slov: pyr – oheň a techne – umění, tedy umění ohně. Nyní je pyrotechnika vědním oborem zahrnující veškeré znalosti týkající se pyrotechnických složí a jejich využitím [2].

V historických spisech jsou zaznamenána využití různých pyrotechnických složí v mnoha typech pyrotechnických prostředků. První publikace, které obsahují podrobnější popis složení ohněstrůjných složí se ale začínají objevovat až v 17. století [9]. Na přelomu 17. a 18. století Petr I. vyráběl pyrotechnické složе a nařídil armádní použití osvětlovacích raket pro signální účely [2].

Velkým milníkem ve složení složí bylo objevení chlorečnanu draselného poprvé připraveného Claudem Louisem Bertholletem roku 1788 [9].

Roku 1833 byla vydána publikace Moritze Meyera, jedná se pravděpodobně o první publikaci, ve které je zaznamenáno množství složí s chlorečnanem draselným pro ohňostrůjné, vojenské a námořní signalizační účely [10; 11].

Jedním z nejpodstatnějších vynálezů ve vojenské pyrotechnice v první polovině 19. století bylo „padákové světlo“ jehož vznik se datuje kolem roku 1820 v Dánsku, které našlo největší uplatnění v obou světových válkách [9]. Padákové rakety pro bojové a ohňostrojné účely byly v Rusku představeny okolo roku 1832 [2].

Od roku 1860 byl komerčně vyráběný kovový hořčík, který byl již po pár letech využíván evropskými pyrotechniky jako palivo pro výrobu pyrotechnických složí. Hliník nebyl znatelně využíván do konce 19. století, než započal být komerčně dostupný [9]. Hořčík s hliníkem patří mezi nejpoužívanější kovová paliva v moderních osvětlovacích složích [8].

Dalším významným vynálezem byla signální pistole – patentována v roce 1878 používaná zejména jako signalizační prostředek. Vylepšení osvětlovacích prostředků proběhlo v letech 1914-1918, neboť stoupla jejich potřeba pro zákopovou válku. S rostoucím využitím letadel v boji rostl význam použití signalizačních a osvětlovacích prostředků. Po skončení války výzkum a vývoj osvětlovacích složí pokračoval a byla provedena mnohá vylepšení [9].

2.1. Složе 17. století

V 17. století se začínají objevovat publikace s přesnějším složením pyrotechnických složí. Uváděné složе nemají složité složení, zejména se jedná o směs černého prachu s dalšími přísadami upravujícími jeho vlastnosti.

Bate a Malthus složе vyráběli buď mísením za sucha nebo s využitím jednoduchých pojiv (voda, petrolej, roztok alkoholu přidávaný dle potřeby) a balili je do papírových a látkových pytlíků nebo je kouleli do kuliček a za vlhka obalili v černém prachu pro lepší zážeh [12; 13]. Bate popsal složˇ využívající složitější pojivo ze směsi kafru a tragantové gumy rozpuštěné v ethanolu. Složе hoří velkým jasným plamenem[1] [13]. Složení těchto složí je uvedeno v tabulce 1.

Tabulka 1 – Složе hořící jasným plamenem popsané Batem a Malthusem využívané k zábavním a osvětlovacím účelům v 17. století

Suroviny [hm.%]	1. [12]	2. [12; 13]	3. [12]
KNO_3	57,1	50	20
S	28,6	25	10
Černý prach	14,3	25	60
Dřevěné uhlí	-	-	10
Petrolej/voda	-	dle potřeby	-
Tragantová guma*	-	-	dle potřeby
Kafr*	-	-	dle potřeby

*Orig.: rozpuštěno ve fayre water/aqua vitae (předpokládán koncentrovanější roztok ethanolu)

[1] ze složení směsi se však dá předpokládat žlutooranžový plamen

2.2. Složе 18. století

V 18. století stále jako matrice složе zůstává černý prach s přídavkem dusičnanu draselného a síry. Do složí začínají být přidávána různá aditiva a je používáno více druhů pojiva.

Přidávanými aditivy upravujícími parametry a barvu plamene, jsou zejména sloučeniny antimonu, arsenu, olova a rtuti. Tyto sloučeniny jsou značně toxické a samotní ohněstrůjci před jejich toxicitou varují a nedoporučují složе s nimi připravovat [14].

Využití složí se kromě zábavných účelů přesouvá do sektoru vojenského, začíná jich zde být využíváno jako prostředků použitelných při obléhání, osvětlování a signalizaci [15].

Belidor složе připravuje za vlhka, koulí do kuliček a obaluje v černém prachu [16]. Frézier a Jones složе míchá za sucha a plní do papírových nebo látkových pytlíků, popřípadě papírových trubic. Při mísení s pojivy je koulí do kuliček, obalených za vlhka v černém prachu nebo je válcuje na pláty, řeže na čtverce, proděraví je a navléká na nit [14; 15]. Ohněstrůjci začínají ve svých pracích uvádět barvy a účely jednotlivých složí – složе hořící jasným plamenem, složе hořící bílým a žlutým plamenem pro osvětlování, jejich složení je uvedeno v tabulce 2 [15].

Tabulka 2 – Slože hořící jasným, bílým, žlutým a oranžovým plamenem využívané k zábavním, signálním a osvětlovacím účelům v 18. století

Suroviny [hm.%]	1. [16]	2. [14]	3. [14]	4. [14]	5. [14]	6. [15]	7. [15]	8 [15]	9. [15]	10. [15]	11. [15]	12. [15]	13. [15]	14. [17]	15. [17]	16. [17]	17. [17]	18. [17]
Černý prach	11,5	32,9	20	-	-	13,8	4,8	20	75	17,7	-	-	12,8	7,7	-	31,9	4	12,5
KNO_3	30,8	16,5	53,3	79,2	22,2	41,4	66,7	53,3	-	53	42,7	33,3	44,8	69,2	14,3	34,1	64	50
S	11,5	16,5	13,3	5,2	9,3	20,7	28,6	26,7	-	17,7	21,3	50	32	15,4	28,6	17	13	25
Sb	-	4,1(2)	6,7(4)	5,2(2)	1,9(2)	-	-	-	-	11,6(7)	-	16,7(7)	6,4(7)	7,7(9)	57,1(8)	-	16(7)	12,5(7)
As_2S_3	-	-	-	-	1,9	-	-	-	-	-	5,3	-	-	-	-	-	-	-
Fe (piliny)	-	5,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Popel	-	4,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dřevěné uhlí	-	-	-	5,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mosaz (prach)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8	-	-	-	-	-
$HgCl_2$	-	4,1(3)	-	-	14,8(5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Skelný prach	-	-	-	-	14,8	-	-	-	-	-	10,7	-	3,2	-	-	-	-	-
Ethanol	1 pinta(1)	-	-	-	-	-	dle potřeby(6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kafr	30,8	4,1	-	5,2	1,9	17,2	-	-	-	-	5,3	-	-	-	-	-	-	-
Arabská guma	15,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tragantová guma	-	4,1	-	-	-	-	-	-	-	-	10,7	-	-	-	-	-	-	-
Bílý jantar	-	4,1	-	-	3,7	-	-	-	25	-	4	-	-	-	-	-	-	-
Žlutý jantar	-	-	6,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	-	-
Tuk	-	4,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Olej	-	-	-	dle potřeby	-	6,9	-	-	-	dle potřeby	-	-	-	-	-	-	-	-
Terpentýn	-	-	-	dle potřeby	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kadidlo	-	-	-	-	14,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Masticha*	-	-	-	-	14,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Barva plamene	jasná	jasná	jasná	jasná	jasná	bílá	jasná	jasná	žlutá	jasná	žlutá	bílá	bílá	bílá	bílá	žlutá	jasná	jasná

Orig.: (1) – esprit de win, (2) – de l'Antimoine, (3) – de l'sublimé, (4) – l'Antimoine cru, (5) – du mercure sublimé, (6) – spirits of wine, (7) - antimony, (8) – antimony prepared, (9) – antimony crude, *pryskyřice keře řečíku lentišku

2.3. Složе 19. století

V 19. století pokračuje rozvoj pyrotechnických složí. Černý prach jako matrice přestává být využíván. Komponenty složí jsou vybírány dle požadovaných vlastností – barvy plamene, svítivosti, rychlosti hoření. Složení začíná být rozmanitější a informace o složích rozsáhlejší.

Při výrobě pyrotechnických těles je sledován vliv míry a rovnoměrnosti stlačení, homogenity a kvality surovin složе na její parametry [18].

Složе hořící bílým plamenem

Doposud složе hořící bílým plamenem obsahovaly dusičnan draselný, který díky draslíku hoří matně bílým plamenem s červenofialovým nádechem. Přídavkem síry zabarvení mizí a plamen hoří bíle, ale značně pomalu. Je potřeba dodat palivo, které samo o sobě nemá barvící vlastnost. Tuky a pryskyřice dodávají plameni matnou oranžovou barvu, neboť při jejich hoření vznikají saze (nevyužívají se), dřevěné uhlí dodává plameni lehce načervenalý nádech. Pro odstranění zabarvení plamene a získání bílého plamene bylo dřevěné uhlí nahrazeno sloučeninami arsenu. Toxicita produktů hoření sloučenin arsenu vedla k ústupu jejich používání a byly nahrazeny sloučeninami antimonu, které samotné hoří lehce namodralým plamenem, zvyšují velikost a jasnost plamene. Pro dosažení čistého a bílého plamene je třeba využít dusičnanu s co nejmenším obsahem nečistot [19].

Složе hořící žlutým a oranžovým plamenem

Složе využívající jako pojiva kalafunu, šelak, smolu a jantar hoří špinavě žlutým plamenem s malou svítivostí, nejsou na velké vzdálenosti zřetelné a při jejich hoření dochází k vývoji sazovitého kouře. Přidáním sloučenin sodíku dochází ke zvýšení svítivosti a barevnosti plamene. Osvědčilo se použití dusičnanu, chlorečnanu, šťavelanu a hydrogenuhličitanu sodného. Nevýhodou sodných sloučenin je jejich hygroskopicita. Složе obsahující sodnou sůl a přípravky z nich vyrobené je nutné skladovat na suchém místě [19].

Úpravu barvy plamene lze provést i solemi stroncia či barya. Strontnatými solemi lze bílý/žlutý plamen ztmavit na oranžový, barnatou solí lze zesvětlit oranžový plamen a zároveň upravit parametry plamene, neboť barnaté soli zpomalují hoření a zvětšují plamen [19]. Začínají se objevovat složе s kovovým hořčíkem, který však patří k dražším[2] pyrotechnickým surovinám [20]. Složení složí je uvedeno v tabulce 3.

[2]Ceník pyrotechnických surovin pro rok 1878 na str. 172 [20]

Tabulka 3 – Slože bílého, žlutého a oranžového světla využívané pro zábavní, signální a osvětlovací účely v 19. století

Suroviny [hm.%]	1. [19]	2. [19]	3. [19]	4. [19]	5. [19]	6. [19]	7. [18]	8. [18]	9. [18]	10. [20]	11. [20]	12. [20]	13. [20]	14. [20]	15. [20]	16. [20]	17. [20]	18. [20]	19. [20]	20. [20]
KNO_3	-	-	-	-	-	-	52,2	36,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	63,2
$NaNO_3$	-	-	-	-	-	64	-	18,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$Ba(NO_3)_2$	-	12,5	-	30,8	22,2	-	-	-	-	-	-	-	-	14,3	-	50	-	-	-	-
$Pb(NO_3)_2$	-	-	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$Sr(NO_3)_2$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	66,7	-	44,4	-	-	-
$KClO_3$	60	50	75	38,5	44,5	-	13	21,7	49,5	61,5	57,1	50	57,1	57,1	13,3	15	22,2	59,3	50	-
S	30	25	-	-	-	16	13	10,9	19,8	-	14,3	16,7	14,3	7,1	-	-	16,7	18,5	-	21,1
Dřevěné uhlí	-	-	-	-	-	2	-	7,3	7,9	-	-	-	-	-	-	-	2,8	3,7	-	-
Mg (piliny)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,5	10,5
$Na_2C_2O_4$	-	-	12,5	15,4	-	-	-	-	9,9	23,1	14,3	16,7	14,3	14,3	10	20	11,1	18,5	25	-
$SrCO_3$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,7	8,3	-	-	-	-	-	-	-	-
Sb_2S_3	-	-	-	-	-	18	-	-	4,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,3
As_4S_4	-	-	-	-	-	-	8,7	-	-	-	3,6	4,2	-	-	-	-	-	-	-	-
$NaHCO_3$	10	12,5	-	-	11,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Stearin	-	-	12,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14,3	-	-	-	-	-	-	-
Šelak	-	-	-	15,4	-	-	-	-	-	15,4	-	4,2	-	7,1	10	15	2,8	-	12,5	-
Laktóza	-	-	-	-	22,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pryskyřice	-	-	-	-	-	-	-	5,8	7,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Barva plamene*	O	Ž	O	O	O	O	B	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	Ž	B

*Legenda – bílý (B), žlutý (Ž), oranžový (O)

3. Složе 20. století

3.1. Složе 1. poloviny 20. století

V první světové válce začíná značně narůstat využití pyrotechnických prostředků, zejména těch osvětlovacích, jako opatření proti překvapivým útokům, k signalizaci a značení nepřátelských i přátelských stanovišť. Během první i druhé světové války se neustále měnily a zvyšovaly požadavky na pyrotechnické prostředky, což vedlo k jejich zrychlenému vývoji. Stávající metody výroby byly nahrazeny novými, lepšími a bezpečnějšími metodami [9].

Zvýšením nedostupnosti některých látek (např. laktóza, kalomel, šelak) vedlo ke zjednodušení složení vynecháním těchto látek nebo nahrazením dostupnou alternativou [21].

Kromě malých osvětlovacích prostředků vyžadujících značné přiblížení k osvětlovanému prostoru byly testovány osvětlovací dělostřelecké granáty do ráže 155 mm s velkým dostřelem a letecké osvětlovací prostředky, které nevyžadují takové přiblížení, zajišťují tak větší bezpečnost uživatele a osvětlují mnohem větší prostor [9].

3.1.1. Německé složе

Ve spojenecké příručce o nepřátelské munici byla uvedena složе pro dělostřeleckou munici L3‘3 ráže 105 mm (1916). Pro složе nejsou kromě složení uvedeny žádné další informace[3] [22].

Další uvedenou složí pro dělostřeleckou munici je L4‘4 ráže 88 mm (1933). Složе je lisována do výlisků s centrální perforací o hmotnosti přibližně 1 kg. Výlisky mají na konci lisovaný zážeh tvořený osvětlovací složí smísenou s černým prachem. Doba hoření je 23 sekund a svítivost 375 000 cd [23]. Složení dělostřeleckých složí využívaných Německem jsou uvedeny v tabulce 4.

Tabulka 4 – Složе použité v německé dělostřelecké munici ve světových válkách

Suroviny [hm.%]	L3‘3 [22]	L4‘4 [23]
$Ba(NO_3)_2$	48,2	47,3
Mg	33,7	33,7
S	14,5	14,9
Tuk	-	2,9
Parafin	3,6	-
Zbytek (nerozp.)	-	1,2

[3] Ze složení složе lze předpokládat podobné vlastnosti jako u složе L4‘4.

Kastem (1921) uváděné pyrotechnické složе hořící bílým a žlutým plamenem využívané pro zábavní účely a pro vojenské aplikace jsou uvedeny v tabulce 5. Složе jsou zpracovávány za vlhka, zvlhčené ethanolem a lisovány do papírových, zinkových či hliníkových pouzder [21].

Tabulka 5 – Kastem popsané složе používané civilním i vojenským sektorem

Suroviny [hm.%]	1. [21]	2. [21]	3. [21]	4. [21]	5. [21]	6. [21]
$Ba(NO_3)_2$	64,8	71	63,7	83,6	65	-
KNO_3	-	-	-	-	-	28,2
Mg	19	23	20,4	2,4	-	42,2
Al	-	-	-	-	19,9	-
S	16,2	-	15,9	-	12,6	-
$Na_2C_2O_4$	-	-	-	-	-	28,2
Šelak	-	6	-	9,3	-	-
Kalafuna	-	-	-	4,7	-	-
Náhražka šelaku*	-	-	-	-	2,5	1,4

*Šelak nahrazen jinými, blíže nespecifikovanými organickými pojivy nebo bakelitem

3.1.2. Britské složе

Britské armádní složе využívané zároveň i Francií během světových válek nejrůznějším způsobem. Složе 1. nacházela využití v osvětlovacích pumách, složе 2. v osvětlovacích raketách [24], složе 3. a 4. v dělostřeleckých granátech [21]. Složení těchto složí je uvedeno v tabulce 6.

Tabulka 6 – Složе používané britskou armádou v osvětlovacích prostředcích

Suroviny [hm.%]	1. [24]	2. [24]	3. [21]	4. [21]
$Ba(NO_3)_2$	38	35,3	66	-
KNO_3	25,3	-	-	-
NH_4NO_3	-	-	-	20
$KClO_3$	-	26,5	-	-
Mg	26,7	35,3	30	-
Al	-	-	-	72
Trinitrotoluen	-	-	-	8
Olej	3	3	-	-
Parafin	7	-	-	-
Šelak	-	-	4	-

3.1.3. Japonské slože

Osvětlovací slože využívané Japonskem zejména v leteckých osvětlovacích prostředcích. Malé osvětlovací prostředky byly vyhazovány ručně z letadel, pumy vypouštěny ze závěsu letadla. Slože byly zalisovány v kartonových nebo ocelových pouzdrech, opatřeny trhacím zapalovačem nebo zakomponovány do pum s časovacím zapalovačem. Hmotnost osvětlovací slože se v osvětlovacích prostředcích pohybuje od 0,45 kg do 30 kg, doby hoření od 1 do 5 minut. Slože hoří jasným bílým nebo lehce nazelenalým plamenem, jednotlivé složení složí je uvedeno v tabulce 7. Hodnoty svítivosti bohužel nejsou uvedeny. [25].

Tabulka 7 – Slože používané Japonskem v leteckých osvětlovacích prostředcích

Suroviny [hm.%]*	1. [25]	2. [25]	3. [25]
$Ba(NO_3)_2$	77	55,5	-
$Ba(ClO_3)_2$	-	-	75,2
Mg	4,4	18	-
Al	8,8	11	-
S	2,2	-	-
Guma	-	-	24,8
Vosk	-	9,1	-
Parafin	4,5	-	-

*slože nemají uvedeno kompletní složení na 100 hm.%

3.1.4. Americké slože

Následující slože se připravovaly smísením suchých komponentů, následným přidáním pojiva, promícháním a prosetím sítem o hrubosti 1,6 mm. Vzniklá směs se dávkovala do papírových pouzder a ručně pěchovala nebo lisovala [26].

Osvětlovací rakety byly vyráběny s využitím slože 1., 2., 3., hmotnost slože činila přibližně 127,5 g. Slože byly lisovány do papírových pouzder a následně sušeny při teplotě 38°C po dobu tří dnů. Výsledná světlice má dobu hoření 25 sekund a svítivost 12 000 cd [26].

Pro letecké světlice byla využívána slože 6., do papírového pouzdra byla lisována po přibližně 3,175 kg do výsledné váhy slože 12,7 kg, doba hoření slože činila 7 minut a svítivost byla 350 000 cd [26].

Pro puškové granáty byla využívána slože 4., pro bengálské plameny slože 5., pro křídlové světlice slože 7., pro signální pistole slože 8. Složení složí je uvedeno v tabulce 8. [26]

Tabulka 8 – Americké osvětlovací složе používané v první světové válce

Suroviny [hm.%]	1. [26]	2. [26]	3. [26]	4. [26]	5. [26]	6. [26]	7. [26]	8. [26]	9. [27]	10. [27]	11. [27]
$Ba(NO_3)_2$	71,4	75,5	58,3	70,6	69,8	76	81	-	77	36	-
$Sr(NO_3)_2$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-
KNO_3	-	-	-	-	-	-	-	65,9	-	-	-
$KClO_3$	-	-	16,7	-	-	-	-	-	-	-	50
Prachovina	-	-	2,1	-	-	-	-	1,1	13	-	-
Al	10,7	-	-	19,6	13	8,1	-	-	-	-	35,7
Al (šupina)	7,2	21,8	22,9	9,8	-	9,9	13,7	-	5	-	-
Mg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	54	-
S	10,7	2,7	-	-	16,3	4	5,3	16,5	-	-	14,3
Sb*	-	-	-	-	0,6	-	-	16,5	-	-	-
Stearin	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-	-	-
Ricinový olej	-	-	-	-	-	2	-	-	-	4	-
Arabská guma**	dle potřeby	-	-	dle potřeby	-	-	-	dle potřeby	5	-	-
Šelak	-	-	-	-	-	-	dle potřeby	-	-	-	-
Šelak + ethanol 1:2	-	0,8 l	0,8 l	-	-	-	-	-	-	-	-

Orig.: *black antimony, ** „gum water“ (předpokládám arabskou gumu rozpuštěnou ve vodě)

Ve velkém množství osvětlovacích prostředků byla použita osvětlovací složM8A1 (složení viz tabulka 9). Pro osvětlení malých ploch byly využívány světlice M9 (hmotnost složе 0,86 kg, svítivost 60 000 cd, doba hoření 1 min) a světlice M13 (svítivost 40 000 cd, doba hoření 3 min). Pro osvětlování velkých ploch a noční bombardování[4] byly používány světlice M24 (hmotnost složе 20 kg, svítivost 1 000 000 cd, doba hoření 3 min) a světlice M26 (hmotnost složе 24 kg, svítivost 800 000 cd, doba hoření 3 min). V minometných granátech byla využívána složM83 (hmotnost složе 250 g, svítivost 110 000 cd, doba hoření 25 s) [28].

Tabulka 9 – Americké osvětlovací složе používané v druhé světové válce

Suroviny [hm.%]	M83 [28]	M8A1 [28]
$Ba(NO_3)_2$	52,1	33,7
$NaNO_3$	10,4	-
Mg	-	30,3
Al	26	15,2
S	4,1	-
$Na_2C_2O_4$	5,2	18,8
Ricinový olej	1,1	1
Lněný olej	1,1	1

[4] Světlice pro noční bombardování měly mezi světlicí a padákem stínící plátno, nedocházelo tak k oslnění pilotů, ale pouze k osvětlení bombardovaného prostoru [28]

3.1.5. Sovětské slože

Tyto osvětlovací slože byly využívány také Francií, slože poskytují velmi silný světelný efekt, více informací nebylo uvedeno [21]. Složení sovětských složí je uvedeno v tabulce 10.

Tabulka 10 – Slože využívané sovětskou armádou během světových válek

Suroviny [hm.%]	1. [21]	2. [21]	3. [21]	4. [21]
$Ba(NO_3)_2$	78	70	65	-
$KClO_3$	-	-	-	7,5
KNO_3	-	-	6	-
Al	11	25	25	58
Trinitrotoluen	-	-	-	34,5
Náhražka šelaku	11	5	4	-

3.2. Slože 2. poloviny 20. století

V druhé polovině 20. století se matricí složе stává dusičnan sodný s hořčíkem, při vývoji složí se mění zejména pojivové systémy a jednotlivé postupy výroby samotných složí.

3.2.1. Osvětlovací složе založené na změně pojivového systému

Matrice těchto složí obsahuje kovový hořčík s dusičnanem sodným. Zásadní změnou je obměna pojivového systému na bázi pryskyřic či úplné odstranění pojivového systému za účelem získání co nejlepších světelných charakteristik složе a zlepšení výrobní technologie.

Hart-Eppig-Powersova osvětlovací složž

Osvětlovací složž založená na přídavku 5-40 hm.% plastického pojiva (polyfunkční merkaptany, polyestery nebo dichlorstyren) a příslušného katalyzátoru. Složž je připravena smísením jednotlivých komponent, přidáním katalyzátoru a uplynutí 24-48 hodin vytvrdne za běžné teploty bez nutnosti lisování. Při obsahu pojiva od 10 do 40 hm.% lze složž extrudovat. Při tvrdnutí složž nezmenšuje svůj objem. Hoří rovnoměrně, svítivost je velmi podobná lisovaným složím podobného složení bez příměsi plastického pojiva [29]. Složení složí s jednotlivými pojivy je uvedeno v tabulce 11.

Tabulka 11 – Složení Hart-Eppig-Powersových složí *[29]*

Suroviny [hm.%]	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.
$NaNO_3$	35	35	40	40	60	60	35	65	50	25	35	65	50	25
Mg (práškový)	65	65	60	60	40	40	65	35	50	75	65	35	50	75
Pojivo (merkaptany) [hm.%]														
Polyfunkční merkaptan (Thiokol)	10	20	15	10	20	10	-	-	-	-	-	-	-	-
2-Fenylpropan-2-peroxol (kat.)	1	2	1,5	1	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Pojivo (polyestery) [hm.%]														
Polyester	-	-	-	-	-	-	10	20	30	40	-	-	-	-
Benzoyl peroxid (kat.)	-	-	-	-	-	-	0,1	0,4	0,4	0,8	-	-	-	-
Pojivo (dichlorstyren) [hm.%]														
Dichlorstyren (monom. + polym.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	20	30	40
Benzoyl peroxid (kat.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	1	1,5	2
Chlorid číničitý (kat.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	1	1,5	2

Rolle-Taborova osvětlovací složˇ

Osvětlovací složˇ využívající jako pojivo nenasycené polyesterové pryskyřice v poměru 1:1 s okysličovadlem. Výroba složˇe začíná přípravou pojiva se stabilizátorem, do kterého je za stálého míchání pomalu dávkováno palivo, následně je odlévána do připravených forem či pouzder. Složení složˇe je uvedeno v tabulce 12 [30].

Složˇ vytvrdne při běžné teplotě a okolního tlaku bez vzniku prasklin a trhlin. Doba vytvrzení závisí na velikosti formy, lze ji zkrátit zahřátím na 82°C. Po vytvrzení je odolná vůči vlhkosti a rozmezí teplot, má uniformní hustotu a relativně pomalou rychlost hoření [30].

Pryskyřice A - nenasycená polyesterová pryskyřice, která poskytuje styren jako reaktivní monomer, derivovaný z propylenglykolu, maleinanhydridu a ftalanhydridu. Preferovaný typ Pryskyřice A je komerčně známý pod názvem "Laminac Resin #4128"[5] [30].

Pryskyřice B - nenasycená polyesterová pryskyřice, která poskytuje styren jako reaktivní monomer a je na bázi diethylenglykolu, maleinanhydridu a kyseliny adipové. Preferovaný typ Pryskyřice B je komerčně známý pod názvem "Laminac Resin #4134[6] [30].

Tabulka 12 – Rolle-Taborova osvětlovací složˇ využívající polyesterové pojivo [30]

Suroviny [hm.%]	1.
$KClO_4$ / NH_4ClO_4 (44 μm)	66,7
Mg	33,3
Pojivo [hm.%]	
Pryskyřice A	40-70
Pryskyřice B	30-60
Benzylalkohol	1-10
Naftenát kobaltnatý	0-10
Methylethylketonperoxid	0,5-6

[5] Orig: unsaturated polyester resin having styrene as a reactive monomer, and is derived from propylene glycol, maleic anhydride and phthalic anhydride

[6] Orig: unsaturated polyester resin having styrene as a reactive monomer, and is of the flexible type based upon diethylene glycol, maleic anhydride and adipic acid.

Cadwalladerova osvětlovací složˇ

Osvětlovací složˇ založená na pojivu (polymerizovaném trifluorchlorethylenu – Teflex) a palivu (práškový hořčík/hliník). Jednotlivé komponenty jsou rozemlety, smíchány a pečlivě promíchány. Složˇ zahřáta na 193-215°C a stlačena tlakem 34,47 MPa, při dosažení teploty a tlaku dochází k roztavení Teflexu, jeho smísení s ostatními komponentami a vytvoření jednotné směsi. Teplota nesmí být překročena, neboť by mohlo dojít k rozkladu Teflexu a způsobit tak nebezpečí. Složˇ je nechána vychladnout v lisovací formě. S hořčíkem vykazuje vyšší svítivost a reaktivitu než s hliníkem, více parametrů však není uvedeno [31]. Složení složˇ je uvedeno v tabulce 13.

Tabulka 13 – Složení Cadwalladerových osvětlovacích složˇ *[31]*

Suroviny [hm.%]	1.	2.	3.	4.
Mg/Al	40	50	60	70
Trifluorchlorethylen (Teflex)	60	50	40	30

Doudova osvětlovací složˇ

Osvětlovací složˇ založená na pojivu ve formě epoxidové (D.E.R.-732) a polyglykolové pryskyřice (QX-3812) s dlouhým řetězcem. Preferovaný poměr pryskyřic je 38:62 (epoxid:polyglykol).

Kombinace epoxidové a polyglykolové pryskyřice má výhody oproti polyesterovým pojivům – nevyžadují vysoký lisovací tlak, mají nižší rychlost hoření, díky tvrzení při vyšší teplotě je možné pojivo skladovat a nehrozí vytvrzení při manipulaci [32].

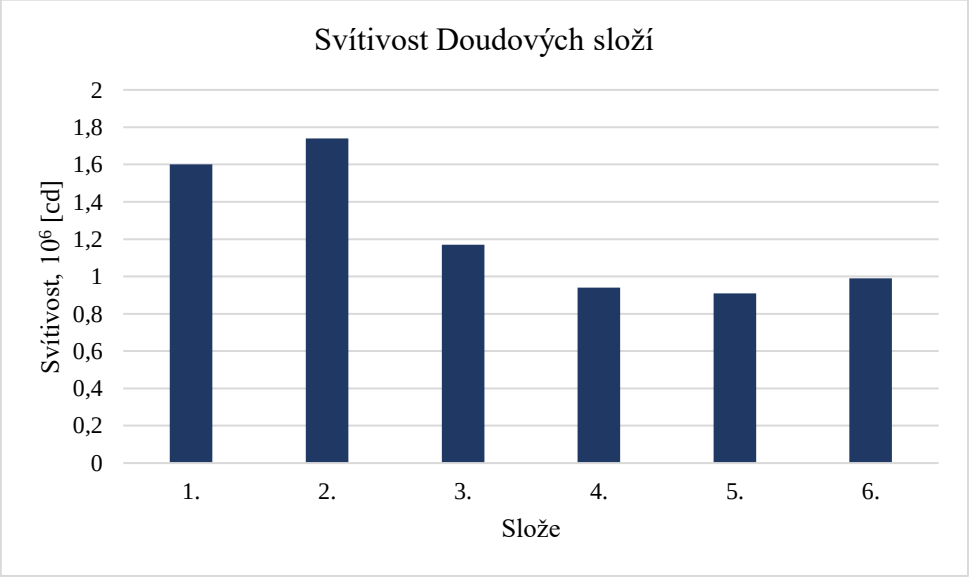
Pojivo je předmícháno zvlášť, poté je přidáno za míchání do paliva, složˇ je míchána do doby dosažení homogenizace. Složˇ je dávkována do forem a zalisována pro zpevnění, v případě většího procentuálního obsahu pojiva je složˇ tekutější a umožňuje odlévání do forem. Vytvrzení probíhá při teplotě 71°C po dobu 24 hodin, zvýšením teploty lze vytvrzení urychlit. Po vytvrzení má tuhou, gumovitou konzistenci [32].

Složení a parametry Doudových složˇ jsou uvedeny v tabulce 14 a jsou graficky porovnány na obrázku 7. Při porovnání svítivosti je zřetelné, že nejlepších výsledků dosahují složˇe 1. a 2. obsahující větší procentuální obsah hořčíku.

Tabulka 14 – Složení a parametry Doudových osvětlovacích složí *[32]*

Suroviny [hm.%]	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Mg (300-600 µm)	62	62	58	60	57	-
Mg (75-150 µm)	-	-	-	-	-	56
$NaNO_3$ (20 µm)	35	34	37,5	34	37	-
$NaNO_3$ (150 µm)	-	-	-	-	-	31,2
Polyglykolová pryskyřice (QX-3812)	1,86	2,48	2,79	3,72	3,72	7,94
Epoxidová pryskyřice (D.E.R.-732)	1,14	1,52	1,71	2,28	2,28	4,86
Parametry						
Hmotnost světlice [kg]	6,6	7,3	6,8	6,4	6,6	56,8
Průměr světlice [cm]	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	40,6
Lisovací tlak [MPa]	38,1	58,3	58,3	20,7	36	odlito
Teplota vytvrzování [°C]	70	80	80	80	80	80
Doba vytvrzování [h]	24	72	72	72	72	72
Doba hoření [s]	169	195	267	282	293	242
Rychlost hoření* [$g \cdot s^{-1}$]	39,2	33	25,4	22,7	22,6	234
Svítivost, 10^6 [cd]	1,6	1,74	1,17	0,94	0,91	0,99

*Orig.: burning rate



Obrázek 7 – Grafické porovnání svítivosti Doudových složí *[32]*

Dinsdale-Reed-Meyerova odlévatelná osvětlovací složka

Osvětlovací složka umožňující odlévání, skládající se z hrubé (150 μm) a jemné (5 μm) frakce dusičnanu sodného v poměru 1:2, kovového hořčíku sférického tvaru (74-297 μm) a pojiva skládajícího se z polyesterového tekutého polymeru (WITCO Formrez 17-80) a epoxidové pryskyřice střední viskozity, sloužící zároveň jako vytvrzovací činidlo (ERLA 0510), katalyzátorem reakce je linoleát železa [33].

Dusičnan sodný je v případě potřeby namlet a proset. Složka se připravuje mícháním v suché, inertní atmosféře pro zabránění vlhkosti. Následně je smíchána hrubá a jemná frakce dusičnanu s pojivem a hořčíkem, směs je míchána asi 20-30 min při 50°C, poté je odlita do pouzder, upěchována a nechána vytvrdnout při teplotě 55-60°C po dobu 48-72 hodin. Pracovní čas je 8-24 hodin při 15-37°C. Rychlost hoření složky je 2,2-2,3 $mm \cdot s^{-1}$ a světelná účinnost 50 000 $cd \cdot s \cdot g^{-1}$ [33]. Složení složky je uvedeno v tabulce 15.

Tabulka 15 – Složení Dinsdale-Reed-Meyerovy odlévatelné složky *[33]*

Suroviny [hm.%]	1.
$NaNO_3$ (150 μm)	9,996
$NaNO_3$ (5 μm)	19,991
Mg (granulovaný)	61,084
WITCO Formrez 17-80	7,404
ERLA 0510	1,518
Linoleát železa (katalyzátor)	0,007

Bash-Lane-Smithova odlévatelná osvětlovací složˇ

Charles W. Bash navrhnul složˇ skládající se z dusičnanu sodného (35 μm), hořčíku (400 μm) a zesíťované epoxidové pryskyřice s chloristanovou nebo dusičnanovou solí aminem zakončeného polyglykolu[7]. Složˇ je možné vytvrdit v rozmezí teplot 20-100°C po dobu 5-48 hodin, nejlépe však při 70°C po dobu 24 hodin. Vytvrzená složˇ má dobrou pevnost a pružnost, s rostoucím obsahem pojiva klesá její svítivost [34].

Na vývoj této složˇe navázal George A. Lane neboť při obsahu pojiva nad 12 hm.% svítivost značně klesá. Při snížení obsahu pojiva svítivost stoupá, složˇ ovšem ztrácí odlévatelnost a musí být do formy zhutněna vibracemi, stlačením nebo zalisováním. Lane inovuje složˇ snížením hustoty složˇe a změnou charakteristik surovin [35].

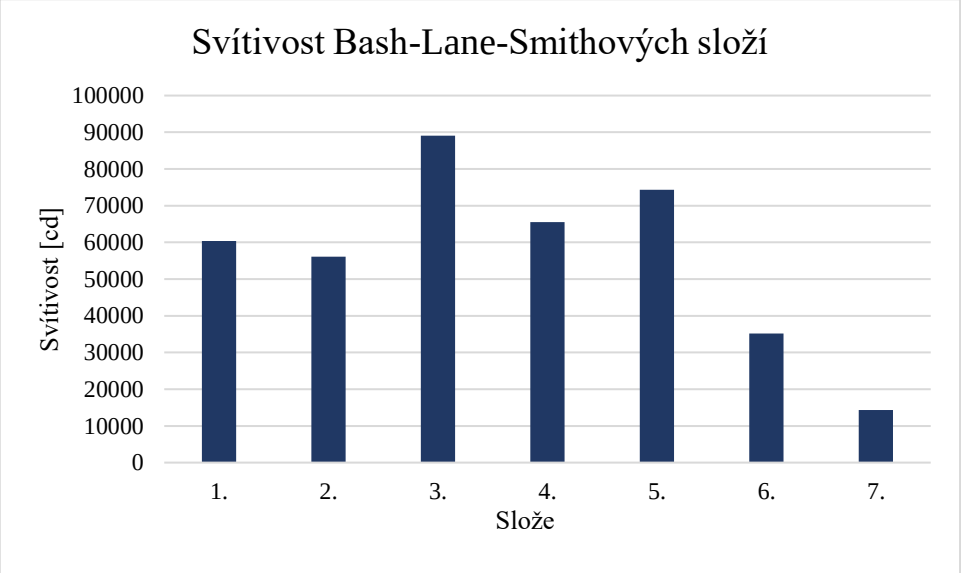
Okysličovadlo tvoří dusičnan sodný, palivo hořčík sférického tvaru pro zlepšení vlastností nevytvrzené směsi, pojivo tvoří 18-24 hm.% složˇe a skládá se z aminem, nebo anhydridem vytvrditelné epoxidové pryskyřice[8], jejíž obsah tvoří 30-70 hm.% pojiva, zbytek tvoří aminem zakončené sloučeniny[9] [35]. Epoxidovými pryskyřicemi jsou glycerin diglycidyl ether (GDGE) a glycerin glycidyl ether (GDGE 2/3), vytvrzení pomocí dusičnanové nebo chloristanové soli aminem ukončeného polypropylen oxidu (APO) [34]. Složˇ je připravena smísením a zhomogenizováním jednotlivých komponent, odlitím do forem a vytvrzením při teplotě 60-70°C po dobu 4 hodin [35].

Složení a parametry složˇí jsou uvedeny v tabulce 16 a graficky porovnány na obrázku 8. Z porovnání je viditelné, že nejlepších výsledků dosahuje složˇ 3. s maleinanhydridem jako tvrdidlem pojiva, který zvyšuje obsah kyslíku ve složˇi [35].

[7]Orig: Epoxy based resin with a perchlorate or nitrate salt of an amine terminated polyglycol
[8]Orig: amine or acid anhydride curable epoxy resin
[9]Orig: amine terminated polyalkylene oxide; alkylene polyamine; alkyl, aryl or mixed alkyl-aryl amine or acid anhydride.

Tabulka 16 – Složení a parametry Bash-Lane-Smithových osvětlovacích složí *[34; 35]*

Suroviny [hm.%]	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
$NaNO_3$ (74 μm)	34	34	34	-	-	-	-
$NaNO_3$ (30 μm)	-	-	-	34	34	44,5	44,5
Mg (105-350 μm)	48	48	48	-	-	-	-
Mg (125-200 μm)	-	-	-	48	48	31,5	31,5
GDGE	11,3	10,3	12	-	10,27	15,01	-
GDGE 2/3	-	-	-	10,97	-	-	14,87
APO - chloristan	6,7	-	-	7,03	-	8,99	-
APO - dusičnan	-	7,7	-	-	7,73	-	9,13
Maleinanhydrid	-	-	6	-	-	-	-
Parametry							
Světelná účinnost [$cd \cdot g \cdot s^{-1}$]	37 500	40 600	33 600	39 350	40 150	23 500	10 600
Svítivost [cd]	60 400	56 100	89 100	65 550	74 300	35 200	14 300



Obrázek 8 – Grafické porovnání svítivosti Bash-Lane-Smithových složí *[34; 35]*

Dillehay-Krackenberger-Havronova osvětlovací složˇ

Autoři navrhli výrobní způsob, při kterém jsou všechny komponenty složˇe v sypkém stavu, je možné složˇ vyrábět kontinuálně a předchází se tak rizikům vznikajícím při diskontinuálním režimu výroby složˇí s plastickými pojivy v tekutém stavu ve velkých dávkách, což vytváří rizika pro obsluhu a jsou nutná náročnější bezpečnostní opatření. Další nevýhodou jsou nerovnoměrnosti, které vznikají jednotlivými výrobními kroky, které mohou nakonec vyústit v rozdílné parametry výrobků v jedné dávce. [36].

Palivo a okysličovadlo je v suchém, sypkém stavu smícháno se zakapslovaným[10] pojivem a tvrdidlem. Komponenty lze dávkovat jednotlivˇe do míchacího systému, který zamícháním vytvoří homogenní sypkou směs a nadávkuje ji do jednotlivých pouzder. Posledním krokem je zalisování a rozdrcení kapslí s následnou aktivací pojiva a jeho vytvrzením. Do každého pouzdra je nadávkováno stejné množství složˇe, zalisováno stejným tlakem za stejných podmínek. Tento postup minimalizuje počet operací, při kterých by mohly vzniknout nerovnoměrnosti. Klesají také bezpečnostní rizika, neboť neskladujeme na jednom místˇe velká množství smíchané složˇe [36].

Kapsle A obsahují oligomer epoxidové pryskyřice bisfenol A - diglycidyl ether (Epon 828) a 12 hm.% benzoylperoxidu (tvrdidlo) [36].

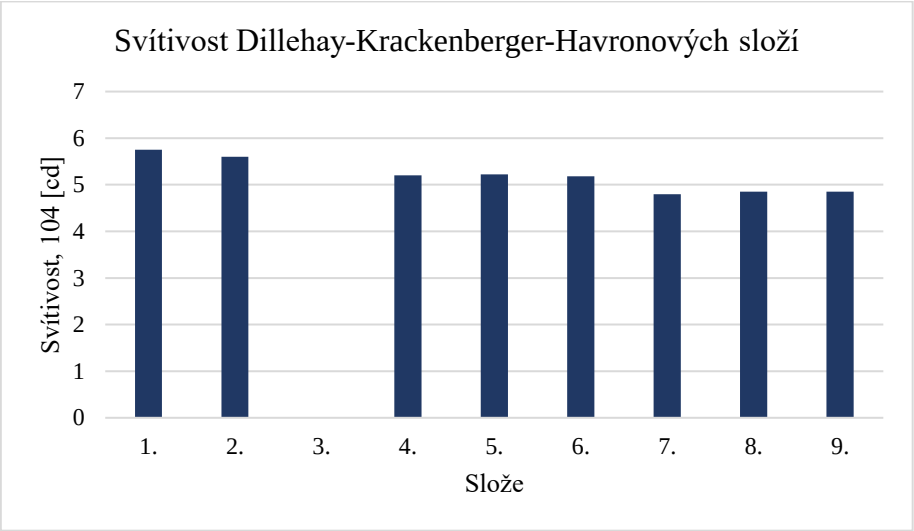
Kapsle B obsahují nenasycenou polyesterovou pryskyřici (Aropal 72-40-MC), 5 hm.% oxidu titaničitého (plnivo) a 5 hm.% *N*-*N*-dimethyl-*p*-toluidinu (katalyzátor) [36].

Komponenty složˇe byly nadávkovány do papírových pouzder o průměru 30 mm a délce 63,5 mm, zalisovány tlakem 34,7 MPa a byla provedena měření výkonnosti složˇí, složení složˇí a výsledky měření jsou uvedeny v tabulce 17 a graficky porovnány na obrázku 9 [36].

Tabulka 17 – Složení a parametry Dillehay-Krackenberger-Havronových osvětlovacích složˇí *[36]*

Suroviny [hm.%]	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
$NaNO_3$	49	44	39	47	42	37	45	40	35
Mg (granulovaný, 74-297 μm)	45	50	55	45	50	55	45	50	55
Kapsle A	2	2	2	3	3	3	4	4	4
Kapsle B	4	4	4	5	5	5	6	6	6
Parametry									
Doba hoření [s]	31	21	-	30	23	21	30	23	26
Svítivost, 10^5 [cd]	1,4	2	-	1,3	1,7	1,85	1,2	1,3	1,4
Světelná účinnost, 10^4 [cd·s·g^{-1}]	5,75	5,6	-	5,2	5,22	5,18	4,8	4,85	4,85

[10] Možné způsoby přípravy kapslí uvádí patenty US 3 041 289, US 2 969 331, US 2 800 458



Obrázek 9 – Grafické porovnání svítivosti Dillehay-Krackenberger-Havronových složí *[36]*

Tepperova / Hiltzova /Kruseova osvětlovací složе

Tepper i Hiltz navrhli téměř stejný postup výroby odlévatelné složе, liší se však v zásadním parametru – teplotě výroby složе. Kruse složе vyrábí stejným postupem, ovšem složе neodlévá, ale taví přímo v pouzdře.

Osvětlovací složе neobsahující pojivo, mající vysokou svítivost, skládající se z práškového kovu rozptýleném ve ztuhlé směsi dusičnanů nebo dusitanů alkalických kovů nebo kovů alkalických zemin. Jsou využívána eutektika[11] solí, neboť mají nižší teplotu tání. Odlévání je mnohem technologicky jednodušší než lisování, poskytuje větší jednotnost, rovnoměrnost hoření a konstantní svítivost [5].

Tepper jako okysličovadla volí dusičnany nebo chlorečnany. Je možné využít je samostatně, je však preferováno využití jejich směsi s teplotou tání nepřesahující 250°C. Palivem je práškový kov s velikostí částic nad 10-53 μm. Složе připravuje smísením 52 hm.% dusičnanu draselného, 17 hm.% dusičnanu sodného a 31 hm.% dusičnanu lithného a zahřátím v kelímku na 200°C, teplota je po roztavení udržována na 150°C. Následně přidává kovový hořčík v hmotnostním poměru 1:3 (kov:dusičnany) a směs míchá. Složе odlévá do nerezových pouzder a nechává zatuhnout při běžné teplotě. Při testu složе generovala bílé zářivé jiskry. Tepper testoval více podobných složí, lišící se směsí dusičnanů a kovových paliv, veškeré složе

[11] Tuhá směs dvou nebo více látek, jejichž krystaly se vytvářely při tuhnutí společně.

generují jiskry, nejsou uvedeny větší podrobnosti o jejich vlastnostech. Uvádí, že jsou složе vhodné pro trasovací střely i osvětlovací prostředky [6].

Hiltz složˇ připravuje předehřátím směsi dusičnanů na 150°C pro odpaření vlhkosti, následným zahřátím na 300°C a roztavením. Přidává práškový hořčík v poměru 1,25-1,5:1 (kov:dusičnany) a směs míchá. Odlévatelná kaši dávkuje do hliníkových pouzder a nechává zatuhnout chladnutím [5].

Složˇ hoří jasným, rovnoměrným plamenem a poskytuje stabilní, vysoce intenzivní osvětlení. Zpomalit hoření složе lze také přidáním fluoridu lithného na úkor snížení jasnosti plamene. Fluorid lithný lze přidávat až do 10 hm.% obsahu, čím větší je jeho obsah, tím více zpomaluje rychlost hoření, toho lze využít tam, kde je možné obětovat jasnost plamene za prodloužení doby hoření světlice [5]. Složení a parametry složˇ jsou uvedeny v tabulce 18.

Tabulka 18 – Složení a parametry Hiltzových odlévatelných osvětlovacích složˇ *[5]*

Suroviny [hm.%]	1.	2.	3.
$Ca(NO_3)_2$	15	-	10
$NaNO_3$	85	80	75
$LiNO_3$	-	-	15
$NaNO_2$	-	20	-
Mg (práškový, 210 μm)	130	155	150
Parametry			
Hmotnost světlice [g]	350	350	325
Doba hoření [s]	35	25	45
Svítivost, 10^5 [cd]	2,5	3,75	2,8

Kruse složˇ připravuje smísením suchého kovového paliva (hořčíku, hliníku nebo jejich slitiny) se směsí dusičnanů (lze použít dusičnan lithný, sodný, draselný, vápenatý, hořečnatý). Následuje promíchání v mísiči, plnění do pouzder a následné zahřátím s mírným zalisováním (tlakem 0,69 MPa), kdy dojde k roztavení směsi solí a spojení celé směsi. Složení složˇ a jejich parametry jsou uvedeny v tabulce 19 [37].

Tabulka 19 – Složení a parametry Kruseových osvětlovacích složˇ [37]

Suroviny [hm.%]	1.	2.	3.	4.	5.	6
$LiNO_3$	23,5	-	-	-	-	-
$NaNO_3$	16,3	49	49	49	49	49
KNO_3	60,2	-	-	-	-	-
$Ca(NO_3)_2$	-	-	-	-	5	5
$Mg(NO_3)_2$	-	51	51	51	45,4	45,4
Al [μm]	5	-	-	-	-	-
Mg [μm]	-	150-300	300-600	300-600	150-300	300-600
Poměr kov:okysličovadlo	50:50	65:35	70:30	65:35	65:35	65:35
Parametry						
Hmotnost světlice [g]	40	20	35	30	105	105
Materiál pouzdra	-	micarta*	micarta*	micarta*	hliník	hliník
Teplota tavení (teor.) [°C]	120	135	135	135	130	130
Teplota ohřevu [°C]	135-145	150-160	150-160	150-160	150-160	150-160
Doba ohřevu [min]	25	30-35	30-35	30-35	-	-
Doba hoření [s]	-	11,9	23	11,9	22,6	35,6
Svítivost, 10^4 [cd]	-	8,98	2,9	8,98	15,3	9,19
Sv. účinnost, 10^4 [$cd \cdot s \cdot g^{-1}$]	-	3,12	1,9	3,12	3,29	3,22

*kompozit lnu, plátna, papíru, skleněného vlákna, uhlíkových vláken nebo jiné tkaniny v termosetovém plastu

3.2.2. Slože obsahující energetické látky

Následující slože mají opět matrici skládající se z hořčíku a dusičnanu sodného s přídavkem energetické látky obsahující dusík nebo kyslík, která ve složi zastává roli pojiva nebo modifikátoru hoření a zlepšuje světelné charakteristiky složе. Přídavek těchto látek do určité míry eliminuje nežádoucí vlastnosti pojiv či snižuje potřebné množství kovového paliva a snižuje tak výrobní cenu složе.

Swotinsky-Newman-Colittiho osvětlovací složž

Pojivo zajišťuje pevnost složе a při sestavování složení je vybíráno pojivo splňující požadované parametry pevnosti. Při výběru pojiva je učiněn kompromis mezi pevností a svítivostí, neboť některá plastická pojiva svítivost snižují. Zvolením energetického pojiva plastisolového typu se světelné parametry naopak zvyšují, neboť je samo vysoce hořlavé [38].

Složž je tvořena plastisolovým pojivem nitrocelulózového typu plastifikované nitroestery. Bylo zjištěno, že je možné vyrábět složе s hmotnostním podílem 65 hm.% okysličovadla a paliva při použití energetického pojiva [38].

Kapalná směs pojiva je vysušena probubláváním vzduchem po dobu 72 hodin. Veškeré pevné komponenty jsou vysušeny na 60°C po dobu 24 hodin. Smíchání komponent probíhá pod vakuem za stálého míchání po dobu 30 min, je přidán kovový hořčík a míchán 15 min, dusičnan sodný je přidáván po částech (v časových intervalech 20-30 min). Teplota je poté zvýšena na 40°C a směs míchána 1 hodinu, po 45 minutách je do směsi přidán toluen-diisokyanát. Směs byla pod vakuem odlita do pouzder, vytvrzena za teploty 60°C po dobu 3-5 dnů [38]. Složení a parametry složе jsou uvedeny v tabulkách 20, 21.

Tabulka 20 – Složení Swotinsky-Newman-Colittiho osvětlovací složе *[38]*

Suroviny [hm.%]	1.
$NaNO_3$	26
Mg	39
Nitrocelulóza (12,6 % dusíku)	6,82
Nitroglycerin	0,1
Triethylenglykol dinitrát	18,09
1,2,4-Butantriol trinitrát	9,46
2-Nitrodifenylamin	0,28
Toluen-diisokyanát	0,25

Tabulka 21 – Parametry Swotinsky-Newman-Colittiho osvětlovací slože *[38]*

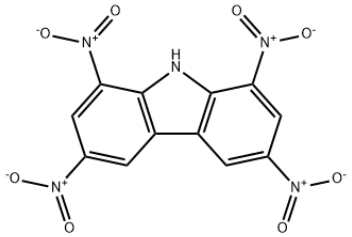
Parametry	Standard	1.	2.
Materiál pouzdra	karton	karton	plast
Počet testů	5	5	13
Hmotnost světlice[g]	150	209,1	204,8
Výška světlice [cm]	9,7	15	14,7
Svítivost, 10^3 [cd]	91,3	41	114,9
Doba hoření [s]	50,2	151	74,7
Rychlost hoření* [$cm \cdot s^{-1}$]	0,19	0,1	0,198
Světelná účinnost [$cd \cdot s \cdot g^{-1}$]	30,8	29,1	41,4

Orig.: *burning rate

Dillehayova osvětlovací složˇ

Cíl Dillehayovy úpravy osvětlovací slože spočívá v ovlivnění rychlosti hoření přidáním modifikátoru hoření – tetranitrokarbazolu (strukturní vzorec zobrazen na obrázku 10) v množství 0,5-2 hm.%. Přidání tetranitrokarbazolu umožňuje dosažení potřebné svítivosti s menším obsahem kovového paliva ve složi [39].

Složˇ se skládá z dusičnanu sodného, kovového hořčíku, kapalného polymerního pojiva a tetranitrokarbazolu. Preferované pojivo je kapalný polymer, který vytvrdne na pevný elastomer. Testovaným pojivem byl tekutý polymer Lp-33 a epoxidové tvrdidlo bisfenol A – diglycidyl ether. Použitý tetranitrokarbazol je pod obchodním názvem známý jako PAPD 639 (obsahující zejména 1,3,6,8-izomer a 10 % 1,2,6,8-izomeru) [39].

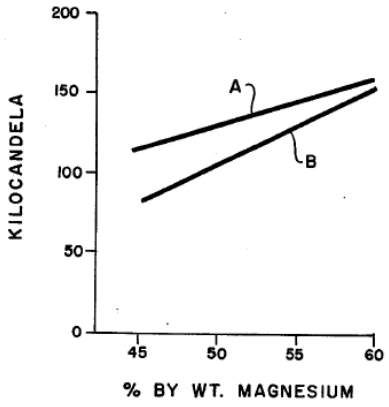


Obrázek 10 – Strukturní vzorec 1,3,6,8-tetranitrokarbazolu

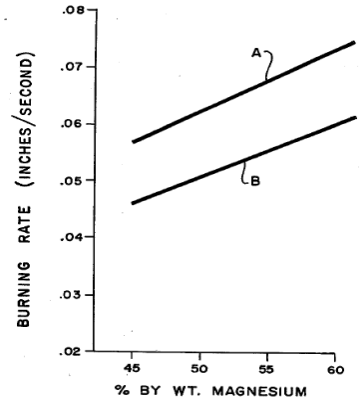
Parametry složˇe s obsahem 1 hm.% tetranitrokarbazolu (křivka A) byla testována oproti složi s nulovým obsahem tetranitrokarbazolu (křivka B). Složení a parametry složí jsou uvedeny v tabulce 22, grafické porovnání výsledků měření se nachází v grafech na obrázcích 11 a 12. Z grafů je možné vyčíst, že slože s obsahem tetranitrokarbazolu mají vyšší svítivost i rychlost hoření při nižším obsahu hořčíku, s rostoucím obsahem hořčíku začíná být svítivost slože podobná složi bez tetranitrokarbazolu [39].

Tabulka 22 – Složení a parametry Dillehayových osvětlovacích složí [39]

Suroviny	1.	2.	3.	4.
$NaNO_3$	48	43	38	33
Mg (granulovaný, 350-450 μm)	45	50	55	60
Tetranitrokazbazol	1	1	1	1
Pojivo				
Bisfenol-A diglycidyl ether	50	50	50	50
Lp-33	45	45	45	45
(Dimethylaminomethyl)fenol	5	5	5	5
Parametry				
Rychlost hoření [$mm \cdot s^{-1}$]	1,5	1,5	1,7	1,9
Svítivost, 10^5 [cd]	1,06	1,17	1,35	1,47
Světelná účinnost, 10^4 [$cd \cdot s \cdot g^{-1}$]	4,84	5,46	5,61	5,65



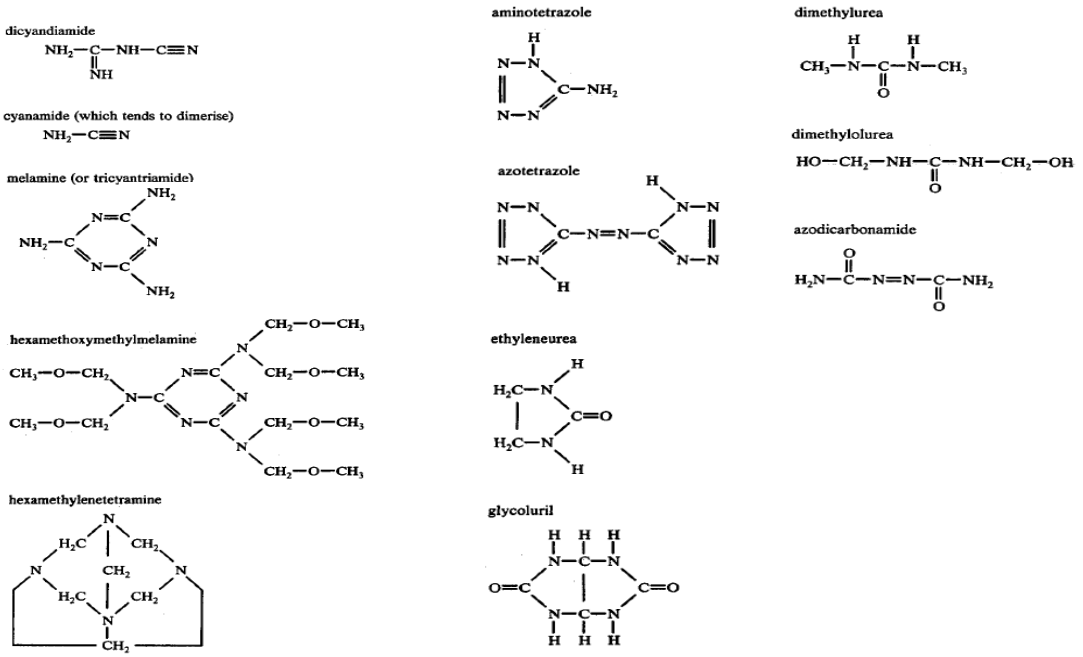
Obrázek 11 – Grafické znázornění závislosti svítivosti na hm.% hořčíku *[39]*



Obrázek 12 – Grafické znázornění závislosti rychlosti hoření na hm.% hořčíku *[39]*

Bernardyova osvětlovací složení

Pyrotechnická osvětlovací složení s dusičnanem sodným založená na obsahu 3-20 hm.% nitrocelulózy sloužící jako energetické pojivo, jedné nebo více netěkavých organických hořlavých látek obsahujících uhlík a dusík v obsahu 12-60 hm.% (samostatně použitelné látky – poskytující exotermní reakci hoření a látky použitelné ve směsi – poskytují endotermní reakci hoření zobrazuje obrázek 13) jako modifikátoru hoření, a kovovém paliva [40]. Jediné testované složení složení s dusičnanem sodným je uvedeno v tabulce 23, v patentu bylo testováno více poměrů s dusičnanem barnatým a strontnatým, včetně využití kovového paliva. Tyto poměry je teoreticky možné použít s využitím dusičnanu sodného [40].



Obrázek 13 – Organické látky použitelné samostatně (vlevo) a ve směsi (vpravo) *[40]*

Testovaný vzorek složení byl extrudován do válečků o průměru 8 mm, usušen a následně testován. Složení hoří žlutým plamenem, rychlost hoření byla změřena na 0,83 $mm \cdot s^{-1}$ [40].

Tabulka 23 – Složení Bernardyovy osvětlovací složení *[40]*

Suroviny [hm.%]	1.
$NaNO_3$	50
Dikyandiamid	40
Nitrocelulóza	10

Medyakin-Kostochko-Kukarnikova osvětlovací slož

Osvětlovací slož založená na obsahu 35-50 hm.% koloxylinu (nitrocelulóza s nižším obsahem dusíku), 21-36 hm.% nitroglycerinu a/nebo směs diethylenglykol dinitrátu s dinitrotoluenem (v poměru od 18:1 do 6:1), 0,5-1,5 hm.% sym-diethyldifenylkarbamidu, 0,5-1,5 hm.% vazelíny, 15-20 hm.% Mg-Al slitiny a 4-12 hm.% kryolitu. Slož je připravena v souladu s balistickou technologií[12] a lisována. Ke složi je uvedena svítivost 3800-6900 cd, sytost plamene 91-96 % a nízká kouřivost, nejsou však blíže specifikovány parametry testovaného tělesa [41].

3.2.3. Slož se specifickou funkcí - Lopatin-Hartova osvětlovací slož

Stávající osvětlovací složе ve velkých výškách (nad 30 km) vydávají okolo 1 % jejich svítivosti, kterou vydávají na úrovni moře. Započala tak snaha o vyvinutí složе, která bude mít dostatečnou svítivost i ve velkých výškách [42].

Slož se skládá z práškového vápníku ve směsi s chloristanem draselným. Při přípravě složí je důležitá velikost zrn jednotlivých komponent (vápník 25 μm, chloristan draselný 25-150 μm). Komponenty byly 30 minut míchány v suché atmosféře za běžné teploty a tlaku v gumové nádobě. Následně byla slož proseta sítem velikosti 1200 μm. Slož samotnou lze nabíjet a zalisovat do pouzdra či přidat pojivo pro zvýšení pevnosti složе (nitrocelulózový lak, vinyl-acetátové, polyesterové nebo epoxidové pryskyřice) [42].

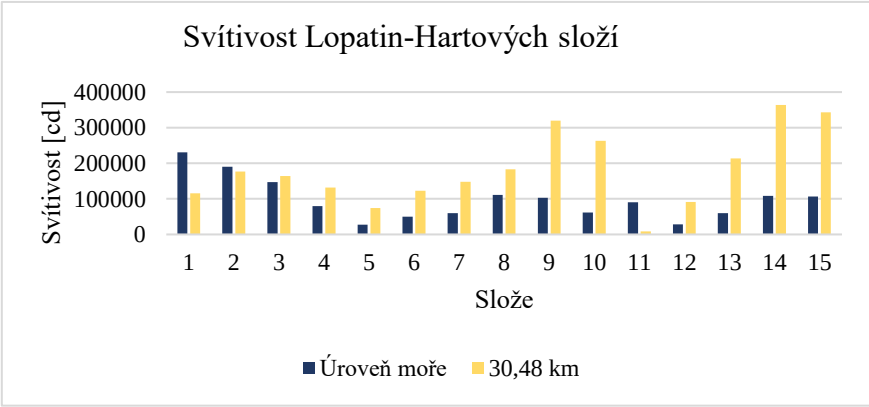
Kovový vápník je možné nahradit slitinami Ca-Mg/Ca-Al, lze využít i soli vápníku. Vápník hraje ve složi klíčovou roli, neboť se ve velkých výškách při hoření oxiduje na oxid vápenatý, který emituje velmi intenzivní světlo a má tak zvýšenou svítivost. Chloristan draselný lze nahradit jinými chloristany či dusičnany [42].

Složení a parametry složí jsou uvedeny v tabulce 24 a graficky porovnány na obrázku 14. Z grafického porovnání výkonu je znatelné, že s rostoucím obsahem vápníku ve složi její svítivost ve větších výškách roste [31].

[12] Blíže neupřesněno jakou balistickou technologií

Tabulka 24 – Složení a parametry Lopatin-Hartových osvětlovacích složí pro velké výšky *[42]*

Suroviny [hm.%]	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.
$KClO_4$	30	30	30	30	60	46,5	42	35	20	10	59	-	-	20	10
$NaClO_4$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	-	-
$NaNO_3$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10
$Ba(NO_3)_2$	30	30	30	30	-	-	-	-	-	-	-	57	-	-	-
Ca	-	10	20	30	40	53,5	58	65	80	90	-	43	60	80	80
Al	40	30	20	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41	-	-	-	-
Parametry															
Hmotnost složе [g]	30	25	22	20	17	14	14	15	12	-	25	20	-	-	-
Svítivost (úroveň moře), 10^5 [cd]	2,3	1,9	1,5	0,8	0,3	0,5	0,6	1,1	1	0,6	0,9	0,3	0,6	1,1	1,1
Svítivost (nad 30 km), 10^5 [cd]	1,2	1,8	1,6	1,3	0,7	1,2	1,5	1,8	3,2	2,6	0,1	0,9	2,1	3,6	3,4



Obrázek 14 – Grafické porovnání svítivosti Lopatin-Hartových složí *[42]*

3.2.4. Slože emitující infračervené záření

Osvětlovací slože založené na emisi infračerveného záření vyvinuté pro zlepšení funkce zařízení pro noční vidění. Matrice těchto složí se skládá často ze směsi dusičnanu draselného, rubidného, cesného nebo amonného, které emitují světlo v infračervené oblasti a kovového paliva ve formě křemíku s borem. Tyto slože obsahují kromě pojiva další modifikátory, které slouží zejména ke snížení emise viditelného světla.

Lokhampova „near IR“ osvětlovací složž

Osvětlovací složž, která při hoření emituje infračervené záření v oblasti 740-1200 nm s malou emisí viditelného světla. Emitované záření lze využít pro ozáření cíle pro zlepšení dosahu a rozlišení zařízení pro noční vidění [43].

Pro maximální emisi v oblasti 760 nm je použit dusičnan draselný, pro emisi v oblasti 770-800 nm dusičnan rubidný a pro emisi v oblasti 850-1200 nm dusičnan cesný. Křemík slouží jako kovové palivo s nízkou emisí záření ve viditelném spektru. Urotropin slouží jako regulátor rychlosti hoření [43].

Složení složí je uvedeno v tabulce 25. Složž je lisována do obalu tlakem 27,6 – 69 MPa. Další světelné charakteristiky nejsou autory uvedeny [43].

Tabulka 25 – Složení Lokhampových „near infrared“ osvětlovacích složí *[43]*

Suroviny [hm.%]	1.	2.	3.
KNO_3	70	-	-
$RbNO_3$	-	60,8	-
$CsNO_3$	-	-	78,7
Si	10	10	16,3
Urotropin	16	23,2	-
Epoxidová pryskyřice (D.E.R. 321)	2,8	4,2	3,3
Epoxidové tvrdidlo (D.E.H. 14)	1,2	1,8	1,7

Nielsonova IR osvětlovací složˇ

Inovace osvětlovací složˇe emitující infračervené záření využívající jako okysličovadlo dusičnan draselný, dusičnan cesný nebo jejich směs. Jako paliva a pojiva jsou zvoleny látky, které nehrudkovatí složˇ, při hoření netvoří saze a emitují co nejmenší množství viditelného světla. Vhodnými pojivy jsou polymery s krátkým řetězcem (1-6 uhlíků), např. polyestery, polyethery, polyamidy a polyaminy. Specifickým příkladem pojiva je například polyesterová pryskyřice Witco Formrez 17-80 v kombinaci s epoxidovou pryskyřicí ERLA 0510 s katalyzátorem ve formě linoleátu železa [44].

Paliva tvoří látky obsahující dusík a kyslík, hořící bez tvorby sazí a s co nejmenší emitací viditelného světla. Využitelnými látkami jsou například dikyandiamid, kyanonitramid, dikyanamid, močovina, guanidin, azodikarbonamid a látky jim podobné. Bor s křemíkem slouží ve složi jako zdroj tepla a regulátor rychlosti hoření. Složení a parametry testovaných složí jsou uvedeny v tabulce 26 [44].

Rychlost hoření testovaných dosahovala od 0,76-3,81 $mm \cdot s^{-1}$, nejvhodnější rychlost hoření je 1,52 $mm \cdot s^{-1}$. Poměr emise IR/VIS by měl být minimálně 3,5, nejlépe nad 6 [44].

Tabulka 26 – Složení a parametry Nielsonových infrared osvětlovacích složí *[44]*

Suroviny [hm.%]	1.	2.	3.	4.	5.	6.
KNO_3	70	70	64	50	-	35
$CsNO_3$	-	-	-	10	80	45
Dikyanimidazol draselný*	15	-	15	-	-	-
4,5-Dikyanoimidazol**	-	15	-	-	-	-
Si	7	7	15	14	20	10
B	2	2	-	4	-	4
Witco premix***	6	6	6	6	6	-
Melamin	-	-	-	16	-	-
Polypropylenglykol	-	-	-	-	-	6
Parametry						
Váha světlice [g]	3	3	3	2268	3	-
Doba hoření [s]	8,57	13,13	12,76	159,6	4,5	185
Rychlost hoření [$cm \cdot s^{-1}$]	0,145	0,102	0,099	0,196	0,203	0,173
Průměr IR [mV]	701,57	560,2	467,03	2352	2600	1590
Průměr VIS [mV]	94,02	73,03	64	346,1	260	263
IR/VIS	7,47	7,67	7,28	6,79	10	6,1

Orig.: *potassium dicyanoimidizole,**4,5-dicyanoimidizole,***WITCO 17-80 tekutý polyester (Triethylenglykol sukcinát) s adekvátním množstvím tvrdidla

Dillehay-Turnerova IR osvětlovací slož

Některé osvětlovací složе pro infračervenou oblast záření obsahují jako palivo dusičnan draselný, který při hoření emituje záření ve viditelné oblasti a snižuje tak index utajení[13] [45].

Inovovaná osvětlovací slož emitující infračervené záření v rozmezí 700-900 nm, využívající jako okysličovadlo místo dusičnanu draselného dusičnan amonný, který poskytuje vodík jako palivo a dusík, který neemituje žádné záření a neovlivňuje tak index utajení. Dochází tak ke snížení emise viditelného záření minimálně dvěma mechanismy – eliminací emise draslíku ve viditelném spektru a eliminací produkce těkavých kovových produktů spalovaní, které snižují teplotu hoření a zvyšují emisi viditelného světla [45].

Jako palivo mohu být využity kovové nebo organické látky, je ale nutné pohlížet na množství vyzařovaného viditelného světla. Autoři využívají jako paliva melamin, který prodlužuje stálost a dobu trvanlivosti složе a urotropin, je však možné použít jiné dusíkaté organické látky jako například kyselinu močovou, guanin, guanidin nebo adenin. Z kovových paliv autoři využívají hydrid zirkoničitý, který snižuje citlivost na elektrostatický náboj, dále lze využít bór, křemík, wolfram nebo jejich směs [45].

Jako pojiva jsou využity polyesterové pryskyřice Witco Formrez 17-80 a epoxidové pryskyřice ERLA 0510, je využita i vinyl alkohol-acetátová pryskyřice, která nemá omezenou dobu zpracovatelnosti a lze ji lisovat. Testované složení složí je uvedeno v tabulce 27 [45].

Tabulka 27 – Složení Dillehay-Turnerových infrared osvětlovacích složí *[45]*

Suroviny [hm.%]	1.	2.	3.	4.
NH_4NO_3	59	59	59	59
$CsNO_3$	10	10	10	10
Fe_3O_4*	1	1	1	1
Witco Formrez 17-80	5	-	5	5
ERLA 0510	1	-	1	1
VAAR	-	6	-	-
Si	7	7	7	7
Urotropin	15	15	-	15
Melamin	-	-	15	-
B	2	2	2	-
ZrH_4	-	-	-	2

Orig: *iron oxide

[13] Orig.: concealment index – poměr infračerveného záření ku viditelnému záření vyzařovaného světlicí

4. Složе 21. století

4.1. Moderní složе

S počátkem 21. století a narůstajícím vlivem ekologie na veškerá odvětví průmyslu přizpůsobuje i pyrotechnika. Je tak snaha vyvinout osvětlovací složе bez použití toxických látek a co nejšetrnějším přístupem k životnímu prostředí.

Klíčový systém dusičnan sodný/hořčík zůstává nezměněn. Chloristany využívané jako okysličovadla jsou regulovány z důvodu toxicity produktů jejich hoření a toxicity reziduí složí v přírodě, které se dostávají do podzemní vody [46].

Mění se i pojivové systémy. Využívaný systém Laminac 4116/Lupersol DDM je značně nevýhodný. Laminac 4116 je acetonový roztok polyesterové pryskyřice se styrenovým monomerem, při výrobě složí se z něj uvolňují acetonové výpary, styren byl charakterizován jako toxický a navíc byl Laminac 4116 vyráběn pouze jedním výrobcem, při výpadku výroby by tak byl zcela nedostupný. Lupersol DDM je roztok methylethylketonperoxidu a dimethylftalátu, který byl také označen jako toxický [47].

4.1.1. Vývoj složí nahrazující chloristany

Složе spočívající zejména v nahrazení chloristanů jinými okysličovadly, které neovlivňují nebo zvyšují světelné charakteristiky složí.

Yamamoto-Shortridgeova osvětlovací složе

Inovace chloristanové žlutě hořící osvětlovací složе spočívající v nahrazení chloristanu méně toxickými dusičnany. Složení složí je uvedeno v tabulce 28 [46].

Tabulka 28 – Složení složе s chloristanem draselným a její alternativy *[46]*

Suroviny [hm.%]	Standard	1.	2.	3.
$NaNO_3$	-	20	26,1	37
$Ba(NO_3)_2$	20	34,1	29	27,05
$KClO_4$	21	-	-	-
Mg	30,3	28,1	23	20,1
Mg-Al	-	-	3,6	-
$Na_2C_2O_4$	19,18	-	-	-
PVC	-	8,9	8,1	10,9
Asfalt	3,95	3,95	3,95	-
Epon 813	3,47	3,47	3,47	3,47
Versamid 140	1,48	1,48	1,48	1,48

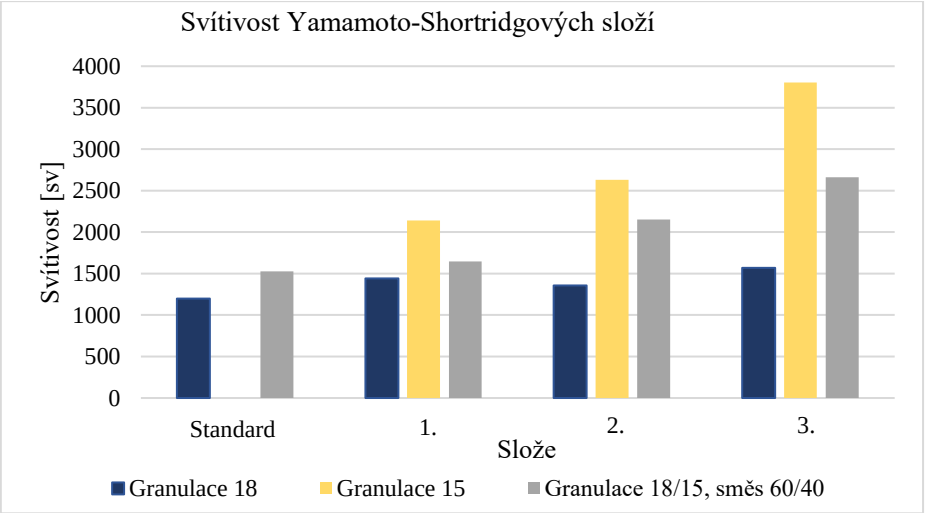
Pro uskutečnění testů byly připraveny tři testovací série světlic o hmotnosti 15 gramů. První testovaná série obsahovala hořčík o větším rozměru částic (granulace 18: 600-300 μm), druhá testovací série obsahovala hořčík o menším rozměru částic (granulace 15: 150-75 μm) a třetí testovací série obsahovala kombinaci obou frakcí hořčíku [46].

Testované slože byly připraveny smícháním hořčíku s pojivem, následným přidáním dusičnanu sodného, dusičnanu barnatého a polyvinylchloridu. Zhomogenizovaná směs byla prosítována, nechána vyzrát a následně zalisována po 15 gramech do testovacích pouzder. Výsledky testovaných sérií jsou uvedeny v tabulce 29 a graficky porovnány na obrázku 15 [46].

Tabulka 29 – Parametry složе při použití hořčíku o granulaci 18, 15 a jejich směsi *[46]*

Parametry (gr.18)	Standard	1.	2.	3.
Počet testů	6	6	6	6
Sytost barvy [%]	78,3	77,3	78,4	75,3
Dominantní vlnová délka [nm]	587	583	585	583
Svítivost [cd]	1 199	1 442	1 357	1 571
Světelná účinnost [cd·s·g^{-1}]	3 227	4 902	4 704	6 179
Doba hoření [s]	41	51	52	59
Parametry (gr.15)				
Počet testů	-	3	3	3
Sytost barvy [%]	-	89	90	87
Dominantní vlnová délka [nm]	-	582	584	582
Svítivost [cd]	-	2 140	2 630	3 805
Světelná účinnost [cd·s·g^{-1}]	-	3 709	4 558	6 595
Doba hoření [s]	-	26	26	26
Parametry (gr. směs 60/40)				
Počet testů	3	3	3	3
Poměr granulace (15/18)	0/100	60/40	60/40	60/40
Sytost barvy [%]	89	86	89	84
Dominantní vlnová délka [nm]	581	578	579	578
Svítivost [cd]	1 525	1 648	2 152	2 662
Světelná účinnost [cd·s·g^{-1}]	3 863	2 856	4 590	6 033
Doba hoření [s]	38	26	32	34

Z grafického srovnání je ihned patrné, že složе bez chloristanů mají značně lepší výsledky než doposud používaná slož. Snížením velikosti částic značně roste rychlost hoření i svítivost. Doba hoření složе s jemnou frakcí hořčíku je přibližně poloviční a svítivost téměř dvojnásobná oproti složi s hrubou frakcí hořčíku. Barva plamene složе bez obsahu chloristanů je více žlutá oproti původní oranžovo-žluté barvě plamene chloristanové složе [46].



Obrázek 15 – Grafické porovnání svítivosti Yamamoto-Shortridgeových složí *[46]*

Miklaszewski-Dilger-Yamamoto osvětlovací složе

Používaná složе pro jeden z dalších osvětlovacích prostředků Mk 144 obsahuje chloristan draselný a dusičnan barnatý, který je snaha z ekologického hlediska odstranit. Inovativní složení složí využívá změnu okysličovadla a různé velikostí hořčíku, složení testovaných složí je uvedeno v tabulce 30 [7].

Tabulka 30 – Složení Miklaszewski-Dilger-Yamamotové osvětlovacích složí *[7]*

Suroviny [hm.%]	Mk 144	1.	2.	3.	4.	5.A	5.B	6.A	6.B	7.	8.A	8.B	9.A	9.B
$KClO_4$	*a*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$NaNO_3$	-	53,2	-	58	20	27,4	26,8	37	36,2	72	69	65,6	39	38,2
KNO_3	-	-	36,2	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$Ba(NO_3)_2$	*a*	-	-	-	34,1	29	28,4	27	26,5	-	-	-	-	-
Mg (300-150 μm)	*a*	16,2	29,4	22	28,1	23	22,5	20,1	19,7	23	26	25,5	26	25,5
Mg-Al	-	-	-	-	-	3,6	3,5	-	-	-	-	-	-	-
$Na_2C_2O_4$	*a*	-	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	29,4
PVC	-	25,6	-	-	8,9	8,1	7,9	10,9	10,6	-	-	-	-	-
Asfalt	*a*	-	-	-	4	4	3,9	-	-	-	-	-	-	-
Epoxid*	*a*	5	5	5	5	5	7	5	7	5	5	7	5	7

a) přesné složení komponent není schváleno pro veřejné použití
*epoxidový pojivový systém – Epon 813/Versamid 140 (70:30)

Složе byly namíchány, nechány vyzrát, zalisovány do 15 g světlic, vytvrzeny při teplotě 60°C po dobu 24 hodin a otestovány. Výsledky testů jsou uvedeny v tabulce 31 a graficky porovnány na obrázku 16. Porovnáním testovaných složí byla ověřena možnost použití dvou cest barvení

plamene. Využití samotné sodné soli nebo mícháním barev plamene využitím kombinace sodné a barnaté soli s polyvinylchloridem jako donorem chloru [7].

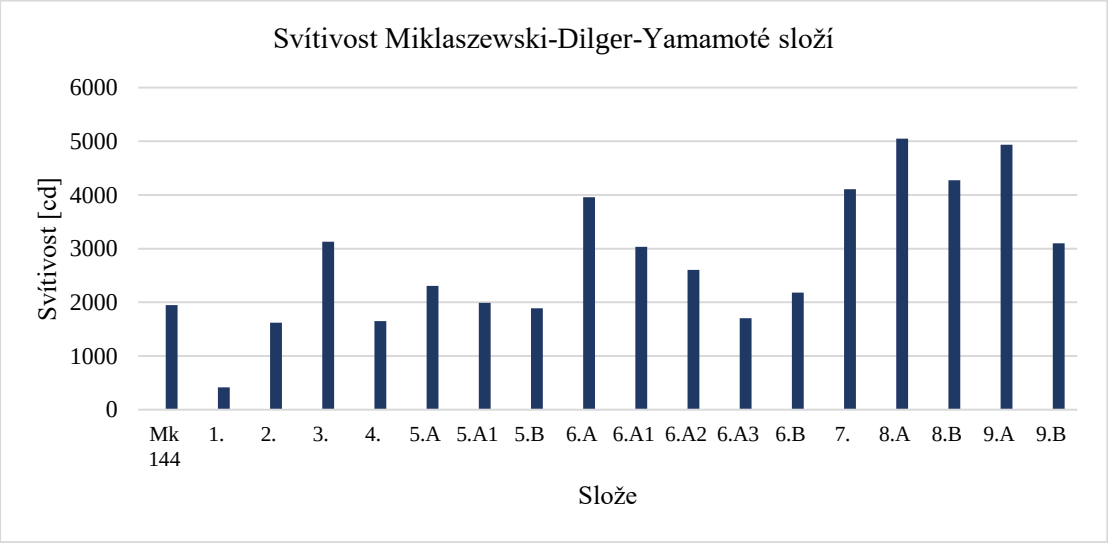
Nejlepší výsledků první testované sady složí (1.-6.) vykazovala slož 5.A a 6.A jejíž svítivost a doba hoření byly upravovány rozdílnou zrnitostí hořčíku 5.A1 (150-75/600-300 μm v poměru 60/40), 6.A1 (150-75 μm), 6.A2 (150-75/600-300 μm v poměru 60/40), 6.A3 (600-300 μm) nebo zvýšením obsahu pojiva na 7 hm.% (slože 5.B a 6.B). Těmito úpravami došlo ke kompromisu mezi svítivostí a dobou hoření[14] [7].

Druhá sada testovaných složí (7.-9.) má celkově mnohem lepší výsledky než sada první. Nejlepší výsledky vykazovala slož. 8.A a 9.A, jejichž složení bylo opět upraveno změnou obsahu pojiva. Slož 9.B byla vybrána jako náhrada používané složе pro Mk 144. [7].

[14] Z mého pohledu neměly tyto úpravy velký význam, neboť slože 5.A i 5.B překonaly Mk 144

Tabulka 31 – Parametry Miklaszewski-Dilger-Yamamotové osvětlovacích složí *[7; 48]*

Vlastnosti	Mk 144	1.	2.	3.	4.	5.A	5.A1	5.B	6.A	6.A1	6.A2	6.A3	6.B	7.	8.A	8.B	9.A	9.B
Čas hoření [s]	42,3	61,5	40,7	41,9	39,9	42,6	37,6	45,6	43,5	29,7	36,7	65,1	49,5	40,9	37,5	46,2	39,1	46,2
Svítivost, 10^3 [cd]	1,9	0,4	1,6	3,1	1,6	2	2,3	1,9	2,6	4	3	1,7	2,2	4,1	5	4,3	4,9	3,1
Sv. účinnost, 10^3 [cd·s·g^{-1}]	2,6	0,4	1,6	3,1	1,6	2,7	3,1	2,5	3,5	5,3	4,0	2,3	2,9	5,5	6,7	5,7	6,6	4,1
Dom. vlnová délka [nm]	587,8	589	589	588	583	585,5	585,5	585,3	584	584	584	585	584,7	586,7	588	588,5	587	587
Sytost barvy [%]	89	93,4	89	77	87	90	86,2	90,1	86,2	86,3	86,4	86,6	88,8	80,2	78,1	83	90	92,2



Obrázek 16 – Grafické porovnání svítivosti Miklaszewski-Dilger-Yamamoté složí *[7]*

4.1.2. Vývoj složí nahrazující nevyhovující pojiva

Slože spočívající zejména v nahrazení toxických nebo nevyhovujících pojivových systémů ekologičtějšími pojivy, které zlepšují světelné parametry složí.

Sabatini-Raab-Hannova osvětlovací složí

Ruční osvětlovací prostředek M127A1 patří mezi nejpoužívanější osvětlovací prostředky americké armády. Bylo tak vyvinuto nemalé množství úsilí pro inovaci používané složе. Složí využívala nevyhovující pojivový systém Laminac 4116/Lupersol DDM (polyesterové pojivo), který je nahrazen netoxickým pojivovým systémem Epon 813/Versamid 140 (epoxidové pojivo) [49].

Pro zvýšení doby skladování byl nahrazen práškový dusičnan sodný kuličkovým, čímž byl snížen specifický povrch okysličovadla a je tak snížena hygroskopicita. Původní složení M127A1 (kontrolní) a nové složení testovaných složí je uvedeno v tabulce 32 [49].

Tabulka 32 – Aktuální a testované složení nových složí pro M127A1 *[49]*

Suroviny [hm.%]	M127A1 (kontrolní)	1.	2.	3.	4.
$NaNO_3$ (práškový)	29	-	-	-	-
$NaNO_3$ (kuličkový)	-	29	24	30	31
Mg (595-297 μm)	66	66	71	66	66
Pojivo	5*	5**	5**	4**	3**

*Laminac 4116/Lupersol DDM, **Epon 813/Versamid 140 v poměru 80 : 20

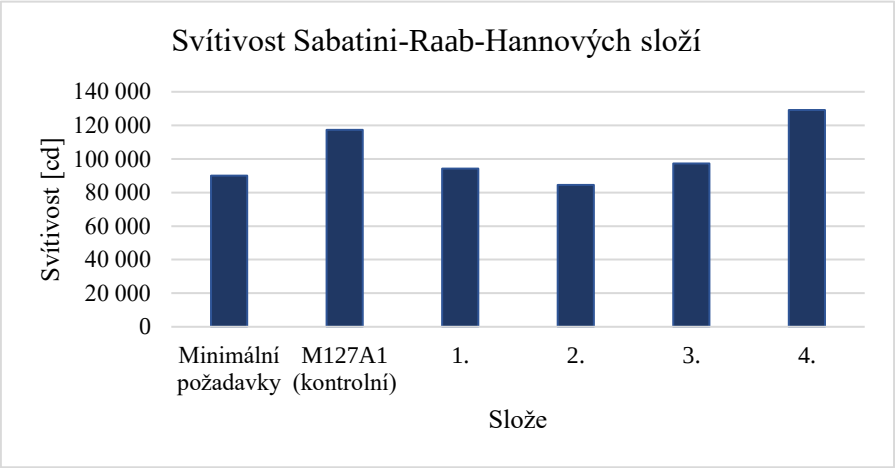
Složе byly připraveny smícháním pojiva s kovovým hořčíkem, míchány 15 minut při 0,206 MPa, poté byl přidán dusičnan sodný, míchán 10 minut a následně na vzduchu směs zrála 2-3 hodiny před vytvrzením. Složí o hmotnosti přibližně 85 g byla zalisována do papírového pouzdra o délce 8,13 cm a průměru 4,93 cm ručním lisem. Každá světlice tak obsahuje okolo 85 g složе. Po vytvrzení byly sušeny při teplotě 60°C přes noc [49].

Z výsledků statických testů uvedených v tabulce 33 a graficky porovnaných na obrázku 17 je možné vyhodnotit, že složí 1. dosahuje téměř stejnou dobu hoření jako kontrolní složí, pouze má nižší svítivost. Složí 2. má celkově horší výsledky a nedosahuje ani minimálních požadavků. Nejlepších výsledků tedy dosáhla složí 3., která má vyhovující dobu hoření i svítivost a překonala i minimální požadavky. Mohlo by se zdát, že nejlepších výsledků dosahuje složí 4., doba hoření této složе je však hraniční, nemusela by tak uspět při balistickém testování, kde je rychlost hoření větší než při statickém testu [49].

Tabulka 33 – Parametry Sabatini-Raab-Hannových osvětlovacích složí *[49]*

Parametry	Minimální požadavky	M127A1 (kontrolní)	1.	2.	3.	4.
Doba hoření [s]	25	31,4	30,3	29,7	29,6	26,2
Svítivost [cd]	90 000	117 239	94 255	84 479	97 253	129 059
Světelná účinnost [cd·s·g^{-1}]	-	42 070	33 590	29 419	33 800	39 888
Dom. vlnová délka [nm]	-	587,4	588,1	588,2	588	588,8
Čistota spektra [%]	-	86,5	88,4	86,7	85,5	83,8
Výška složе [cm]	-	7,49	7,21	7,38	7,23	7,32
Hmotnost složе [g]	-	84,97	85,66	84,93	84,97	84,91
Rychlost hoření [cm·s^{-1}]	-	0,239	0,238	0,248	0,244	0,279
Spotřeba složе* [g·s^{-1}]	-	2,71	2,83	2,86	2,87	3,24

*mass consumption [g·s^{-1}]



Obrázek 17 – Grafické porovnání svítivosti Sabatini-Raab-Hannových složí *[49]*

Sabatini-Raab-Hann-Freemanova osvětlovací složе

Při vývoji pyrotechnických složí šetrným k životnímu prostředí byla nejdříve snaha nahradit chloristany, následně zdravotně závadné pojivové systémy a dalším krokem je snaha nahradit v pyrotechnických složích těžké kovy. V tomto výzkumu se autoři zaměřili na inovaci složе pro osvětlovací prostředek M159[15] obsahující dusičnan barnatý a jeho záměnu za dusičnan sodný. Dusičnanu barnatý, které se nachází zejména ve složích hořících zeleným plamenem, se také nachází v osvětlovacích prostředcích hořících bílým plamenem, neboť se ve složi při hoření bez donoru chloru oxiduje na oxid barnatý, který emituje žhavé částice jevící se pro pozorovatele jako bílé světlo [50]. Složení testovaných složí je uvedeno v tabulce 34.

[15] White star illuminant – cluster

Tabulka 34 – Složení Sabatini-Raab-Hann-Freemanových osvětlovacích složí *[50]*

Suroviny [hm.%]	M159 (kontrolní)	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
$NaNO_3$ (kuličkový)	-	65,5	60,5	55,5	50,5	65,5	60,5	55,5
$Ba(NO_3)_2$	49,5	-	-	-	-	-	-	-
$Sr(NO_3)_2$	16,5	-	-	-	-	-	-	-
Mg (297-595 μm)	29,5	29,5	34,5	39,5	44,5	31,5	36,5	41,5
Pojivo	5*	5**	5**	5**	5**	3**	3**	3**

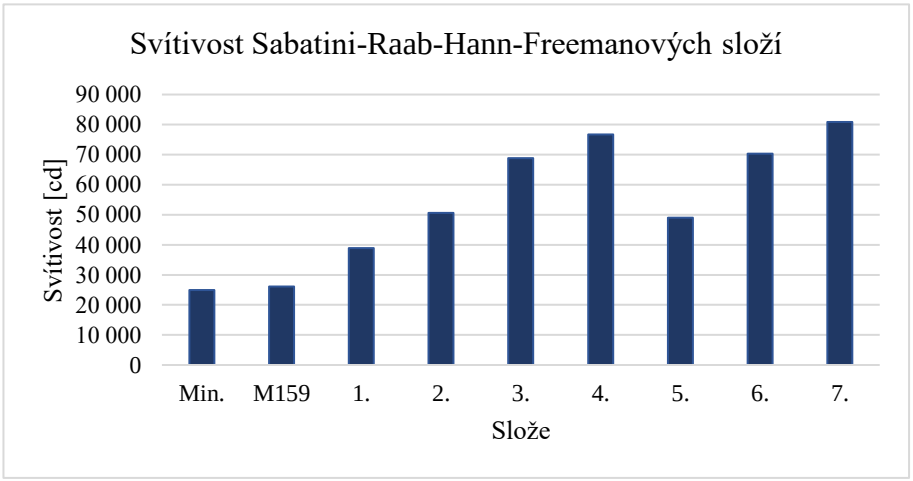
*Laminac 4116/Lupersol DDM, **Epon 813/Versamid 140

Z výsledků testů, které jsou uvedeny v tabulce 35 a graficky porovnaných na obrázku 18 lze vyčíst, že všechny testované složе splnily nejen minimální požadavky, ale také mnohonásobně překonaly stávající složˇ. Zcela nejlepšího výsledku bylo dosaženo u složе 4., která hořela 3,25× větší svítivostí a měla 2,93× delší dobu hoření [50].

Tabulka 35 – Parametry Sabatini-Raab-Hann-Freemanových osvětlovacích složí [50]

Parametry	Minimální požadavky	M159 (kontrolní)	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Doba hoření [s]	6,5	7,6	13,1	10,9	9,1	8,5	10,3	8,9	6,8
Svítivost, 10^4 [cd]	2,5	2,6	3,9	5,1	6,9	7,7	4,9	7	8,1
Sv. účinnost, 10^4 [cd·s·g^{-1}]	-	0,9	2,5	2,7	3	3,2	2,5	3	2,6
Dom. vln. délka [nm]	575 ± 10	584,2	588,5	588,7	588,1	588,2	588	588,1	587,8
Čistota spektra [%]	50 max.	49,6	87,6	88,4	85,7	86,7	85,2	85,3	84,4
Výška světlice [cm]	-	2	1,97	1,94	1,97	2	1,94	2,01	2,01
Váha světlice [g]	-	20,5	20,8	20,8	20,7	20,7	20,6	20,7	20,9
Rychlost hoření [cm·s^{-1}]	-	0,263	0,15	0,178	0,216	0,235	0,188	0,226	0,296
Spotřeba složе* [g·s^{-1}]	-	2,7	1,59	1,91	2,27	2,44	2	2,33	3,07

*mass consumption [g·s^{-1}]



Obrázek 18 – Grafické porovnání svítivost Sabatini-Hann-Freemanových složí *[50]*

Sadek-Kassem-Abdova osvětlovací složˇ

Autoři vyvíjeli žlutě hořící složˇ s vyšší svítivostí a sytosti barvy v porovnání s ruskou žlutě hořící složí. Tohoto zvýšení bylo docíleno optimalizací pojiva a paliva [8].

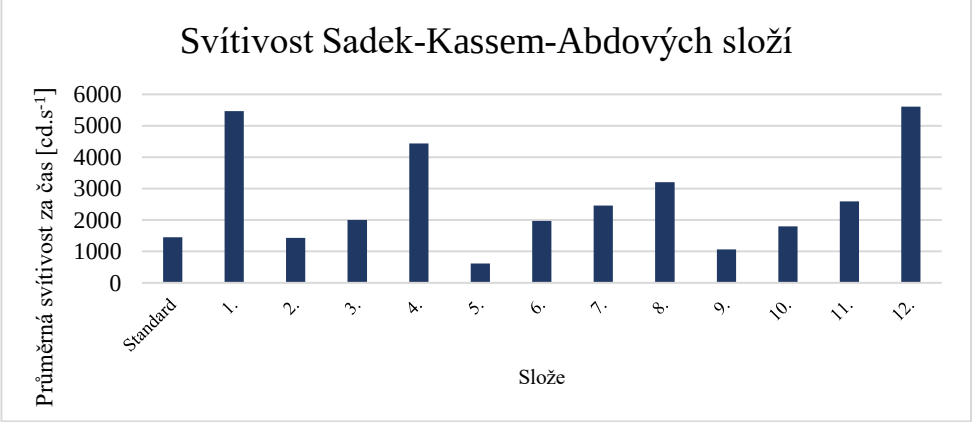
Pojivový systém má velký vliv na sytost barvy, při použití polyvinylchloridu dochází kvůli tvorbě chloridu sodného v plameni k omezení vzniku sodíkových par, což snižuje sytost barvy plamene. Použití šelaku bylo také vyloučeno, neboť má nízké teplotu hoření a složˇ nemá dostatečnou emisi světla. Jako nejvhodnější se jevilo použití arabské gumy, která zvyšovala jak svítivost, tak sytost barvy plamene [8].

Většina osvětlovacích složí obsahuje jako palivo hořčík, ten se při hoření oxiduje na oxid hořečnatý, který při žhavení emituje bílé světlo. Zde však není vhodný, neboť snižuje sytost žluté barvy plamene. Hořčík byl nahrazen hliníkem, což mělo za důsledek zvýšení svítivosti i sytosti barvy. Složení a parametry složí jsou uvedeny v tabulce 36, graficky jsou srovnány na obrázku 19. Nejlepších výsledků dosahuje složˇ 12., která má oproti standardu o 287 % vyšší svítivost a o 170 % vyšší sytost barvy. Detailnější parametry autoři neuvádí [8].

Tabulka 36 – Složení a parametry Sadek-Kassem-Abdových osvětlovacích složí [8]

Suroviny [hm.%]	Standard	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
$NaNO_3$	56	67,8	56	56	55	62	59	62	59	66	61	66	61
Mg	27	15,2	27	27	-	21	24	-	-	27	27	-	-
Al	-	-	-	-	28	-	-	21	24	-	-	27	27
PVC	17	17	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-
Šelak	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arabská guma	-	-	-	17	-	17	17	17	17	7	12	7	12
Parametry													
Svítivost*,10^3 [cd·s^{-1}]	1,45	0,42	1,43	2	4,43	0,61	1,96	2,46	3,20	1,06	1,79	2,59	5,60

Orig.: *average luminous intensity per time

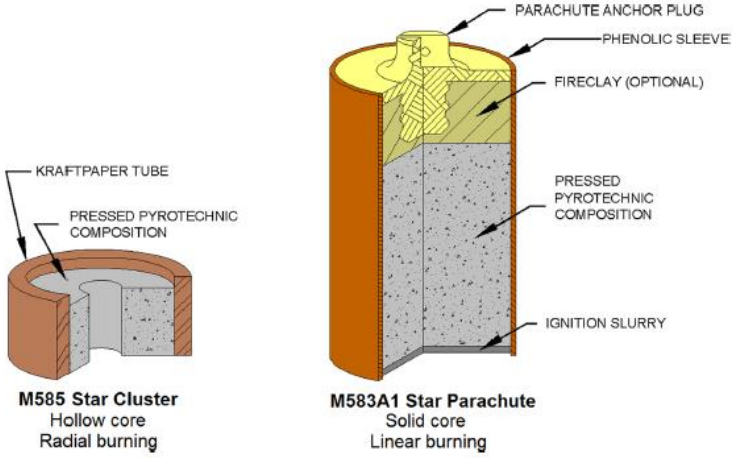


Obrázek 19 – Grafické porovnání svítivosti Sadek-Kassem-Abdových složí [8]

Moretti-Sabatini-Poret-Gilbertova slož pro 40mm osvětlovací granáty

Další z mnoha inovací pro osvětlovací prostředky využívaných americkou armádou, zde konkrétně pro 40mm osvětlovací granáty. Inovace spočívá opět v nahrazení polyesterového pojivového systému za termosetový epoxid a možnosti využití kartonových pouzder místo laminovaných Vitonem[16] pro snížení nákladů na výrobu.

Světlice M583A1 je konstruována z Vitonem laminovaného pouzdra a obsahuje padák, je pro ni vyžadována svítivost alespoň 70 000 cd a doba hoření 35 sekund. Světlice M585 je konstruována z kartonového pouzdra, je pro ni vyžadována svítivost 30 000 cd a doba hoření 6 sekund (viz obrázek 20). Testovací světlice byly připraveny zalisováním slože do pouzder a vytvrzením po dobu 16 hodin při teplotě 60°C. Složení a parametry kontrolních složí je uvedeno v tabulce 37. [47].



Obrázek 20 – Konstrukce světlic M585 a M583A1 *[47]*

Tabulka 37 – Složení a parametry kontrolních složí *[47]*

Suroviny [hm.%]	M583A1	M583A1	M585
Materiál pouzdra	karton	laminovaná Vitonem	karton
$NaNO_3$	41	41	56,5
Mg (595-297 μm)	28	28	18
Mg (297-149 μm)	20	20	18
Laminac 4116	10,45	10,45	7,125
Lupersol DDM	0,55	0,55	0,375
Parametry			
Doba hoření [s]	17,62	39,91	7,17
Svítivost [cd]	120 716	97 108	54 414

[16] Viton – druh fluorovodíkového kaučuku

Z výsledku testů kontrolních složí M583A1 je vidět značný rozdíl v době hoření a svítivosti stejné složе s jediným rozdílem, a to laminovaným pouzdrem. Laminovaná vrstva slouží jako tepelná bariéra a nedochází tak k přenosu tepla ve sloupci a přechodu hoření z laminárního na radiální. Tabulka 38 obsahuje výsledky testovaných složí v nelaminovaných pouzdrech s novým pojivovým systémem, které jsou graficky porovnány na obrázku 21 [47].

V první sadě složí je možné pozorovat vliv poměrů frakcí hořčíku na svítivost a dobu hoření. Pro M583A1 složе 1.-8. bohužel nesplnily minimální technické charakteristiky a jejich další využití bez laminovaného pouzdra není možné. Pro M585 je možné využít složе 4.-6. [47]

Změnou poměru pojiva došlo u složí 9.-11. k navýšení svítivosti, ovšem doba hoření stále není dostatečná, složе jsou tak opět využitelné pouze pro M585 [47].

Sada složí 12.-14. poskytuje pro M583A1 dostatečnou dobu hoření i svítivost. Nejlepších výsledků dosahuje složˇ 13. [47]

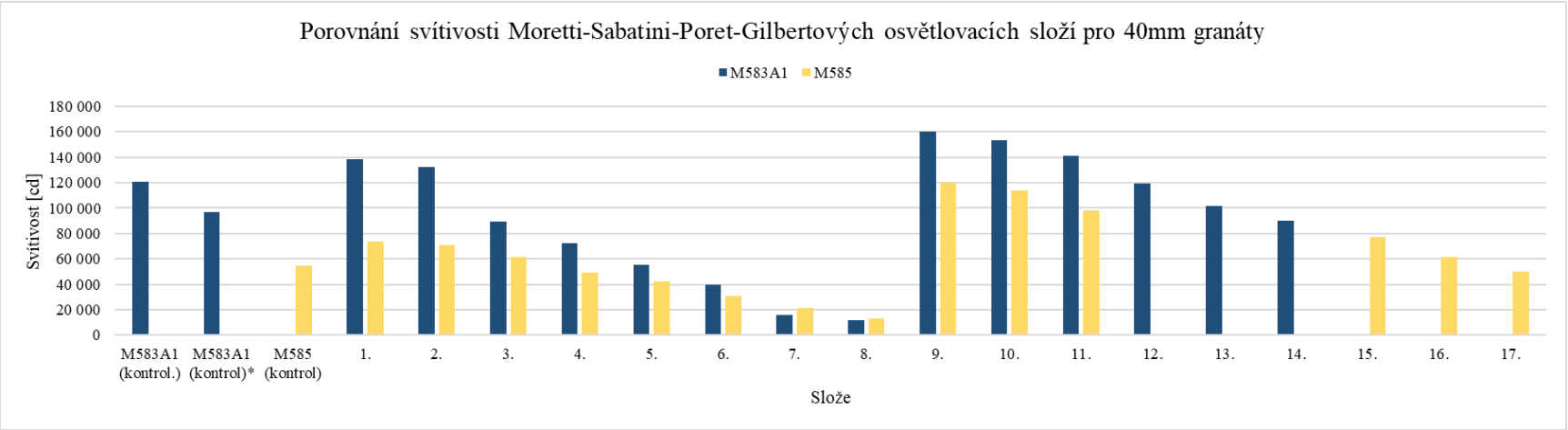
Sada složí 15.-17. poskytuje pro M585 dostatečnou dobu hoření i svítivost, nejlepších výsledků dosahuje složˇ 15. [47]

Při shrnutí výsledků testů lze říci, že laminované pouzdro je zásadní pro správné fungování světlice. Zároveň byly nalezeny složе, které mohou nahradit využívané složе [47].

Tabulka 38 – Složení a parametry testovaných složí s novým pojivovým systémem *[47]*

Suroviny [hm.%]	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
$NaNO_3$	40	40	40	50	50	50	60	60	45	45	45	42,5	42,5	42,5	52,5	52,5	52,5
Mg (595-297 μm)	10	30	50	10	30	50	15	30	15	25	35	15	25	35	10	20	30
Mg (297-149 μm)	40	20	-	30	15	-	15	-	35	25	15	35	25	15	30	20	10
Pojivo*	10	10	10	10	10	10	10	10	5	5	5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Parametry M583A1																	
Doba hoření [s]	15	17,7	21,3	28,8	38,6	47,7	59,2	83,1	18,1	17,9	21,8	32,8	35,3	39,7	-	-	-
Svítivost, 10^5 [cd]	1,38	1,32	0,9	0,72	0,56	0,4	0,16	0,11	1,6	1,53	1,41	1,19	1	0,9	-	-	-
Parametry M585																	
Doba hoření [s]	4,2	4,9	5,2	6,4	8,1	8,8	11,4	14,6	4,6	4,8	5,6	-	-	-	6,4	7,6	8,8
Svítivost,10^5 [cd]	0,74	0,71	0,61	0,49	0,42	0,31	0,22	0,13	1,2	1,14	0,99	-	-	-	0,77	0,62	0,50

*Pojivo - Epon 813/Versamid 140 v poměru 4 : 1



Obrázek 21 – Grafické porovnání svítivosti Moretti-Sabatiny-Poret-Gilbertových osvětlovacích složí pro 40mm granáty *[47]*

4.1.3. Recyklované suroviny

Nahrazování nevyhovujících surovin je jednou z cest k ekologičtější výrobě osvětlovacích složí. Druhou cestou je recyklace zastaralých osvětlovacích prostředků a využití odpadních surovin z výrob energetických materiálů.

Sabatini-Moretti-Hallova slož obsahující recyklovaný hořčík

Vývoj žlutě svítící osvětlovací složе založené na technologii (R^3)[17]. Hořčík pro tuto technologii je získáván ze starých osvětlovacích prostředků z důvodu ekologické demilitarizace. Pyrotechnická slož je z osvětlovacích prostředků získána vysokotlakým vodním proudem. Okysličovadlo a pojivo je extrahováno s vodou, je tak získán surový hořčík. Ten je dál podroben čištění mícháním nebo leštěním pro odstranění zbytků pojiva, poté je okamžitě vysušen. Recyklace a opětovné využití hořčíku by znamenalo další milník při vývoji ekologicky udržitelné technologie výroby pyrotechnických složí [51].

Pro demilitarizaci byly určeny tyto druhy munice: 61mm minometný granát, 81mm minometný granát, 107mm minometný granát a letecká světlice LUU-2B/2. Každý z těchto osvětlovacích prostředků obsahuje jinou osvětlovací slož, je tedy získán surový hořčík s různou velikostí částic a čistotou. Všechny získané složе byly analyzovány na nečistoty pomocí rentgenové fluorescence (XRF), výsledky této analýzy jsou uvedeny v tabulce 39 [51].

Tabulka 39 – Analyzované nečistoty pomocí XRF *[51]*

Prvek [hm.%]	Mg (297-595 μm)	Mg lot. 1	Mg lot. 2	Mg lot.3	Mg lot.4
Mg	99,98 ± 0,004	98,1 ± 0,7	99,36 ± 0,66	86,68 ± 0,79	88,25 ± 0,74
S	bez detekce	1,43 ± 0,01	bez detekce	12,4 ± 0,03	10,85 ± 0,03
Fe	0,0022 ± 0,050	0,064 ± 0,009	bez detekce	0,049 ± 0,009	0,029 ± 0,008
Mn	bez detekce	0,05 ± 0,01	0,08 ± 0,01	0,17 ± 0,02	0,16 ± 0,02
Si	bez detekce	0,15 ± 0,02	0,17 ± 0,02	0,31 ± 0,03	0,22 ± 0,03
Zn	bez detekce	0,026 ± 0,002	0,391 ± 0,08	0,334 ± 0,08	0,0475 ± 0,09
Zr	bez detekce	0,15 ± 0,002	bez detekce	0,044 ± 0,001	0,014 ± 0,0008
Pb	bez detekce	bez detekce	0,004 ± 0,001	0,012 ± 0,002	0,012 ± 0,002
P	bez detekce	0,026 ± 0,006	bez detekce	bez detekce	bez detekce

[17] Recover, recycle and reuse

Dle analýzy je největší nečistotou síra, která má největší obsah v lot. 3. a 4. Znečištění sírou je nejspíše způsobeno použitým pojivem (většina osvětlovacích prostředků určených k recyklaci obsahovala pojivový systém založený na polysulfid-epoxidovém komplexu) [51].

Pro osvětlovací prostředek M127A1 byla využívána složka (jejíž složení je uvedeno v tabulce 40) obsahující hořčík s požadovanou čistotou minimálně 98 hm.%., což zvyšovalo cenu výroby složky a neumožňovalo využití znečištěného hořčíku [51].

Tabulka 40 – Složení kontrolní složky M127A1 *[51]*

Suroviny [hm.%]	M127A1 (kontrolní)
$NaNO_3$	29
Mg (297-595 μm, čistota min. 98 hm.%)	66
Laminac 4116/Lupersol DDM	5

Složky využívající recyklovaný hořčík s obsahem alkyl-polysulfidu určené pro M127A1 byly připraveny s novým, ekologičtějším pojivovým systémem Epon 813/Versamid 140. Vzorky složí byly připraveny z jednotlivých lot. a jejich kombinace (25 hm.%/lot.) dle složení uvedeného v tabulce 41, byly změřeny, jejich parametry uvedeny v tabulce 42 a graficky porovnány na obrázku 22 [51].

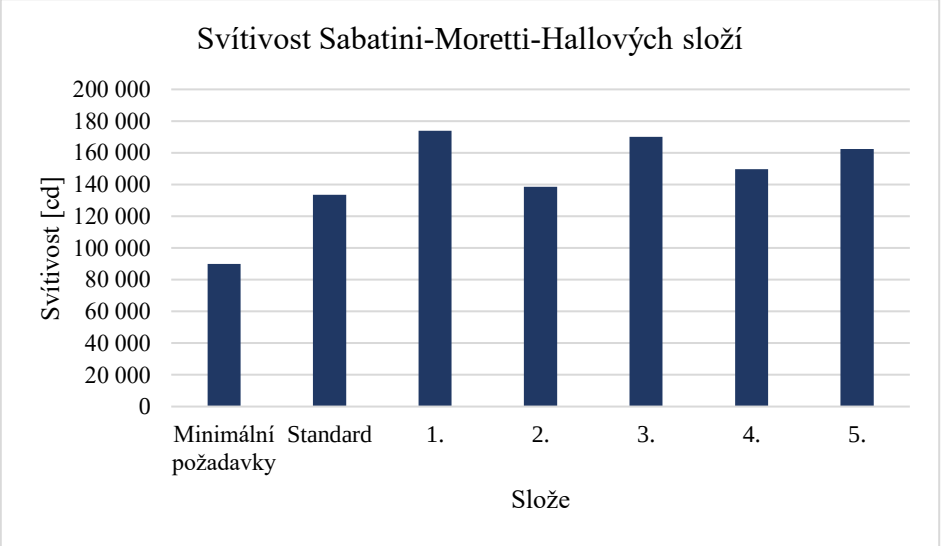
Tabulka 41 – Složení složí využívající recyklovaný hořčík *[51; 52]*

Suroviny [hm.%]	1.	2.	3.	4.	5.
$NaNO_3$	29 ± 1	29 ± 1	29 ± 1	29 ± 1	29 ± 1
Mg, Alkyl polysulfid	66 ± 1	66 ± 1	66 ± 1	66 ± 1	66 ± 1
Poměr Mg : S	-	-	86,6:12,4	82,25:10,85	91,5:7,5
Polymerové práškové pojivo	3-5	3-5	3-5	3-5	3-5

Tabulka 42 – Parametry Sabatini-Moretti-Hallových složí *[51; 52]*

Parametry	Minimální požadavky	Standard	1.	2.	3.	4.	5.
Doba hoření [s]	25	29,7	30	35	29,9	33,3	32,4
Svítivost [cd]	90 000	133 627	174 000	138 666	170 000	149 666	162 333
Světelná účinnost [cd·s·g^{-1}]	-	46 690	56 250	52 360	54 644	53 974	56 848
Dom. vlnová délka [nm]	-	586,4	585,8	586	585,9	586	586
Spektrální čistota [%]	-	84,2	78,7	80,2	79,5	79,6	80,4
Váha světlice [g]	-	85	92,5	92,7	93	92,5	92,5
Výška světlice [cm]	-	7,53	7,22	7,74	7,17	7,07	7,12
Rychlost hoření [cm·s^{-1}]	-	0,253	0,241	0,221	0,24	0,212	0,22
Spotřeba složе* [g·s^{-1}]	-	2,86	3,09	2,65	3,11	2,78	2,85
Velikost částic Mg [μm]	-	523,4	449,4	547	508,7	743,6	530,6
Exp. hustota [g·cm^{-3}]	-	0,592	0,674	0,628	0,68	0,686	0,681
Použitý lot.	-	-	1.	2.	3.	4.	1.-4.

Orig.: *mass consumption [g·s^{-1}]



Obrázek 22 – Grafické porovnání svítivosti Sabatini-Moretti-Hallových složí *[51; 52]*

Bylo předpokládáno, že pro lepší světelné charakteristiky je potřeba co nejvíce čistý hořčík, z výsledků testů ale nebylo prokázáno, že by měla čistota hořčíku vliv na světelné charakteristiky, neboť složе obsahující nejvíce znečištěný hořčík vykazují velmi dobré výsledky a proti tomu složе s nejčistším hořčíkem vykazuje menší svítivost. Nebyla zcela prokázána ani souvislost velikosti částic se svítivostí, neboť složе obsahující menší částice hořčíku měla menší svítivost. Z těchto zjištěných informací lze vyvodit, že obsah síry ve složi má vliv na její světelné charakteristiky [51].

U jednotlivých složí byla měřena senzitivita na různé podněty, výsledky měření jsou uvedeny v tabulce 43 [51].

Tabulka 43 – Senzitivita Sabatini-Moretti-Hallových složí na jednotlivé podněty *[51]*

Senzitivita	Standard	1.	2.	3.	4.	5.
Náraz [J]	11,3	17,6	19,6	19,6	14,7	16,7
Tření [N]	>360	>360	240	>360	>360	>360
Elektrostatický výboj [J]	>0,25	>0,25	>0,25	>0,25	>0,25	>0,25
Teplota vznícení [°C]*	590,7	479,2	483,7	473,8	482,8	483,8

Orig.: *onset temperature

Mikhajlovich-Vyacheslavovich-Vladimirovichova osvětlovací složka

Při výrobě celospalitelných nábojnic skládajících se z pyroxylin-celulózové[18] tkaniny impregnované trinitrotoluenem vzniká až 40 % technologického odpadu, který je jinak bez využití spalován na volném prostranství při likvidaci nebezpečného odpadu a do ovzduší se tak uvolňují toxické látky.

Následující inovace spočívá ve zlepšení světelných charakteristik, zvýšení hořlavosti (k jejímu zapálení tak není potřeba zážehová složka), snížení výrobních nákladů složky a hlavně zvýšení ekologičnosti výroby a likvidace celospalitelných nábojnic [53].

Testované složky byly připraveny, nadávkovány do papírových pouzder po 5 gramech, zalisovány tlakem 98 MPa a testovány. Složení a parametry testovaných složí je uvedeno v tabulce 44 a graficky porovnáno na obrázku 23 [53].

Tabulka 44 – Složení a parametry Mikhajlovich-Vyacheslavovich-Vladimirovichových složí *[53]*

Suroviny [hm.%]	Standard	1.	2.	3.	4.	5.
$NaNO_3$	56	40	40	40	50	30
Mg	17	15	20	25	22	30
Celulóza	-	11,25	10	8,75	7	10
Pyroxylin	-	11,25	10	8,75	7	10
Trinitrotoluen	-	22,5	20	17,5	14	20
PVC	27	-	-	-	-	-
Parametry						
Svítivost [cd]	3 425	2 457	3 620	4 768	4 239	5 012
Světelná účinnost [$cd \cdot s \cdot g^{-1}$]	6 177,4	6401	9 655,8	12 717,9	11 043,5	13 057,3
Rychlost hoření [$mm \cdot s^{-1}$]	1,59	1,39	1,2	1,22	1,21	1,25
Sytost barvy plamene [%]	70	90	88	85	90	83
Dom. vlnová délka [nm]	590	578	578	578	578	578

[18] Pyroxylin - nitrocelulóza s vyšším obsahem dusíku

Z testů byly také zjištěny citlivostní charakteristiky - teplota vznícení 208,5°C, citlivost na náraz 15-17,5 J, citlivost na tření 300-340 N. Z grafického porovnání je vidět, že slože 2.-5. dosahují mnohem lepších výsledků než standardní slož. Sytost barvy byla zvýšena až o 90 % a světelná účinnost je téměř dvojnásobná [53].

Obrázek 23 – Grafické porovnání svítivosti Mikhajlovich-Vyacheslavovich-Vladimirovichových složí *[53]*

4.1.4. Modifikátory parametrů

Složе obsahující matrici z dusičnanu sodného s hořčíkem a přídavkem dalších látek, které ovlivňuje světelné charakteristiky složе, popřípadě ovlivňují některé další vyžadované vlastnosti složе.

Mikhajlovich-Il'ich-Vladimirovichova osvětlovací složˇ

Cílem této inovace bylo zlepšit světelné charakteristiky osvětlovacích složí vyzařujících ve žluté oblasti spektra s vysokou sytostí barvy plamene. Vylepšením složení složе, tedy přidáním stearanu vápenatého[19] a křemičitanu sodného[20] bylo dosaženo zvýšení svítivosti a světelné účinnosti 7,7×, sytost barvy plamene vzrostla o 20 %, dominantní naměřená vlnová délka byla 570 nm. Více informací, případný důvod přidání těchto komponent autoři více nerozvádí. Testované vzorky mají hmotnost 8 g, jsou lisovány tlakem 98 MPa do pouzder o průměru 19,9 mm [54]. Složení a parametry je uvedeno v tabulce 45.

Tabulka 45 – Složení a parametry Mikhajlovich-Il'ich-Vladimirovichových složí *[54]*

Suroviny [hm.%]	Standard	1.	2.	3.
$NaNO_3$	56	21	22,5	23,5
Mg	17	45	47,5	46
Na_2SiO_3*	-	24	25	23,5
Stearan vápenatý	-	10	5	7
PVC	27	-	-	-
Parametry				
Svítivost [cd]	11 000	84 007	90 093	88 423
Světelná účinnost [$cd \cdot s \cdot g^{-1}$]	10 400	79 754	85 530	88 083
Rychlost hoření [$mm \cdot s^{-1}$]	2,02	2,07	4,19	3,86
Sytost barvy plamene [%]	70	90	90	90
Dominantní vlnová délka [nm]	590	570	570	570

*Orig.: Силикат-глыба

[19] Použitý nejspíše jako lubrikant
[20] Použití mi není zcela jasné, teoreticky by při teplotním rozkladu byl zdrojem sodíku v plameni

Georgievich-Mikhajlovich-Anvarovichova osvětlovací slož

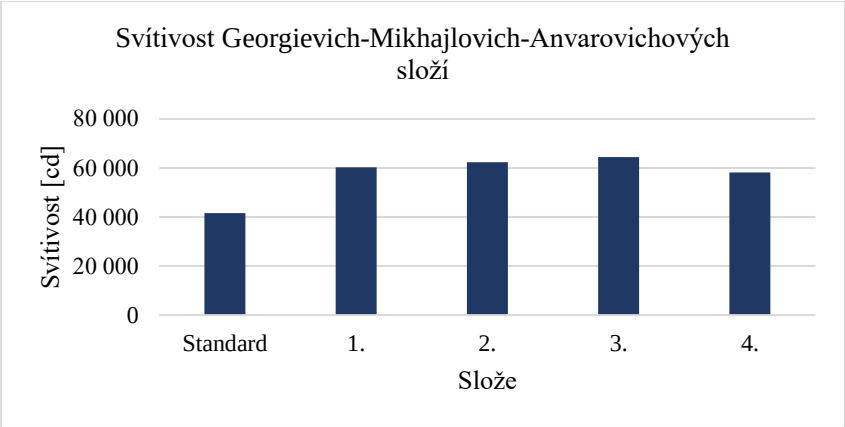
Inovace pyrotechnické slože vychází ze známých složí popsaných Šidlovským skládající se z dusičnanu sodného, práškového hořčíku a pojiva. Tyto slože nemají dostatečnou svítivost a světelnou účinnost. Tento problém je řešen přidáním komponent jako kalafuna, technický olej, polytetrafluorethylen, kys. stearová, popř. stearáty alkalických kovů. Detailnější důvody přidání těchto komponent uvedeny nejsou[21]. Složení a parametry nových složí je uvedeno v tabulce 46 a jsou graficky porovnány na obrázku 24 [55].

Tabulka 46 – Složení a parametry Georgievich-Mikhajlovich-Anvarovichových složí *[55]*

Suroviny [hm.%]	Standard	1.	2.	3.	4.
$NaNO_3$	58	29,4	25,9	17,4	15,1
Mg (56-500 μm)	37	65	70	76	80
Pryskyřice	5	-	-	-	-
Kyselina stearová	-	0,1	-	-	-
Stearát vápenatý	-	-	0,6	-	-
Stearát hořečnatý	-	-	-	0,1	-
Stearát sodný	-	-	-	-	0,4
Kalafuna	-	0,4	0,4	0,6	0,6
Průmyslový olej (kin. viskozita 9 mm^2/s)	-	1,1	-	-	-
Průmyslový olej (kin. viskozita 11 mm^2/s)	-	-	1,1	-	-
Průmyslový olej (kin. viskozita 13 mm^2/s)	-	-	-	1,9	-
Průmyslový olej (kin. viskozita 17 mm^2/s)	-	-	-	-	1,9
Polytetrafluorethylen	-	4	2	4	2
Parametry					
Svítivost [cd]	41 523	60 208	62 285	64 361	58 132
Světelná účinnost [$cd \cdot s \cdot g^{-1}$]	37 867	49 241	50 363	51 120	47 334
Rychlost hoření [$mm \cdot s^{-1}$]	3,5	7,8	7	5,9	4,8
Zvýšení svítivosti oproti standardu [%]	-	45	50	55	40
Zvýšení světelné účinnosti oproti standardu [%]	-	30	33	35	25

Vzorky slože byly lisovány do papírových pouzder o průměru 15 mm a lisovány tlakem 150 MPa a testovány. Při srovnání výsledků je patrné, že nejlepších výsledků dosahuje složí 3. s nejvyšší svítivostí a nejpomalejší rychlostí hoření. Došlo k navýšení svítivosti o 55 % a světelné účinnosti o 35 % [55].

[21] Stearáty jsou nejspíše použity jako lubrikant, směs kalafuny a průmyslového oleje jako pojivo a teflon jako okysličovadlo ve směsi s dusičnanem



Obrázek 24 – Grafické porovnání svítivosti Georgievich-Mikhajlovich-Anvarovichových složí *[55]*

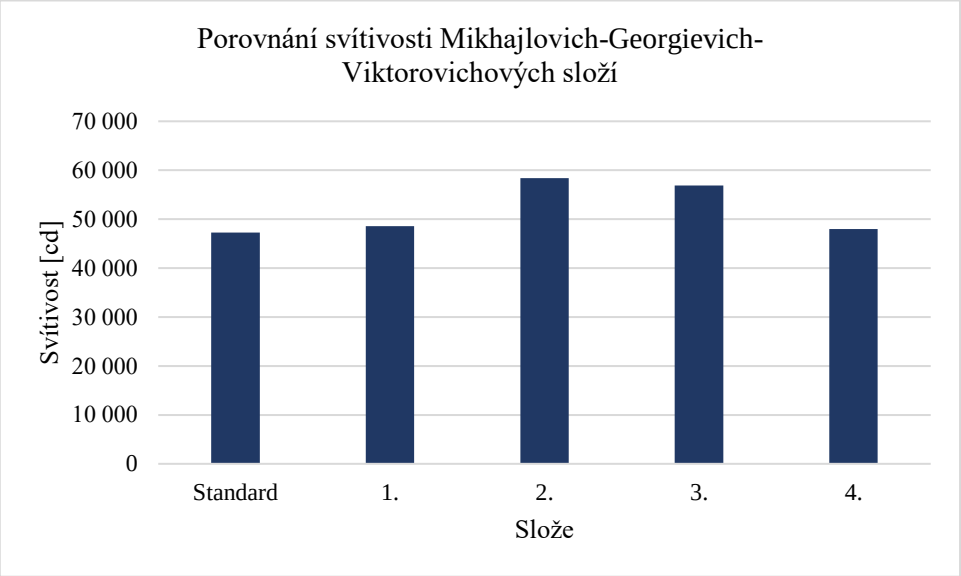
Mikhajlovich-Georgievich-Viktorovichova osvětlovací složˇ

Cílem autorů je vytvořit osvětlovací složˇ se zvýšenou svítivostí a světelnou účinností. Tohoto cíle je dosaženo přidáním dalších komponent k základní matrici dusičnanu sodného a hořčíku. Detailnější důvody přidání těchto komponent autoři neuvádí[22]. Složení složí a jejich parametry jsou uvedeny v tabulce 47, graficky jsou porovnány na obrázku 25. Složˇ byla lisována tlakem 150 MPa do kartonových pouzder o průměru 15 mm. Při porovnání výsledků zjistíme, že nejlepších výsledků dosahuje složˇ 2., u které se svítivost zvýšila o 23 % a světelná účinnost o 61 %. [56].

Tabulka 47 – Složení a parametry Mikhajlovich-Georgievich-Viktorovichových složí *[56]*

Suroviny [hm.%]	Standard	1.	2.	3.	4.
$NaNO_3$	13	-	-	-	-
Mg (56-500 μm)	40	67	63,5	62	56
$CaSO_4 \cdot ½ H_2O$	40	25	30	33	40
H_2O	7	-	-	-	-
Průmyslový olej (kin. viskozita 9 mm^2/s)	-	2	-	-	-
Průmyslový olej (kin. viskozita 11 mm^2/s)	-	-	1,5	-	-
Průmyslový olej (kin. viskozita 13 mm^2/s)	-	-	-	1	-
Průmyslový olej (kin. viskozita 17 mm^2/s)	-	-	-	-	1
Polytetrafluorethylen	-	6	5	4	3
Parametry					
Svítivost [cd]	47 239	48 600	58 410	56 880	48 000
Světelná účinnost [$cd \cdot s \cdot g^{-1}$]	33 950	48 500	54630	50670	41700
Rychlost hoření [$mm \cdot s^{-1}$]	5	3,7	4	4,7	4,3
Zvýšení svítivosti oproti standardu [%]	-	3	23	20	2
Zvýšení světelné účinnosti oproti standardu [%]	-	46	61	49	23

[22] Autoři důvod přidání sádry neuvádí, ale další ruské patenty uvádí použití sádry pro zpevnění složе



Obrázek 25 – Grafické porovnání svítivosti Mikhajlovich-Georgievich-Viktorovichových složí *[56]*

Sergeevich-Shamilovich-Ivanovichova osvětlovací složе

Inovace spočívá v přípravě složе pro dělostřeleckou munici lisovatelnou minimálním tlakem, která je charakterizována zvýšenou konstrukční pevností a odolává impulsnímu zatížení při výstřelu. Složе emituje záření ve viditelné části spektra, s maximem v rozsahu 300-600 nm. Složení složí je uvedeno v tabulce 48 [57].

Tabulka 48 – Složení Sergeevich-Shamilovich-Ivanovichových složí *[57]*

Suroviny [hm.%]	1.	2.	3.	4.	5.
$NaNO_3$	42	44	47	50	54
Mg	42	40	38	37	36
Sádra/kryolit	11	10	10	9	8
Borová kalafuna	2	4	3	3	1
Průmyslový olej	3	2	2	1	1

Autoři uvádí, že snížení hmotnostního podílu hořčíku připívá k plnému využití kovového paliva a všech dalších složek. Při obsahu hořčíku menším než 37 hm.% je svítivost nedostatečná z důvodu poklesu teploty hoření a při obsahu nad 40 hm.% klesá podíl emitujících složek. Při obsahu dusičnanu sodného menším než 44 hm.% není zajištěna dostatečná sytost barvy a při obsahu nad 50 hm.% je nadbytečný. Obsah sádry nad 10 hm.% zhoršoval schopnost výroby světlic rychlejším tuhnutím složе a zhoršeným dávkováním, při obsahu pod 8 hm.% složе již nedosahovala potřebné pevnosti [57].

Při hoření se sádra rozkládá na oxid vápenatý a oxid siřičitý. Oxid vápenatý s kryolitem během spalování vytváří vysoce disperzní žhavé částice, které emitují světlo ve viditelném spektru. Oxid siřičitý slouží jako transportní plyn pro disperzní částice v plameni [57].

Zkoušky prokázaly, že slože 2.-4. jsou přímo vhodné pro zalisování do těla munice. Složˇ 1. se vyznačuje nízkou plasticitou a vytékáním oleje při zhutňování, složˇ 5. se špatně lisuje, má nevyhovující výsledky při rázovém zatížení, nerovnoměrně hoří a má nízkou svítivost [57].

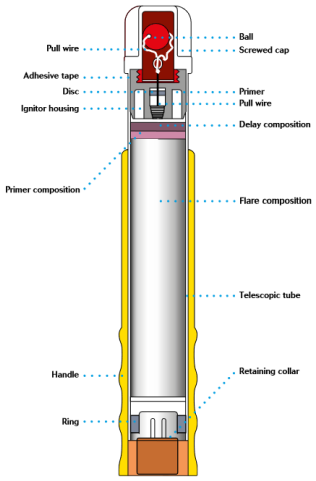
5. Konstrukce osvětlovacích prostředků

Osvětlovací prostředky nachází využití v mnoha různých situacích, které vyžadují specifické osvětlovací prostředky. V následující kapitole je stručně popsána konstrukce, využití a parametry jednotlivých druhů osvětlovacích prostředků užívaných v minulosti i současnosti.

5.1. Pochodně

Pyrotechnické prostředky s rukojetí umožňující držení v ruce k osvětlení blízkého okolí. Rukojeť je z inertního materiálu a zajišťuje bezpečný úchop. Pochodně obsahují trhací či škrtací zážeh. Doba hoření je okolo jedné minuty a svítivost v řádech tisíců až desetitisíců cd. Pochodně se vyrábí s různou barvou plamene a kromě osvětlování slouží i pro signalizaci [58; 59]. Pochodeň, její řez a ukázka použití je zobrazena na obrázcích 26, 27, 28.

Obrázek 26 – Osvětlovací pochodeň *[58]*



Obrázek 27 – Řez osvětlovací pochodně *[59]*

Obrázek 28 – Použití osvětlovací pochodně *[58]*

5.2. Ruční vrhače

Ruční vrhače jsou malé osvětlovací či signalizační prostředky odpalované z ruky obsahující raketový motorek, který světlici vynese na oblohu. Československé vrhače ROS byly velmi jednoduché konstrukce a obsahovaly trhací zapalovač (viz obrázky 29, 30). Dnes se již nevyužívají, neboť často nedocházelo k iniciaci světlice nebo docházelo k ucpání trysek motoru a jejich nekontrolovatelnému pohybu [60]. Americký armádní vrhač M127A1 má znatelně lepší konstrukci, je používaný dodnes a obsahuje nárazový zapalovač, iniciovaný nárazem dlaně (viz obrázek 31) [49]. Civilní vrhače (viz obrázek 32) jsou používány zejména při záchranných akcích na moři. Vrhače mají dobu hoření okolo 30 sekund a svítivost desetitisíce až statisíce cd [61; 49]. Použití ručního vrhače M127A1 je zobrazeno na obrázku 33.

Obrázek 29 – ROS 40 *[60]*

Obrázek 30 – Řez ROS 40 *[60]*

Obrázek 31 – Řez M127A1 *[72]*

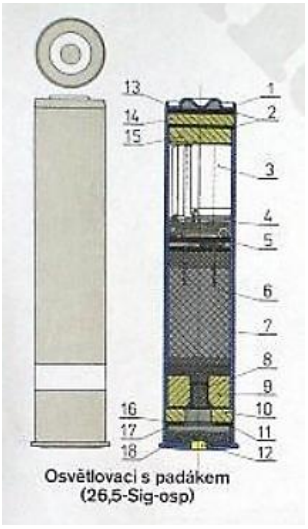
Obrázek 32 – Civilní vrhač *[61]*

Obrázek 33 – Použití M127A1 *[72]*

5.3. Pistolové náboje

Již v 19. století byla vynalezena signální pistole, určená pro střelbu pyrotechnickými náboji [9]. Signální pistole se dodnes vyrábí v mnoha rážích a nachází své využití při osvětlování blízkého prostoru nebo signalizaci. Náboje pro noční signalizaci se vyrábí v mnoha barvách, pro denní s kouřovými či zvukovými efekty. Pro osvětlování se vyrábí bílé včetně verze s padákem. Osvětlovací účinek není příliš velký a slouží zejména pro osvětlení blízkého okolí, svítivost je v řádech desetitisíců cd [62; 63]. Osvětlovací náboje, nákres řezu náboje a signální pistole je zobrazena na obrázcích 34, 35, 36.

Obrázek 34 – Osvětlovací náboje ráže 26,5 mm *[74]*

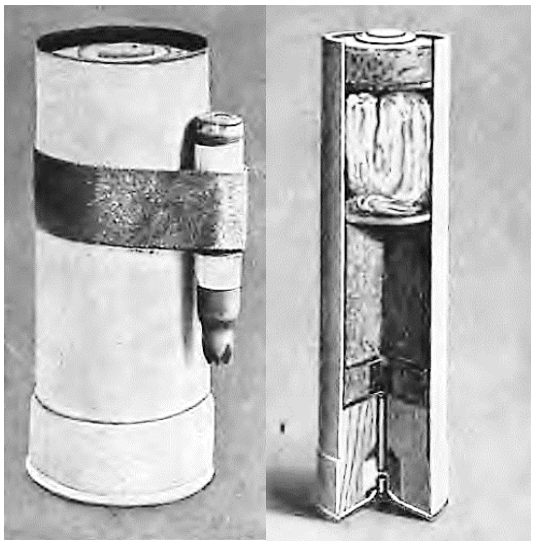


Obrázek 35 – Nákres osvětlovacího náboje *[73]*

Obrázek 36 – Signální pistole s náboji *[62]*

5.4. Puškové granáty

Během světových válek byla zbraní každého vojáka puška, na jejíž ústí hlavně bylo možné nasadit granátometný nástavec. Granáty byly vloženy do nástavce, do zbraně byl nabit expanzní náboj, který granát inicioval a vystřelil z nástavce. Tento puškový granát, jeho řez a použití lze vidět na obrázcích 37, 38. Dnes se již této technologie nevyužívá, neboť je značně komplikovaná, znemožňuje běžnou střelbu a zpětný ráz byl velký [26]. Nyní jsou konstruovány moderní granátomety a samotné granáty jsou uloženy v nábojnici a mají výmetnou složku, jejich svítivost se pohybuje v řádech desetitisíců až statisíců cd [47]. Tyto granáty a ukázka jejich použití se nachází na obrázcích 39, 40.



Obrázek 37 – Puškový osvětlovací granát *[26]*

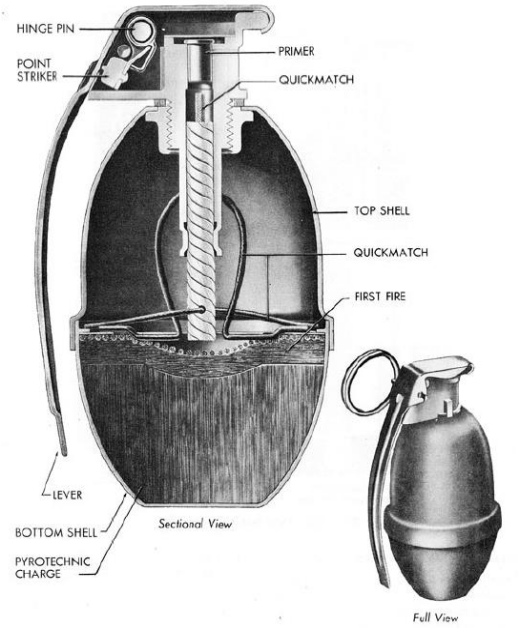
Obrázek 38 – Použití puškového granátu *[26]*

Obrázek 39 – Moderní 40mm osvětlovací granáty *[47]*

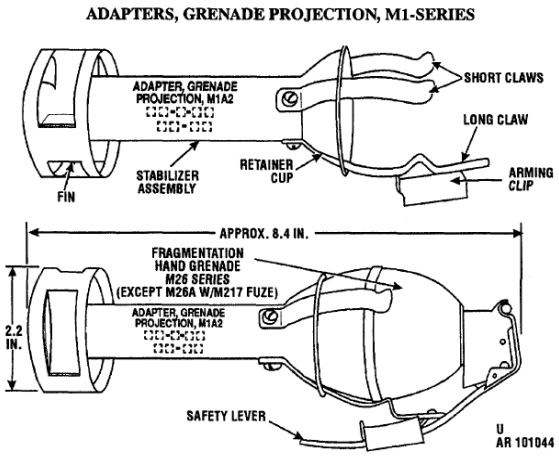
Obrázek 40 – Nabíjení granátometu *[81]*

5.5. Granáty

Osvětlovací granát Mk.1 funguje na principu běžného granátu, pouze neobsahuje výbušnou nálož, ale osvětlovací. Doba hoření složе je okolo 25 sekund se svítivostí 60 000 cd [64]. Jediným omezením jeho použití je síla osoby vrhající granát. Toto omezení se dá anulovat využitím vrhacího nástavce použitelného pro všechny typy granátů M1 [65]. Nákres granátu a vrhacího nástavce se nachází na obrázcích 41, 42.



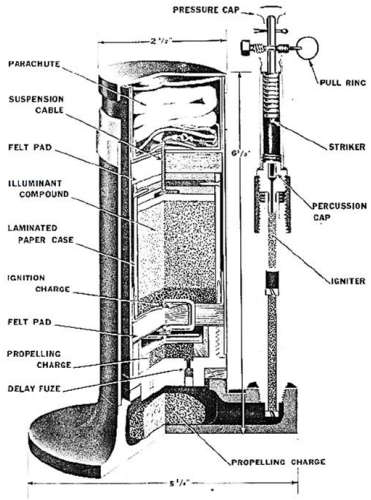
Obrázek 41 – Osvětlovací granát Mk.1 *[64]*



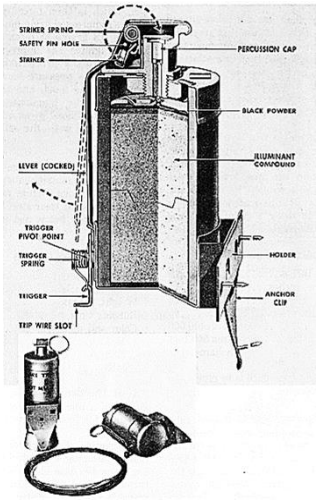
Obrázek 42 – Vrhací nástavec M1A2 *[65]*

5.6. Nástražné osvětlovací prostředky

Nástražné osvětlovací prostředky využívají momentu překvapení, slouží k včasnému varování před pohybem v chráněném prostoru. Bývají umístěny na pevném objektu (např. strom) nebo zahrabány v zemi. Při průchodu přes nástražný drát jsou odpáleny a dojde k osvětlení blízkého prostoru a prozrazení procházejících osob. Nevýhodou je nemožnost ovlivnění např. průchodu zvěře a vyvolání planého poplachu. Padákové světlice mají svítivost okolo 100 000 cd, dobu hoření okolo 20 sekund, pozemní světlice mají svítivost až 800 000 cd a dobu hoření přes 1 minutu [66] . Americké nástražné prostředky je možné vidět na obrázcích 43, 44. Československý nástražný systém je možné vidět na obrázcích 45, 46.



Obrázek 43 – Nástražný osvětlovací prostředek M48 *[64]*



Obrázek 44 – Nástražný osvětlovací prostředek M49 *[64]*

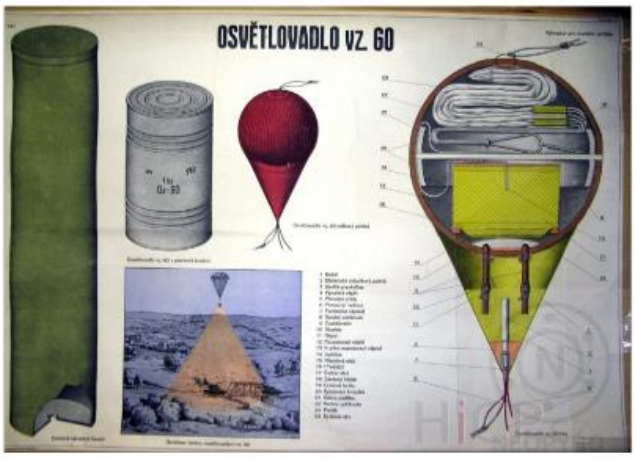
Obrázek 45 – Československý nástražný systém *[83]*

Obrázek 46 – Československý nástražný systém *[82]*

5.7. Kulové pumy

Československá armáda využívala Osvětlovadlo vz.60, což byla kulová puma ráže 150 mm odpalovaná z ocelového moždíře. Hmotnost slože činila 0,5 kg, svítivost přibližně 800 000 cd, osvětlený prostor okolo 1000 m [67]. Konstrukce osvětlovadla vz.60 je zobrazena na obrázcích 47, 48.

Německá armáda používala osvětlovací prostředek Ortungsleuchtzeichen - kulové pumy ráže 125 mm odpalované z lepenkových moždířů pro osvětlování letišť. Používáno bylo mnoho druhů, kromě osvětlovacích také pro signalizaci jak v noci, tak ve dne [68]. Kulová puma a ukázka jejího použití je zobrazena na obrázcích 49, 50.



Obrázek 47 – Osvětlovadlo vz. 60 *[67]*

Obrázek 48 – Osvětlovadlo vz. 60 *[67]*

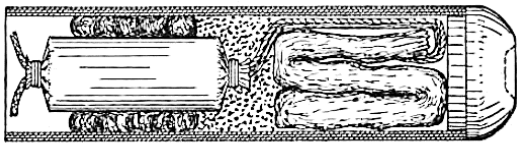
Obrázek 49 – Ortungsleuchtzeichen *[68]*

Obrázek 50 – Použití Ortungsleuchtzeichen *[68]*

5.8. Osvětlovací rakety

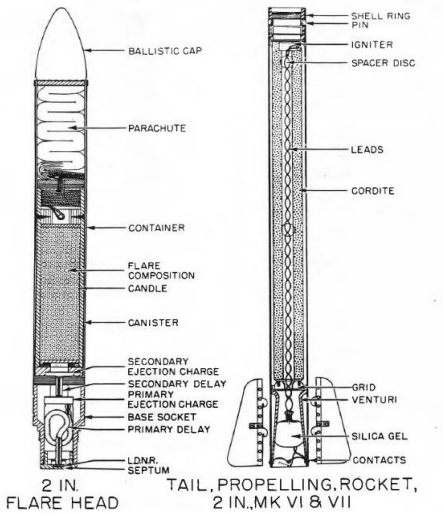
Výroba a použití osvětlovacích raket byla zmíněna už v 17. století a patří tak k nejstarším využívaným osvětlovacím prostředkům. Technologie výroby a jejich konstrukce se samozřejmě změnila. První rakety byly jednoduché konstrukce, tělo rakety tvořila kartonová dutinka a stabilizaci zajišťovala dřevěná tyč, jejich svítivost byla 9000-12000 cd [26]. Moderní rakety mají kovové tělo, moderní motor se stabilizačními křidélky a zaměnitelnou hlavici, která je na motor našroubována. Vystřelovány jsou z raketometnic na zemi nebo z letadel a vrtulníků ze vzduchu [69]. Fotografie raket, nákresy řezů konstrukce raket se nachází na obrázcích 51, 52, 53, 54.

Obrázek 51 – Osvětlovací raketa používaná během první světové války *[26]*



Obrázek 52 – Řez osvětlovací rakety *[26]*

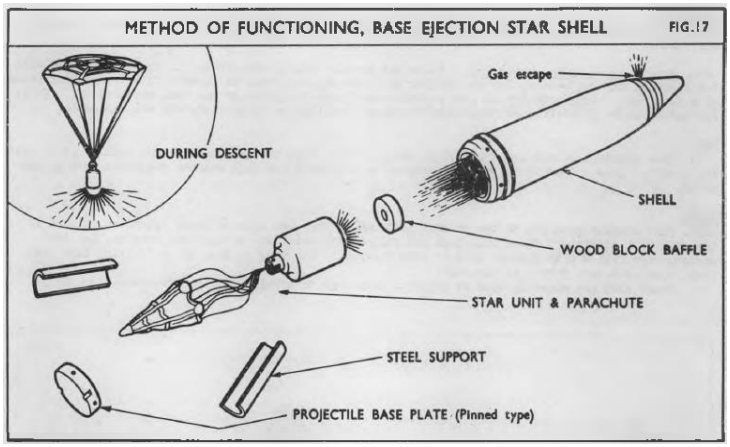
Obrázek 53 – Moderní osvětlovací raketa *[69]*



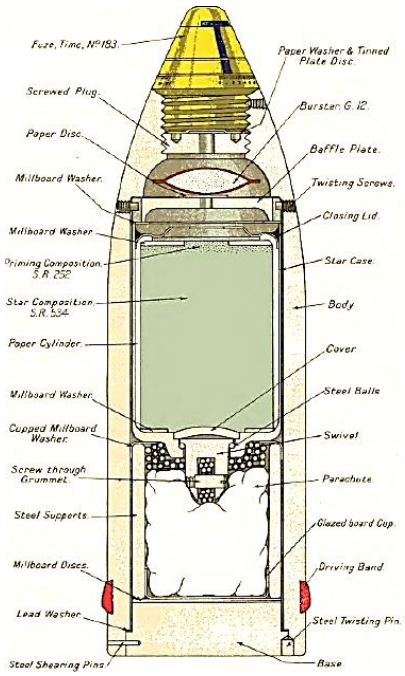
Obrázek 54 – Řez moderní rakety *[69]*

5.9. Dělostřelecké granáty

Dělostřelecké granáty představují jednu z nejpoužívanějších variant osvětlovacích prostředků. Jejich výhodou je variabilita ráží a velký dostřel. Při výstřelu dochází k velkým rázům, je tedy nutné upravit konstrukci složе a světlice tak, aby nedošlo k jejímu poškození během střelby, což by mohlo mít za důsledek její nesprávnou funkci [57]. Nákres funkce a konstrukce dělostřeleckého granátu, jeho řez a ukázkový projektil se nachází na obrázcích 55, 56, 57.



Obrázek 55 – Funkce dělostřeleckého osvětlovacího granátu *[70]*

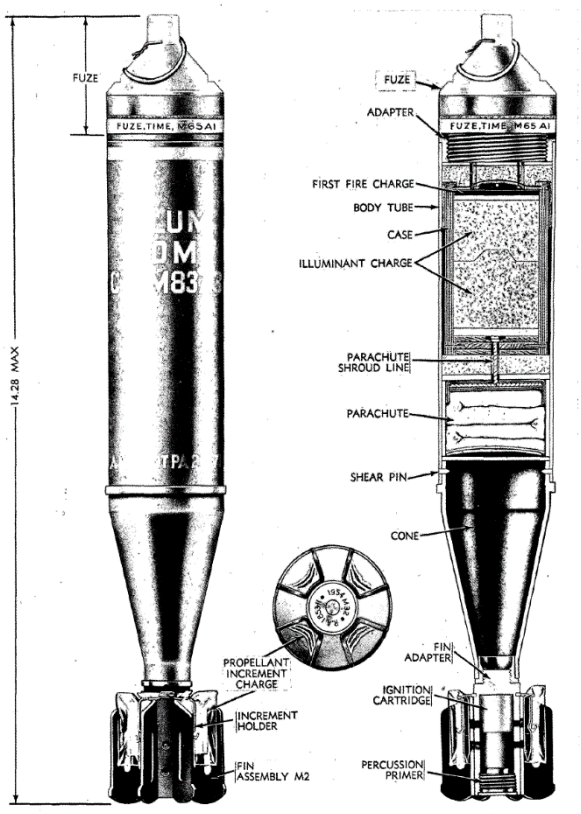


Obrázek 56 – Nákres osvětlovacího dělostřeleckého granátu *[77]*

Obrázek 57 – Osvětlovací dělostřelecký granát 8,8 cm *[75]*, *[76]*

5.10. Minometné granáty

Stejně jako dělostřelecké granáty tvoří jednu z nejpoužívanějších variant osvětlovacích prostředků. Je zde opět velká variabilita ráží (od 50 mm do 105 mm). Výhodou oproti dělostřeleckým granátům je větší mobilita minometného týmu a větší kadence palby, ovšem za cenu menšího dosahu [71]. Nákresy konstrukce, řezu a fotografii minometného granátu lze vidět na obrázcích 58, 59.

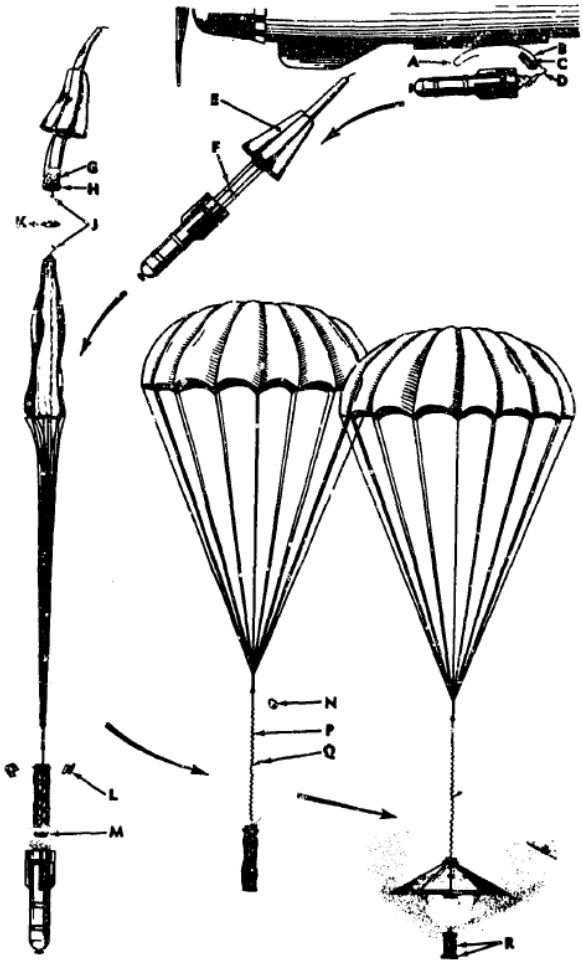


Obrázek 58 – Nákres minometného granátu *[79]*

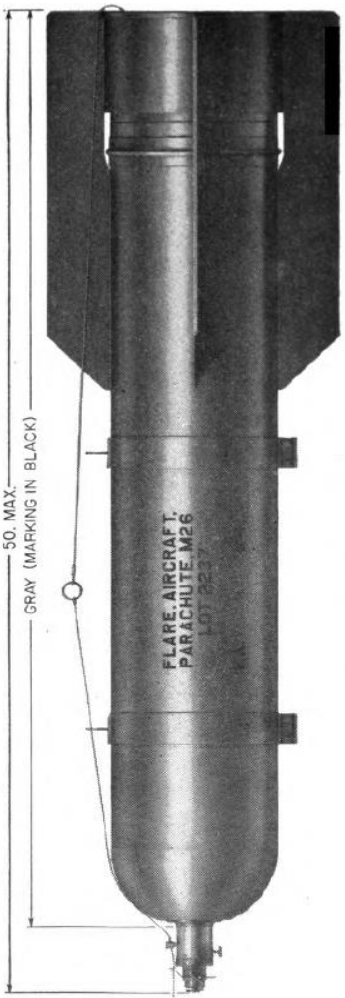
Obrázek 59 – Minometný granát M853A1 *[80]*

5.11. Osvětlovací pumy

Osvětlovací pumy patří mezi největší osvětlovací prostředky, jak svými rozměry a vahou, tak svou svítivostí. Během světových válek nalezly své využití při osvětlování bitevního pole, nepřátelských pozic, navigaci bombardérů při nočním bombardování a oslňování protiletadlových baterií. Aby bylo zabráněno oslnění pilotů, byly pumy často vybaveny stínícím plátnem. Pumy mají váhu v řádech kilogramů a svítivost ve stovkách tisíc až milionů cd [66]. Nákresy funkce osvětlovacích pum a fotografii pumy se nachází na obrázcích 60, 61.



Obrázek 60 **–** Nákres funkce osvětlovacích pum *[9]*

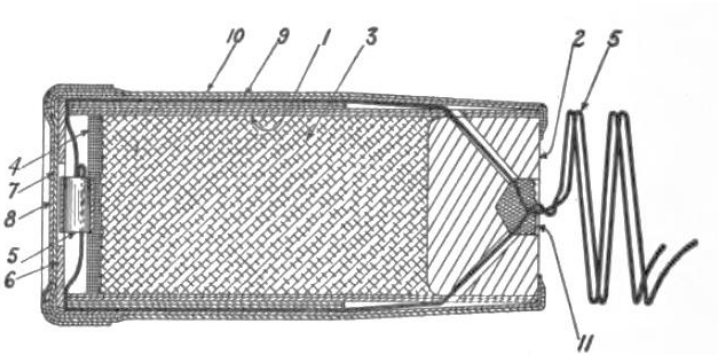


Obrázek 61 – Osvětlovací puma M26 *[78]*

5.12. Křídlové světlice

Křídlové světlice byly montovány na špičky křídel letadel a sloužili k osvětlení a signalizaci letadel při jejich nouzovém přistání. Odpalovány byly elektrickým iniciátorem z kabiny. Doba jejich hoření byla jedna minuta a svítivost 22 000 cd [26]. Nákres křídlové světlice a její řez je možné vidět na obrázcích 62, 63.

Obrázek 62 – Konstrukce křídlové světlice *[26]*



Obrázek 63 – Nákres řezu křídlové světlice *[26]*

Závěr

V této práci byly zkoumány historické i moderní trendy řešení výzev v oblasti osvětlovacích složí a konstrukce osvětlovacích prostředků. Vývoj nových materiálů a technologií, zaměřený na zlepšení bezpečnosti a ekologické udržitelnosti přinášející nové možnosti a zároveň vyžadující inovativní přístupy a řešení.

Během práce na rešerši bylo zjištěno, že v 18. století bylo 16 z 21 prozkoumaných složí založeno zejména na černém prachu s přídavkem dusičnanu draselného, síry a více než polovina složí obsahovala sloučeniny antimonu.

V 19. století po objevu chlorečnanu draselného jej obsahovalo 18 z 20 prozkoumaných složí. Bylo využíváno velmi jednoduchých přírodních pojiv (kafr, šelak, arabská guma, …) s přídavkem solí a látek ovlivňujících světelné charakteristiky. Tyto slože ale zdaleka nedosahovaly takových světelných charakteristik jako slože dnešní.

Koncem 19. století bylo klíčovým momentem pro osvětlovací slože využití kovového hořčíku a hliníku jako paliva, které byly během světových válek využívány v kombinaci s dusičnanem barnatým. Tuto kombinaci obsahovalo 85% prozkoumaných složí. V druhé polovině 20. století se přestává využívat dusičnan barnatý a začíná se využívat dusičnan sodný.

Kombinace dusičnanu sodného s kovovým hořčíkem je dalším klíčovým milníkem ve vývoji osvětlovacích složí, neboť je tato kombinace využívána dodnes a vykazuje nejlepší světelné charakteristiky. Z prozkoumaných složí využívaných ve 20. a 21. století tuto kombinaci obsahuje více než 75 % složí. Ve složích se také upouští od využití přírodních pojiv a začínají se využívat syntetická pojiva na bázi epoxidových pryskyřic.

Od 70. let 20. století započíná vývoj osvětlovacích složí v infračerveném spektru, které se liší od klasických osvětlovacích složí využitím dusičnanu rubidného a cesného s emisí světla v infračerveném spektru a co nejnižší produkcí viditelného světla.

Vývoj osvětlovacích složí a technologie jejich výroby je stále kam posouvat. Vyvíjejí se ekologičtější postupy výroby, využívají se recyklované a energetičtější materiály, které snižují náklady a zvyšují světelné charakteristiky složí.

Bibliografie

[1] BREBERA, Stanislav a kol. *Speciální technika I.* Praha: FMVS Praha, 1976.

[2] ŠIDLOVSKIJ, Alexandr Alexandrovič. *Základy pyrotechniky.* Praha: Naše Vojsko, 1957.

[3] ELLERN, Herbert. *Military and Civilian Pyrotechnics.* New York: Chemical Publicshing Company, Inc., 1968. ISBN 978-0-82-060364-3.

[4] OTRUBA, Vítězslav. Barvy. *IS MUNI* [online]. IS MUNI, 2014. [cit. 28. 6. 2024] Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1431/jaro2014/C6150/um/Barvy.pdf.

[5] Mine Safety Appliances Company. *Cast Flare Composition of Magnesium Dispersed in a Matrix, Mostly Sodium Nitrate.* Inventors: HILTZ, Ralph H. US 3497404. 24. 2. 1970.

[6] Mine Safety Appliances Company. *Castable Pyrotechnic Composition Comprising Metal Nitrates or Chlorates and Finely Divided Metal.* Inventors: TEPPER, Frederick. US 3370537. 27. 2. 1968.

[7] MIKLASZEWSKI, Eric J., DILGER, Jonathan M., YAMAMOTO, Christina M. Development of a Sustainable Perchlorate-Free Yellow Pyrotechnic Signal Flare. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering.* **2017**, 5, 936-941. ISSN 2168-0485. Dostupné z: https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.6b02261.

[8] SADEK, Ramy, KASSEM, Mohamed, ABDO, Mohamed, ELBASUNEY, Sherif. Novel yellow colored flame compositions with superior spectral performance. *Defence Technology.* **2017**, 13, 33-39. ISSN 2214-9147. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.dt.2016.12.001.

[9] SAWICKI, Stanley J. AMCP 706-185, *Engineering Design Handbook, Military Pyrotechnics Series, Part One, Theory and Application.* Washington, D. C.: Headquarters, U.S. Army Materiel Command, 1967.

[10] BROCK, A. St. H. *Pyrotechnics: The history and art of firework making.* London: Daniel O'Connor, 1922.

[11] MEYER, Moritz. *Feuerwerkerei in ihrer Anwendung auf Kunst, Wissenschaft un Gewerbe.* Leipzig: Johann Ambrosius Barth, 1833.

[12] BATE, John. *The mysteryes of nature and art: The second booke, Teaching most plainly, and withall most exactly, the composing of all manner of Fire-works for Triumph and Recreation.* London: Thomas Harper, 1634. s. 61-62.

[13] MALTHUS, Francis. *PRATIQUE DE LA GUERRE Contenant l'usage de l'Artillerie, Bombes et Mortiers, Feux Artificiels et Petards, Sappes et Mines, Ponts et Pontons, Tranchees et Travaux, avec l'ardre des assauts aux Breches.* Paris: Chez Gervais Clousier au Palais sur les degrez de la saincte Chapelle, 1650. s. 247-248.

[14] FREZIER, Amedee-Francois. *Traité des Feux d´Artifice pour le Spectacle. Nouvelle édition, toute changé & considerablement augmentéé. Par M. F. D. D. F. D. B.* Paris: Chez. Ch. Ant. Jombert, 1742. s. 212-216.

[15] JONES, Robert. *Artificial Fire-Works, Improved to the Modern Practise, From the Minutest to the Highest Branches.* London: John Millan, Whitehall, 1766. s. 36-37, 47-49, 62.

[16] BÉLIDOR, Bernard Forest de. *Le Bombardier francois, ou nouvelle methode de jetter les bombes a vec precision.* Paris: De l'imperie Royale, 1731. s. 332.

[17] MASKALL, John. *Artificial Fireworks, volume 2.* 1785. s. 7-8, 15, 146. ISBN 978-93-33696197.

[18] ESCHENBACHER, August. *Die feuerwerkerei oder die fabrikation der feuerwerkskorper.* Wien, Pest, Leipzig: A. Hartleben, 1876. s. 152.

[19] WEBSKY, Martin. *Lustfeuerwerkkunskt, oder leicht fassliche und bewahrte Anweisung zur Verfertigung von Lustfeuerwerken.* Breslau: Verlag von Ferdinand Hirt, 1842. s. 92-96, 128-130.

[20] KENTISH, Thomas. *The pyrotechnist's treasury or complete art of making fireworks.* London: Chatto & Windus, 1878. s. 185.

[21] KAST, H. *Spreng - und Zundstoffe.* Braunschweig: Druck und Verlag von Friedr. Viewig & Sohn, 1921. s. 466-469.

[22] General Staff (Inteligence), General Headquerters. *Notes on German Shells, (Second Edition).* General Staff (Inteligence), General Headquarters, 1918.

[23] The War Office. *Handbook of Enemy Ammunition, Pamphlet No. 14, German Rocket, Gun and Mortat Ammunition.* The War Office, 1945.

[24] BARNETT, Barry. *Explosives.* New York: D. Van Nostrand Company, 1919.

[25] Navy Department Bureau of Ordnance. *Ordnance Pamphlet 1667, Japanese Explosive Ordnance.* Washington D. C.: Navy Department Bureau of Ordnance, 1946.

[26] FABER, Henry B. *Military pyrotechnics, An exposition of the present methods of manufacture, the material and machinery used Volume II.* Washington: Government Printing Office, 1919.

[27] DAVIS, Tenney L. *The Chemistry of Powder and Explosives.* 1943. ISBN 0913022004.

[28] War Department. *TM 9-1904 War department technical manual, Ammunition Inspection Guide.* Washington: War Department, 1944.

[29] HART, David, EPPIG, Henry J., POWERS, William J. *Self-Hardening Pyrotechnic Composition.* Inventors: HART, David, EPPIG, Henry J., POWERS, William J. US 2700603. 25. 1. 1955.

[30] United States of America, Secretary of the Navy. *Plastic Pyrotechnic Compound.* Inventors: ROLLE, Edward, TABOR, John Q. US 2984558. 16. 5. 1961.

[31] United States of America, Secretary of the Navy. *Flare Composition.* Inventors: CADWALLADER, Edgar A. US 3152935. 13. 10. 1964.

[32] United States of America, Secretary of the Navy. *Illuminating Flare Composition Composed of Magnesium, Sodium Nitrate, and an Epoxy Resin-Polyglycol Resin Binder.* Inventors: DOUDA, Bernard E. US 3411963. 19. 11. 1968.

[33] Thiokol Chemical Corporation. *Castable Illuminant Flare Composition and Method for Making Flare Body Therewith.* Inventors: DINSDALE, Vern Thomas, REED, Russel Jr., MEYER, Robert E. US 3605624. 20. 9. 1971.

[34] The Dow Chemical Company. *Flare Composition Containing Alkali Metal Nitrate, Magnesium, and a Copolymer Reaction Product Binder.* Inventors: BASH, Charles W., LANE, George A. US 3432370. 11. 3. 1969.

[35] The Dow Chemical Company. *Flare Composition.* Inventors: LANE, George A., SMITH, William Arthur. US 3673014. 27. 6. 1972.

[36] Thiokol Chemical Corporation. *Product and Process for Producing a Container Cured Illuminant Composition.* Inventors: DILLEHAY, David R., KRACKENBERGER, Herman F., HAVRON, Howard, C. US 3728172. 17. 4. 1973.

[37] United states of America, Secretary of the Navy. *Flare Composition Comprising Dry Blend of Metal Fuel and Eutectic Mixture of Oxidizer Salts.* Inventors: KRUSE, Howard W. US 3729351, 24. 4. 1973.

[38] United States of America, Secretary of the Navy. *Castable Metallic Illuminant Fuel Containing Nitrocellulose Plasticized Binder.* Inventors: SWOTINSKY, Jacob M., NEWMAN, Stephen, COLITTI, Olindo A. US 3715248. 6. 2. 1973.

[39] Thiokol Corporation. *Illuminating Flare Composition containing Tetranitrocarbazole.* Inventors: DILLEHAY, David R. US 3986907. 19. 11. 1976.

[40] Societe Nationale des Poudres at Explosifs. *Illuminating Pyrotechnic Composition Which Generates Gases.* Inventors: BERNARDY, Claude. US 4078954. 14. 3. 1978.

[41] Казанский Химико-Технологический Институт Им.С.М.Кирова. *Pyrotechnic Fireworks Compound of Yellow Fire.* Inventors: MADYAKIN, F. P.,KOSTOCHKO, A.V., KUKARNIKOV, V. I., TICHONOVA, N. A., PONOMAREVOVA, R. V., SMOLA, E. B., TYUTYUNNIK, O. F., GAZIZOV, F. M., MADYAKIN, L. M., BEYKIN, L. M., ERIN, A. K., LUKOJANOVÁ, O. I. SU 1776027 A1. 10. 5. 1995.

[42] United States of America, Secretary of the Navy. *Calcium Containing Pyrotechnic Composition for High Altitudes.* Inventors: LOPATIN, Seymour, HART, David, HART, Ruth. US 3261731. 19. 7. 1966.

[43] United States of America, Secretary of the Navy. *Near Infrared Illuminating Composition.* Inventors: LOHKAMP, Carl W. US 3733223. 15. 5. 1973.

[44] Cordant Technologies Inc. *Pressable Infrared Illuminant Compositions.* Inventors: NIELSON, Daniel B. US 5 912 430, 15. 6 1999.

[45] Thiokol Corporation. *Infrared illuminating Composition.* Inventors: DILLEHAY, David R., TURNER, David W. US 5 587 552, 24. 12 1996.

[46] YAMAMOTO, Christina M., SHORTRIDGE, Robert G. *Perchlorate-Free Yellow Signal Flare Composition.* Inventors: YAMAMOTO, Christina M., SHORTRIDGE, Robert G. US 20090320976 A1. 31. 12. 2009.

[47] MORETTI, Jared D., SABATINI, Jesse J., PORET, Jay C., GILLBERT, Robert A. Jr. Development of Sustainable, Epoxy-Bound MgPNaNO3 Compositions for the U.S. Army's

40 mm Yellow Illuminant Flares. *ACS Sustainable Chem. Eng.* **2015**, 3 (9). s. 2232-2236. Dostupné z: https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.5b00508

[48] MIKLASZEWSKI, Eric J., DILGER, Jonathan M., YAMAMOTO, Christina M. Development of a Sustainable Perchlorate-Free Yellow Pyrotechnic Signal Flare. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering.* **2017**, 5, 936-941. ISSN 2168-0485. Dostupné z: https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.6b02261.

[49] SABATINI, Jesse J., RAAB, James M., HANN, Ronald K. Mitigation of Single-Point-of-Failure: Development of M127A1 White Star Illuminant Compositions Containing an Epoxy Binder Systém. *Propellants , Explosives, Pyrotechnics.* **2012**, 37 (5). s. 592-596. Dostupné z: https://doi.org/10.1002/prep.201200068

[50] SABATINI, Jesse J., RAAB, James M., HANN, Ronald K. Jr., FREEMAN, Cathleen T. Brighter- and Longer-Burning Barium-Free Illuminants for Military and Civilian Pyrotechnics. *Journal of Inorganic and General Chemistry.* **2013**, 639 (1). s. 25-30. Dostupné z: https://doi.org/10.1002/zaac.201200460

[51] SABATINI, Jesse J., MORETTI, Jared D., HALL, Derrick R., ROBERT, Jeon L. Jr. Recover, Recycle, and Reuse: Prove-Out of Pyrotechnic Illuminants Containing Demilitarized Magnesium. *ChemPlusChem.* **2013**, 78 (11). s. 1358-1362. Dostupné z: https://doi.org/10.1002/cplu.201300231

[52] The United States of America, Secretary of the Navy. *Magnesium/Alkyl Polysulfide White Star Illuminant.* Inventors: SABATINI, Jesse J., ROBERT, Leon L. Jr., MORETTI, Jared D. US 9193637. 24. 11. 2015.

[53] Казанский национальный исследовательский технологический университет. *Yellow Light Pyrotechnic Composition.* Inventors: MIKHAJLOVICH, K. A., VYACHESLAVOVICH, M. A., VLADIMIROVICH, B. A., GEORGIEVICH, B. E. RU 2633545 *C1*. 13. 10. 2017.

[54] Казанский государственный технологический университет. *Amber Light Pyrotechnic Composition.* Inventors: MIKHAJLOVICH, K. A., IL'ICH, K. A., VLADIMIROVICH, B. A., ALEKSANDROVNA, K. L., GEORGIEVICH, B. E., ALEKSANDROVNA, S. A., EHL'VEROVNA, T. A., NIKOLAEVNA, P. R. RU 2394802 C1. 20. 7. 2010.

[55] Казанский национальный исследовательский технологический университет. *Pyrotechnical Illuminating Composition.* Inventors: GEORGIEVICH, B. E.,

MIKHAJLOVICH, K. A., ANVAROVICH, K. R., IGOREVICH, P. A., IVANOVICH, S. V., GENNAD'EVNA B. L., RAVKATOVNA G. Z. RU 2534777 *C1*. 10. 12. 2014.

[56] Казанский национальный исследовательский технологический университет. *Pyrotechnical Illuminating Composition.* Inventors: MIKHAJLOVICH, K. A., GEORGIEVICH, B. E., VIKTOROVICH, M. S., ANVAROVICH, K. R., IVANOVICH, S. V., IGOREVICH, P. A., GENNAD'EVNA, B. L. RU 2535225. 10. 12. 2014.

[57] Чебоксарское производственное объединение имени В.И. Чапаева. *Pyrotechnic Illuminating Charge.* Inventors: SERGEEVICH, R. M., SHAMILOVICH, M. A., VALENTINOVICH, E. V., ZAGIDULLINOVICH, A. N., VIKTOROVICH, R. I., ABDULLOVICH, A. I. RU 2545291 C1. 27. 3. 2015.

[58] IKAROS. *Hand Flare White*. IKAROS [online]. Hansson PyroTech AB [cit. 10. 6. 2024]. Dostupné z: https://ikarossignals.com/products/hand-flare-white/.

[59] PainsWessex. *White Handflare Mk8*. PainsWessex [online]. Wescom Group, 2024. [cit. 29. 6. 2024]. Dostupné z: https://painswessex.com/our-products/white-handflare-mk8/.

[60] ZVONEK, Alan. *Světlice ROS 40*. Ohňostroje Zvonek [online]. Ohňostroje Zvonek, 2024 [cit. 10. 6. 2024]. Dostupné z: http://www.ohnostroje-zvonek.cz/index.php/svetlice-ros-40.

[61] PainsWessex. *Parachute Illuminating Rocket Mk8.* PainsWessex [online]. Wescom Group, 2024. [cit. 29. 6. 2024] Dostupné z: https://painswessex.com/our-products/parachute-illuminating-rocket-mk8/.

[62] Comet. *Signal Pistol and Cartridges.* Comet Marine [online]. Wescom Group, 2024. [cit. 29. 6. 2024] Dostupné z: https://www.traconed.com/files/pub/31222_PDS.pdf.

[63] PainsWessex. *Signal Pistol and Cartridges*. PainsWessex [online]. Wescom Group, 2024. [cit. 29. 6. 2024] Dostupné z: https://painswessex.com/downloads/signal-cartridge-calibre-4/signal-pistol-cartridges-2020-datasheet.pdf.

[64] Navy Department, Bureau of Ordnance. *U.S. Explosive Ordnance.* Washington D. C. : Navy Department, Bureau of Ordnance, 1947.

[65] Headuarters, Department of The Army. *Army Ammunition Data Sheets for Grenades, TM 43-0001-29.* Washington D. C.: Headquarters, Department of The Army, 1994.

[66] U. S. Navy Bomb Disposal School. *Bombs and Fuzes, Pyrotechnics.* Washington D.C.: U. S. Navy Bomb Disposal School, 1945.

[67] Muzeum Historie Civilní Pyrotechniky. HICP. *Kulová puma 150 mm - osvětlovadlo Os-60* [online]. Muzeum Historie Civilní Pyrotechniky [cit. 10. 6. 2024]. Dostupné z: https://hicp.cz/?creativo_portfolio=kulova-puma-150-mm-osvetlovadlo-os-60.

[68] Muzeum Historie Civilní Pyrotechniky. *Německý signalizační prostředek Ortungsleuchtzeichen* [online]. Muzeum Historie Civilní Pyrotechniky [cit. 10. 6 2024]. Dostupné z: https://hicp.cz/?page_id=5503.

[69] Navy Department, Bureau of Ordnance. *British Explosive Ordnance.* Washington D. C.: Navy Department, Bureau of Ordnance, 1946.

[70] The War Office. *Field Branch Artillery Ammunition.* The War Office, 1958.

[71] Headquarters, Departments of the Army and The Air Force. *Mortars.* Washington D. C.: Headquarters, Departments of the Army and The Air Force, 2002.

[72] U.S. Army. U.S. Army. *Improved M127A1 handheld signal from Picatinny greatly illuminates the battlefield* [online]. U.S.Army [cit. 10. 6 2024]. Dostupné z: https://www.army.mil/article/174528/improved_m127a1_handheld_signal_from_picatinny_greatly_illuminates_the_battlefield.

[73] STV GROUP a.s. Army Point. *Pistole signální vz. 44/83 řez zbraně* [online]. STV Group a. s. [cit. 10. 6 2024]. Dostupné z: https://www.armypoint.cz/pistole-signalni-vz-44-83-rez-zbrane/d-92812/.

[74] Zbraně Orlová. 26,5mm sidnální střelivo 18 ks. *Zbraně Orlová* [online]. Zbraně orlová, 2024 [cit. 10. 6 2024]. Dostupné z: https://www.zbraneorlova.cz/26-5mm-signalni-strelivo-18-ks/.

[75] Hiske, Michael. Pamphlet No. 14, German Rockets, Gun and Mortar Ammunition. *German 8,8 cm Flak Star Shell* [online]. MichaelHiske.de[cit. 10. 6 2024]. Dostupné z: http://michaelhiske.de/Allierte/UK/Handbook/Pamphlet14/14_015.htm#fig13.

[76] Hiske, Michael. Pamphlet No. 14, German Rockets, Gun and Mortar Ammunition. *German 8,8 cm Flak Star Shell* [online]. MichaelHiske.de [cit. 10. 6 2024]. Dostupné z: http://michaelhiske.de/Allierte/UK/Handbook/Pamphlet14/14_015.htm#fig13.

[77] His Majesty's Stationery Office. *Text Book of Ammunition.* London: William Clowes & Sons, 1936.

[78] War Department. *TM 9-1900, Technical Manual, Ammunition, General.* Washington D. C.: War Department, 1942.

[79] Headquarters, Department of The Army. *TM 9-1300-203, Artillery Ammunition.* Washington D. C.: Headquarters, Department of The Army, 1967.

[80] Naval Explosive Ordnance, Disposal Technology Division. *Afghanistan Ordnance Identification Guide.* Indian Head: Naval Explosive Ordnance, Disposal Technology Division, 2004. Vol. 1.

[81] MCDOWELL, STAFF SERGEANT JOHN K. *Nabíjení granátometu M203. Wikipedia* [online]. Wikipedia.org, Last revised 11. 1. 2024 [cit. 10. 6. 2024]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/M203_(gran%C3%A1tomet)#/media/Soubor:Loading_M203_40_mm_grenade_launcher_attached_to_an_M16_rifle.jpg.

[82] XXXX. *Různé. Vojensko.cz* [online]. Vojensko.cz, ©2007-2024 [cit. 10. 6 2024]. Dostupné z: https://www.vojensko.cz/ruzne/sekce-00058-pristroje-nastroje-zbrane/polozka-01374-vymetnice?image=7.

[83] P.Grajzel'. *Různé. Vojensko.cz* [online]. Vojensko.cz, ©2007-2024 [cit. 10. 6. 2024]. Dostupné z: https://www.vojensko.cz/ruzne/sekce-00058-pristroje-nastroje-zbrane/polozka-01374-vymetnice?image=10#detail-foto.